

## 굵은골재 최대치수 40 mm 투수 콘크리트의 물리적 특성과 질소산화물 제거에 관한 연구

홍종현·김문훈·류성필·정광옥  
탐라대학교 토목환경공학과  
(2005년 11월 28일 접수; 2006년 4월 13일 채택)

### An Experimental Study on NO<sub>x</sub> Degradation Efficiency and Physical Characteristics of Maximum Size 40 mm Porous Concrete

Chong-Hyun Hong, Moon-Hoon Kim, Seong-Pil Ryu and Kwang-Ok Choung  
Department of Civil & Environmental Engineering, Tamna University, Seogwipo 697-340, Korea  
(Manuscript received 28 November, 2005; accepted 13 April, 2006)

The strength, water permeability, and photo-degradation efficiency of NO<sub>x</sub> of porous concrete with a new concept were studied in this paper. The porous concrete was comprised of coarse aggregate of maximum size 40 mm, cement, silica fume, water and air-entraining(AE) water reducing agent. The strength of porous concrete was strongly related to its matrix proportion and compaction energy. An experimental test was carried out to study the parameters of cement proportions and silica fume content for pavement applications of porous concrete which were paving a footpath, a bikeway, a parking lot, and a driveway. The regressed equations of relationships between compressive strength and flexural strength, and coefficient permeability and void ratios were indicated as  $y=7.69x+71.74$  and  $y=0.42e^{0.28x}$ . A method of making an air purification-functioning road, which was spraying a mixture of a photocatalyst, cement, and water onto the surface of the road, was suggested.

Key Words : Porous concrete, Photocatalyst, Air purification-functioning road

#### 1. 서론

일본 저바현 이찌가와시의 도로 약 280 m의 구간을 배수성포장으로 시공한 후, 표면에 이산화탄광촉매를 도포하는 방식의 광촉매 도로포장공법이 최근에 시험 시공되었다<sup>1)</sup>. 광촉매 포장은 자동차에서 발생하는 배기가스 중의 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 도로표면에 고정된 이산화탄광촉매에 의해 산화되고, 고정화제의 주성분인 칼슘(Ca)과 화합하여 중성의 질산칼슘(Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)으로 고정된다. 우천시에 빗물에 의해 질산칼슘이 무해한 질산이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 및 칼슘이온(Ca<sup>2+</sup>)으로 씻겨 내려가 새로운 도로표면이 나타난다는 개념으로 공기를 깨끗하게 하는 도로의

제조기술로 관심이 집중되고 있다<sup>1)</sup>. 광촉매는 부가적인 에너지 소비 없이 형광등, 태양광 등과 같은 빛에너지의 이용만으로 다양한 오염물질을 분해할 수 있다는 장점이 있다. 국내에서도 최근에 광촉매를 사용한 전자재료 NO<sub>x</sub> 제거 효율에 관한 실험적 연구가 수행되었고 광촉매가 대기오염문제 해결의 열쇠가 될 수 있음을 보고하였다<sup>2,3)</sup>.

광촉매를 고정하는 지지기반은 오염물질의 흡착능력을 높이기 위해 다공질 재료 또는 발포 재료를 사용하는 것이 유리하다. 도로포장의 경우도 오염물질이 흡착될 수 있는 비표면적을 높이기 위해, 배수성포장이나 투수성포장으로 시공하는 것이 유리하다. 종래의 시멘트 계열 투수 포장기술은 굵은골재 최대치수 13 mm 이하를 사용하여 10<sup>-2</sup> cm/sec 이상의 투수성을 나타내는 방식이다. 또는 6~10 mm 단입도의 골재를 사용해서, 투수성을 증가시킨 방식을 사용하고 있다. 투수 콘크리트 포장은 유출량의

Corresponding Author : Chong-Hyun Hong, Department of Civil & Environmental Engineering, Tamna University, Seogwipo 697-340, Korea  
Phone: +82-64-735-2115  
E-mail: jhhong@tnu.ac.kr

조절과 홍수의 감소, 수원지에서서의 오염조절, 도로와 인도표면의 물튀김의 방지, 배수관 크기의 축소 또는 제거, 공극을 통한 물의 자연적 증발에 의한 펌핑작용의 보호, 수분증발에 의해 도로와 인도 표면을 차갑게 하여 타이어 위험 감소, 도로표면의 미끄럼 방지 등의 장점이 있다<sup>4)</sup>. 그러나, 낮은 강도, 표면을 칼라 예폭시로 코팅함으로써 발생하는 공극 막힘에 의한 투수 성능의 저하, 13 mm 이하의 골재 생산에 따른 생산경비 증가, 그리고 디자인이 자연스럽지 못한 단점이 지적되고 있다. 낮은 강도상의 단점을 해결할 목적으로, 혼화재로 실리카흙을 사용하여 모르타의 강도를 높이는 방법<sup>5)</sup>, 섬유를 보강하여 휨강도를 높이는 방법<sup>6)</sup>, 폴리머를 사용하여 강도를 높이는 방법<sup>7)</sup> 등이 제시되고 있다.

