

차도포장용 투수블록의 재료특성 및 투수성능 평가

Evaluation of Field Permeability and Material Characteristics of Permeable Block for Roadway Pavement

박대근¹ · 정원경^{2*} · 정두원² · 백종은¹ · 이진욱¹

¹서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터, ²(주)한국건설품질시험연구원

Daegeun Park¹, Wonkyong Jung^{2*}, Doowon Jeong², Jongeun Baek¹ and Jinwook Lee¹

¹Research Center of Road Pavement, Seoul Quality Test, Seoul 06763, Korea

²Construction Quality Testing Institute, Anseong-si 17555, Korea

Received 30 May 2016, revised 11 June 2016, accepted 20 June 2016, published online 30 June 2016

ABSTRACT: The rapid expansion of buildings and paved roads increases the risk of flood disaster in an urban area. One of the solutions can be the use of permeable pavements. This study evaluated the permeability of permeable blocks used for the roadway pavement. Joint fillers and mat sands of the investigated blocks met the corresponding standards. The flexural strength of the blocks was 5.29 MPa to meet these standards. Based on interior permeability test results after pollution, the four products evaluated were categorized into the following three levels: One for the 1st level, one for the 2nd level and two for the 3rd level. From the field permeability test and pervious concrete infiltration test results nine months after their construction, all the products except one passed the quality standards of 0.1 mm/s.

KEYWORDS: Durability of permeability, Permeability coefficient, Permeable block, Roadway pavement

요 약: 급속한 산업화가 진행되면서 건물과 인공 포장된 도로의 급격한 증가하고 있다. 이로 인한 도심 집중강우에 따른 도로침수, 포장체 파손 등이 발생하고 있다. 이에 대한 해결책으로 도심지 내 투수성 포장의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 투수블록의 차도포장 적용 가능성 현장 평가를 하기 위하여 공용기간 동안 차도용 투수블록의 투수성능을 평가하였다. 평가결과 줄눈재 및 받침안전층은 품질관리기준을 만족하였으며 휨강도는 1개소만이 5.29 MPa로 기준을 만족하였다. 실내투수지속성시험의 결과는 4개 제품중 1등급 1개