본 연구에서는 최대치수 40 mm의 굵은골재를 사용함으로써, 골재 생산단가를 줄이고 거친 바닥의 요철을 형성하여 공기가 접하는 비표면적을 높여서 자동차 배기가스에 의한 오염물질을 흡착 분해하는 개념의 기능성 투수 콘크리트 포장 조성공법을 제시한다. 종래의 투수 콘크리트는 굵은골재 최대치수를 13 mm에서 10 mm로 그리고 8 mm로 줄여나가는 것이 상식으로 알려져 있다. 이것은 표면을 매끄럽게 하기 위함인데, 본 연구에서는 기존의 상식과는 반대로 굵은골재 최대치수를 40 mm로 설정하여 거친 바닥 표면을 형성하고자 하였다. 40 mm의 굵은골재를 사용함에 따른 강도 감소문제는 혼화재로 실리카흙을 사용하여 시멘트 페이스트의 강도를 높이는 방식을 사용하였고, 차도에 시공되는 경우를 고려하여 석분을 잔골재율(S/a) 20% 범위 이내로 사용하여 실험을 하였다.

본 연구의 목적은 굵은골재 최대치수 40 mm 투수 콘크리트의 강도특성과 투수특성을 연구하고, 표면에 이산화탄 광촉매를 도포 고정된 경우 질소산화물의 저감효율을 연구하며, 최종 배합비를 기초로 제주도 교래리 산119번지의 주차장과 주행도로 5만평을 시험 시공하여, 배합설계에서 시공에 이르기까지 기술적 내용을 연구하여 새로운 디자인과 기술에 의한 투수 콘크리트 포장 조성공법을 제시하

고자 한다. 특히, 포장 표면의 디자인이 종래의 세립도 골재 표면과 다른 조립도 골재의 거친 디자인이 자연환경과 조화를 잘 이루는 것으로 분석되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

본 연구에 사용한 재료의 물리적 특성은 Table 1과 같이 요약된다. 시멘트는 D사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트는 무기물로 TiO<sub>2</sub>의 정착에 효율적이며, 강알카리성인 시멘트의 특징은 산성가스인 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>에 대하여 친화성이 크고, 흡착능력이 효율적이다. 강도 보강용 혼화재는 Table 2와 같은 물리적 특성의 실리카흙을 사용하였다. 실리카흙은 시멘트 비표면적의 50~80배에 이르는 초미립 분말로 시멘트 입자사이의 공극을 충전하여 Micro filler 효과와 포졸란 효과를 유발하여 시멘트 페이스트의 단기 강도 및 장기 강도를 높이는 역할을 한다. 뿐만아니라 물-시멘트비가 낮은 경우 시멘트 페이스트의 점도를 높여서 투수 콘크리트의 높은 공극을 유지시키는 역할을 한다. 광촉매는 Table 3과 같은 아나타제형의 액상 광촉매를 사용하였다.

Table 1. Summary of used materials

Cement	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Normal Portland cement</li> <li>○ Specific gravity : 3.15</li> <li>○ Specific Surface Area : 3,358 cm<sup>2</sup>/g</li> </ul>
Silica Fume	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Specific gravity : 2.2</li> <li>○ Specific Surface Area : 200,000 cm<sup>2</sup>/g</li> </ul>
Photocatalyst	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Anatase TiO<sub>2</sub></li> <li>○ Liquid</li> </ul>
Admixture	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Naphtalene Sulphonate</li> </ul>
Coarse Aggregate	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Density : 2.71 g/cm<sup>3</sup></li> <li>○ Solid volume percentage : 56.2%</li> <li>○ Unit weight : 1652 kg/m<sup>3</sup></li> <li>○ Crushed stone</li> </ul>
Fine Aggregate	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Max. size : 5 mm</li> <li>○ Density : 2.59 g/cm<sup>3</sup></li> <li>○ Screenings</li> </ul>

Table 2. Physical properties of silica fume

Specific gravity	Bulk loose density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Fineness(ave.dia)(μm)
2.2	250-300	200,000	0.1-1

Table 3. Physical properties of photocatalyst

Color	Appearance	TiO <sub>2</sub> (wt%)	Particle size (nm)	pH	Type
White	Liquid	100	30-40	9-11	Anatase

광촉매 반응은 정공과 전자가 각각 산화, 환원 반응을 하게 되는데, 형성된 정공과 전자가 반응물질과 흡착하여 광촉매 작용을 하기 전에 서로 재결합된다면 각각의 활성점을 잃게 되어 광촉매로서의 역할을 수행할 수 없게 된다. 따라서, 오염물질을 신속히 흡착할 수 있는 기관의 역할이 굉장히 중요하다<sup>8,9)</sup>. 투수 콘크리트는 높은 비표면적을 가지고 있어 흡착제로서의 역할을 충분히 할 수 있다. 고성능 AE 감수제는 Table 4와 같은 특성을 갖는 나프탈렌 설펜산염 고축합물계를 사용하였다. 굵은골재는 Table 5, 6과 같은 제주도 남제주군 표선면 세화리에서 생산된 현무암 계열의 쇠석골재로 최대치수 40 mm를 사용하였고, 골재의 입형과 강도가 우수한 골재를 선별 사용하였다. 골재의 입형과 강도는 투수 콘크리트의 강도와 투수율에 큰 영향을 준다. 잔골재는 Table 7, 8과 같은 물리적 특성을 갖는 석분을 사용하였다. 주행차로의 도로포장인 경우 강도 증진을 목적으로 사용된다.

## 2.2. 배합설계

배합에 사용된 굵은골재의 단위용적중량이 1,652 kg/m<sup>3</sup> 이다. 이때, 실적률은 56.2%이고, 공극률은 43.8%이다. 굵은골재의 결합재로 시멘트를 사용하였는데, 시멘트의 단위중량은 300~400 kg/m<sup>3</sup> 범위를 사용하고, 혼화제로 사용된 실리카흙은 시멘트의 5%, 10% 15% 범위에서 대체 사용하며, 물-결합재 비를 30%로 고정하였다. 공극률은 시멘트와 실리카흙의 양이 증가 할수록 줄어들게 된다. 4%~20% 범위의 이룬공극률을 사용하였다. 주행차로에 시공할 경우를 대비하여 석분을 잔골재로 사용하고 잔골재율(S/a)을 10%와 20%의 비율로 사용하였다. 투수 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 및 공극률의 범위를 고려하여 사전에 수 차례 예비 배합 시험 결과를 토대로 최종 배합을 결정하였다. 배합설계는 투수 콘크리트가 인도, 자전거도로, 주차장, 및 차도에 사용될 수 있도록 다양한 범위로 배합설계 하였고 Table 9에 나타내었다. 배합비 시리즈 S1~S4는 결

Table 4. Properties of high performance AE water reducing agent

Type	Color	Main component	Specific gravity
Liquid	Dark brown	Naphtalene Sulphonate	1.2±0.02

Table 5. Gradation of coarse aggregate

Test item	Percent passing(%)					Fineness modulus
	50mm	40mm	20mm	10mm	5mm	
Crushed stone	100.0	100.0	50.0	14.6	0.8	7.35

Table 6. Physical properties of coarse aggregate

Test items	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Soundness index (%)	Passing of 0.08mm sieve (%)	Solid volume percentage (%)	LA abrasion index(%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Crushed stone	2.71	1.80	3.60	0.33	56.2	22.9	1,652

Table 7. Gradation of fine aggregate

Test item	Percent passing(%)							Fineness modulus
	10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	
Screenings	100	98	88	81	56	11	2	2.64

Table 8. Physical properties of fine aggregate

Test items	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Soundness index (%)	Passing of 0.08mm sieve(%)	Organic impurities	Unit weight (kg/L)	Solid volume percentage (%)
Screenings	2.59	1.0	3.6	2.4	Nil	1.713	54.3

Table 9. Mixture proportion details

Mix No.	SF	V (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
			SF	C	W	S	G	A
S1	C× 0%	20	0	300	90	0	1652	1.5
S2	C× 5%	19	15	285	90	0	1652	1.5
S3	C×10%	18	30	270	90	0	1652	1.5
S4	C×15%	17	45	255	90	0	1652	1.5
S5	C× 0%	17	0	350	105	0	1652	1.8
S6	C× 5%	16	18	332	105	0	1652	1.8
S7	C×10%	15	35	315	105	0	1652	1.8
S8	C×15%	14	53	297	105	0	1652	1.8
S9	C× 0%	14	0	400	120	0	1652	2.0
S10	C× 5%	13	20	380	120	0	1652	2.0
S11	C×10%	11	40	360	120	0	1652	2.0
S12	C×15%	10	60	340	120	0	1652	2.0
S13	C× 5%	10	18	332	110	165	1652	2.0
S14	C× 5%	4	18	332	110	330	1652	2.0

합재의 단위중량을 300 kg/m<sup>3</sup>으로 고정하고 실리카 흙의 비율을 증가시킨 경우로서 인도 또는 자전거 도로에 사용할 목적으로 배합한 경우이고, 배합비 시리즈 S5~S8는 결합재의 단위중량을 350 kg/m<sup>3</sup>으로 고정하고 실리카흙의 비율을 증가시킨 경우로서 주차장에 사용할 목적이고, 배합비 시리즈 S9~S12는 결합재의 단위중량을 400 kg/m<sup>3</sup>으로 고정하고 실리카흙의 비율을 증가시킨 경우로서 차도에 사용할 목적이다, 배합비 시리즈 S13과 S14는 잔골재를 사용한 경우로서 중차량의 통행을 목적으로 한 도로포장에 적용하기 위한 것이다. 비빔은 100 l 강제식 팬타입 믹서를 이용하여 시멘트, 실리카흙, 굵은골재 및 잔골재를 넣고 건비빔을 30초간 행한 후, 고성능AE감수제가 혼합된 물을 첨가하여 1분 30초간 비빔을 행한 후 토출하였다. Table 9에서 SF는 실리카흙(silica fume), V는 이론공극률(theoretical void ratio), C는 시멘트(cement), W는 물(water) S는 잔골재(fine aggregate), G는 굵은골재(Coarse aggregate), A는 고성능AE감수제(admixture)를 의미한다.

2.3. 실험방법

압축강도, 휨강도, 투수계수 시험은 Table 10과 같이 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법, KS F 2408 콘크리트의 휨강도 시험 방법, KS F 2385 투수성 아스팔트 혼합물의 투수시험방법에 따라 시험하였다. 압축강도와 투수계수 시험은  $\phi$  15×30 원주형 공시체를 사용하였고 투수 콘크리트를 1/3씩 채우고 25회씩 붓다짐 하고, 휨강도의 경우 15×15×55의 보 공시체에 투수 콘크리트를 1/2씩

Table 10. Test items and methods

Test items	Test methods
Compressive strength	KS F 2405
Flexural strength	KS F 2408
Coefficient permeability	KS F 2385

채우고 83회씩 붓다짐을 하여 제조하였다. Fig. 1에 투수성 아스팔트 혼합물의 투수시험 장치를 나타내고 있다.

질소산화물 제거시험은 배합시리즈 S10을 사용한 투수블록(50 cm×50 cm×8 cm)을 제조한 후, 표면에 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 혼합한 시멘트 페이스트를 제조한 후 투수블록 표면에 1 mm 두께로 코팅하는 방법을

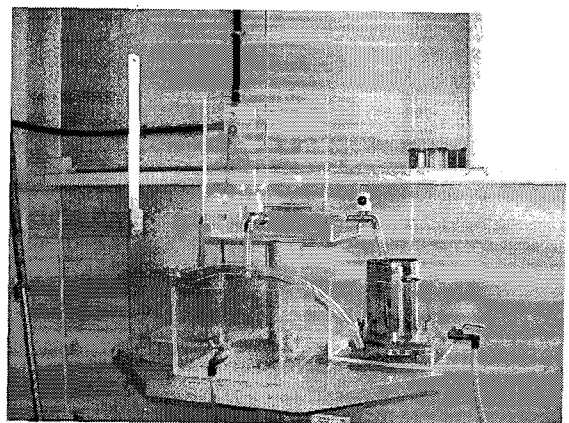


Fig. 1. Water permeability tester.

사용하였다. 제조 28일 후, 양생이 완료 되었을 때 광분해 실험을 수행하였다. 실험조건은 태양광  $150 \pm 10$  Photon flux, 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $35 \pm 5\%$ , 자외선지수 4.5 조건의 야외에서 수행하였다. 제거 효율 실험에 이용한 반응기는 Fig. 2와 같이 밀폐형 반응기(60 cm×60 cm×60 cm)로 반응기안에 광촉매로 코팅된 투수블록을 반응기 바닥에 놓은 후 실험을 하였다. 반응기내에 NOx 가스를 주입하고 air pump를 통하여 공기를 10 l 불어넣어 반응기내의 NOx와 산소가 완전히 혼합이 되도록 사전에 믹싱을 하고, 내부의 농도가 2 ppm이 되도록 NOx Analyzer (APNA-360, Japan)로 조절하여 초기농도를 측정하고 태양광을 조사하여 일정한 시간 간격으로 반응기 내부의 NOx 농도를 측정(NOx Analyzer M200E, Teledyne Instruments)하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 강도특성 및 투수계수

투수 콘크리트의 강도특성을 살펴보면, Fig. 3은 투수 콘크리트의 압축강도와 배합비의 관계를 나타

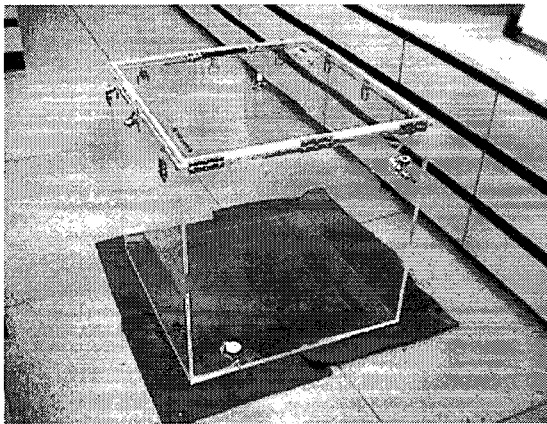


Fig. 2. Photo-reactor chamber.

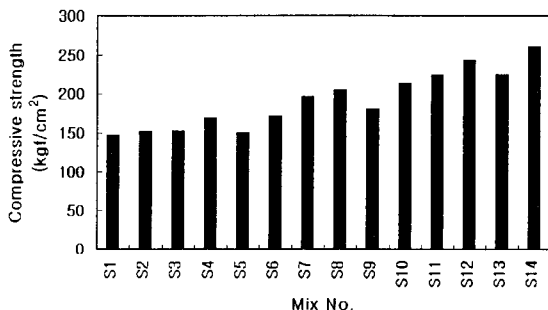


Fig. 3. 28-day sealed compressive strength versus mixing proportions.

내고 있다. 배합 시리즈 S1~S4, S5~S8, S9~S12의 시멘트 단위중량에 따라 압축강도 상승 폭을 알 수 있고, 실리카흙의 보강에 따른 강도 증진 범위를 알 수 있다. 28일 압축강도는  $150 \text{ kgf/cm}^2$ 에서  $260 \text{ kgf/cm}^2$ 에 이르기까지 보도 및 차도에 적용될 수 있는 강도 범위를 발휘하고 있다. Fig. 4는 28일 압축강도와 공극률 관계를 나타내고 있다. 일차직선의 관계로 공극률이 낮아질수록 압축강도는 높아지고 있다. Fig. 5는 투수 콘크리트의 휨강도와 배합비의 관계를 나타내고 있다. 배합 시리즈 S1~S4, S5~S8, S9~S12의 시멘트 단위중량에 따라 휨강도 상승 폭을 알 수 있고, 실리카흙의 보강에 따른 강도 증진 범위를 알 수 있다. 28일 휨강도는  $28 \text{ kgf/cm}^2$ 에서  $45 \text{ kgf/cm}^2$ 에 이르기까지 보도 및 차도에 적용될 수 있는 강도 범위를 발휘하고 있다. Fig. 6은 28일 휨강도와 공극률 관계를 나타내고 있다. 일차직선의 관계로 공극률이 낮아질수록 압축강도는 높아지고 있다. Fig. 7은 28일 압축강도와 휨강도간의 상관관계를 나타내고 있다. 압축강도가 높을수록 휨강도도 높아지고 있으며, 강도비율은 대략 5:1~7:1의 범위로 나타났다. Fig. 8은 투수계수와 배합비의 관계를 나타내고 있다. 배합비율에 따라 투수계수는

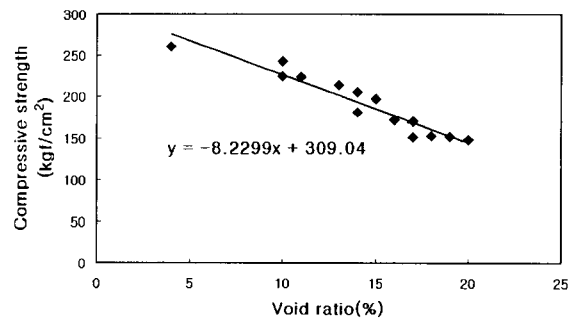


Fig. 4. 28-day sealed compressive strength versus theoretical void ratios.

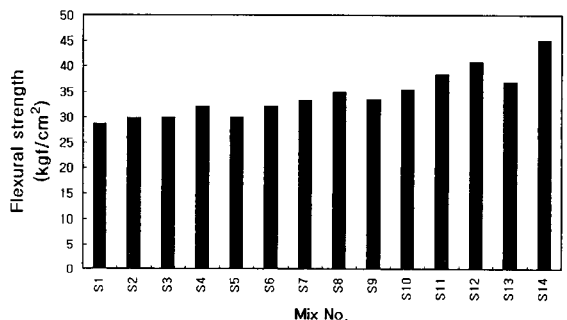


Fig. 5. 28-day sealed flexural strength versus mixing proportions.

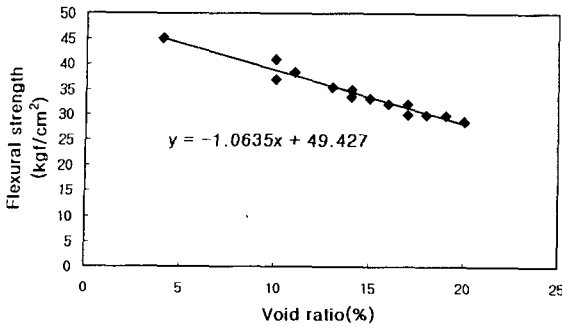


Fig. 6. 28-day sealed flexural strength versus theoretical void ratios.

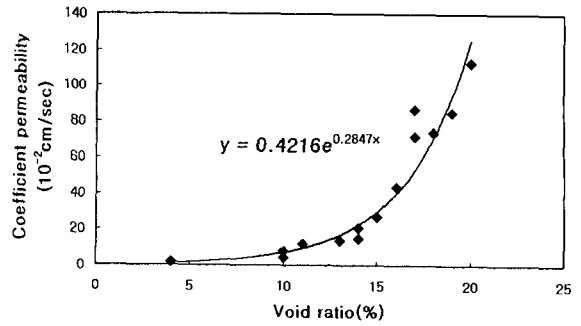


Fig. 9. Coefficient permeability versus void ratios.

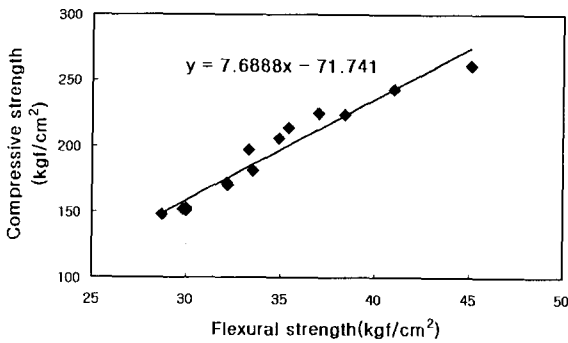


Fig. 7. 28-day sealed compressive strength versus flexural strength.

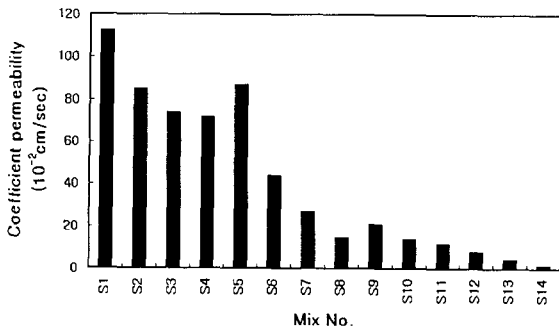


Fig. 8. Coefficient permeability versus mixing proportions.

큰 폭으로 변동되는 특징이 있다. Fig. 9에 투수계수와 공극률의 상관관계를 나타내고 있다. 공극률이 높아질수록 투수계수는 지수비율로 급격히 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 시멘트와 실리카흄이 증가할수록 밀실한 단면을 형성하기 때문이다. 상기 실험에 사용된 시편은 붕 다짐에 의한 인력으로 제조되었기 때문에 다짐에너지의 정확한 크기를 고려하지 않았다. 따라서, 압축강도, 휨강도, 투수계수, 공극률 등 종래의 이론과 일치하는 경향을 나타내지만, 국부적으로 실험값의 변동이 있을 수 있다.

Table 11에는 시험시공을 위한 포장용 콘크리트 배합비를 나타내고 있다. 설계압축강도 210 kgf/cm<sup>2</sup>, 설계휨강도 35 kgf/cm<sup>2</sup>, 투수계수 10×10<sup>-2</sup> cm/sec를 기준으로 Fig. 3~Fig. 9를 종합하여 유도한 배합비이다. 선택적으로 단위잔골재 유무에 따라 주행차로(유)와 주차장(무) 배합으로 설계하였다.

### 3.2. NOx 제거시험

자외선이 이산화티탄에 닿게 되면, 내부의 전자가 자유롭게 되어 대기중의 산소나 수분과 결합하여 표면에 OH 라디칼 등의 활성산소가 생긴다. 이것이 대기오염물질을 산화시켜 제거한다. NOx나 SO<sub>2</sub>는 저농도의 질산이나 황산으로 변하며, 광촉매의 표면에 남게 되고 우천시에 빗물에 의해 씻겨내려 가게 된다. Table 12에 본 연구에 사용된 광촉매 페이스트 배합비를 나타내고 있다. 수차례의 예비실험결과 시멘트, 실리카흄, 아크릴, 물 AE 감수제를 혼합 사용하는 것으로 설정했고, 광촉매는 E사의 제품인 나노사이즈의 아나타제형 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 사용하였다. 광촉매의 사용은 시멘트의 1중량%, 5중량%, 10중량%를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 광분해 효율을 관찰하고자 한 것이다. Fig. 10에 광촉매 투

Table 11. Porous concrete mix design

Design strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	35(210)	
Max. size of aggregate (mm)	40	
Slump (cm)	0	
Water (kg/m <sup>3</sup> )	120	
Cement (kg/m <sup>3</sup> )	380	
Silica fume (kg/m <sup>3</sup> )	20	
Water-binder ratio (%)	30	
Fine aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	150	
Coarse aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	40-25mm	991
	25-5mm	661
AE water reducing agent (kg/m <sup>3</sup> )	2	

Table 12. Mixture proportion details

(unit : wt.%)

Mix No.	Cement	Silica fume	Acrylic	Water	AE water reducing agent	Photocatalyst
P1	100	20	40	40	1	0
P2	100	20	40	40	1	1
P3	100	20	40	40	1	5
P4	100	20	40	40	1	10

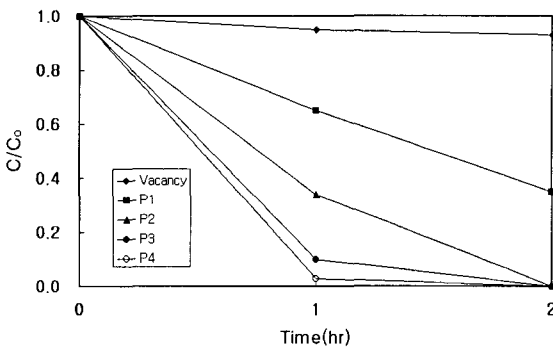


Fig. 10. Degradation efficiency of NOx by photocatalytic concrete blocks.

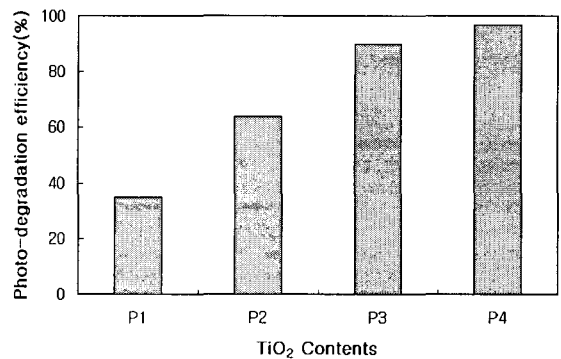


Fig. 11. Removal efficiency of NOx by photocatalytic concrete blocks after 1 hr. photo-reaction time.

수 콘크리트 블록의 광분해 효율을 나타내고 있다. 그림에서  $C_0$ 는 반응기내의 초기 농도(2 ppm)이고,  $C$ 는 측정시간에서의 반응기내 NOx 농도를 의미한다. 배합비 P1의 결과로부터 투수 콘크리트의 특성상 강알칼리성과 높은 비표면적은 산성가스인 NOx의 흡착에 유리하다는 것을 알 수 있다. 반응기내에 시편이 없는 경우 NOx의 저감현상은, 단순히 태양광의 자외선과 반응기의 흡착 저감하는 양을 의미하는데, 2시간 후에 7% 정도 저감하는 것으로 나타났다. 광반응 2시간 후에 배합비 P3와 P4로 제조된 광촉매 투수 콘크리트 블록은 반응기 내부의 NOx를 완전히 광분해 한 것을 알 수 있다. Fig. 11에서는 반응 1시간 후의 NOx 제거효율을 나타낸 것으로 P3와 P4 배합비로 제조된 광촉매 블록은 90% 이상 저감하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제안하는 기능성 투수 콘크리트 도로포장을 통해 대기오염물질의 저감이 가능할 수 있다는 결과를 나타내고 있다. 본 시험 결과는 동일 조건에서 2회 측정 후 평균값을 도시한 것이다.

### 3.3. 현장시공

2004년 10월 25일 제주도 남제주군 표선면 (주)낙원산업 야적장에 폭 4 m 길이 20 m의 시험포장을 시공하고 1년간 관찰을 한 후, 2005년에 10월 7일부터 10월 21일까지 제주도 북제주군 산119번지 제주돌문화공원 주차장과 주행도로 5만평을 시공하고 장기관찰 중에 있다. 투수콘크리트 생산은 남제주군



Fig. 12. Water permeates constantly as poured on surface of porous concrete.

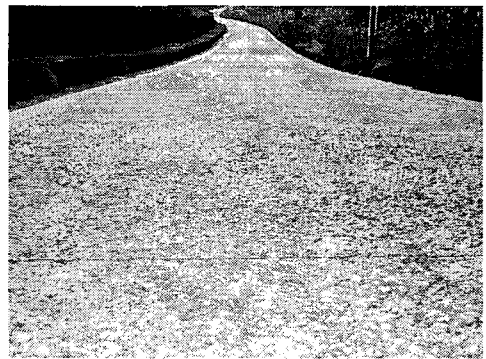


Fig. 13. Close-up of porous concrete roadway.

표선면 세화리에 위치한 (주)낙원산업에서 생산하였고, 시공은 아스팔트콘크리트피니셔, 탄뎀롤러, 타이 어롤러를 사용하였고, 시공이음부위는 아크릴계 접착제를 이용하여 일체화 하였으며, 도로 표면의 Pop-up 현상을 방지하기 위해 표면의 골재 탈락이 예상되는 곳은 아크릴계수지로 보강을 하였다. 투수 콘크리트의 28일 평균 압축강도는 213 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났고, 휨강도는 35 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났고, 현장투수계수 실험에서 투수계수는 12×10<sup>-2</sup> cm/sec로 나타났다. 예측치와 실측치가 상당히 일치하는 것을 알 수 있다. 도로표면의 디자인이 40 mm의 굵은골재가 표출이 되는 거친 이미지를 나타내는데 성공하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 굵은골재 최대치수 40 mm를 사용한 기능성 투수 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 투수계수, 및 NOx 제거효율에 대한 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 굵은골재 최대치수 40 mm 입도의 혼합골재를 사용한 경우, 투수 콘크리트의 압축강도는 150~260 kgf/cm<sup>2</sup> 범위, 휨강도는 28~45 kgf/cm<sup>2</sup> 범위로 도로포장에 적합한 것으로 나타났다. 압축강도와 휨강도의 비는 대략 6 : 1의 비율범위로 분석되었다.

2) 이론공극률은 4%~20% 범위이고, 투수계수는 1~110×10<sup>-2</sup> cm/sec로 측정되어 투수성능을 충분히 만족하는 것으로 판단된다. 투수계수와 공극률은 지수곡선의 비율 특성을 나타내며 공극이 증가할수록 투수계수는 급격히 증가하였다.

3) 태양광에 의한 NOx 제거 효율은 2 시간 만에 100%를 제거함으로써 높게 나타났으며, 광촉매를 사용한 대기정화 가능성을 보여주고 있다.

4) 시험시공과 관련하여, 굵은골재의 입형이 좋은 경우가 편석이 많은 경우보다 강도에 유리한 영향을 주었고, 시공시에 롤러다짐과 수화반응에 필요한 충분한 물의 공급이 중요하였다. 특히, 시공직후 양생포를 즉시 설치하여 수분의 증발을 방지하는 것이 골재 탈락을 예방하는 것으로 판단된다.

5) 투수 콘크리트는 다짐에 의한 밀실도가 강도와 투수성에 가장 밀접한 관계가 있다. 따라서 시험용 공시체의 제조방법과 실제 현장에서의 다짐 방법 및 다짐 회수가, 공극률과 강도에 큰 영향을 주는 것으로 판단되며 이에 따른 추가 연구가 필요하다. 또한, 오염이 심각한 대도시의 도로포장에 적용하여 NOx 제거 기능에 대한 장기적인 분석연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김영도, 2004, 광촉매의 실제, 대영사, 52-53.
- 2) 라덕관, 박종선, 이경동, 정상철, 김영규, 2002, TiO<sub>2</sub> 첨가 모르타르의 강도 특성에 관한 연구, 한국환경기술학회지, 3(4), 307-312.
- 3) 라덕관, 박종선, 이경동, 정상철, 김영규, 2002, TiO<sub>2</sub> 첨가 모르타르의 광촉매 활성화에 관한 연구, 한국환경기술학회지, 3(4), 313-319.
- 4) Brown, D., 2003, Pervious Concrete Pavement: A Win-Win System, Concrete Technology Today, 24(2), 1-3.
- 5) 백용관, 김재환, 유범재, 강석표, 박선규, 김무한, 2000, 포러스콘크리트의 강도증진에 미치는 이론 공극률 및 실리카흙 대체율의 영향에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 20(1), 275-278.
- 6) 조광연, 권혁준, 2002, 섬유보강 포러스 콘크리트의 물리 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 공주영상정보대학 논문집, 403-413.
- 7) 채창우, 2002, 혼화재를 혼입한 투수콘크리트의 물리적 특성, 한국콘크리트학회 논문집, 14(2), 257-265.
- 8) 이원암, 양진, 유재상, 이종열, 2002, 광촉매 콘크리트의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 575-580.
- 9) 최영준, 박준영, 이승조, 허노일, 김화중, 2002, 이산화티탄 분말을 광촉매로 사용한 시멘트 모르타르의 질소산화물 제거 특성에 관한 기초 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 18(8), 43-50.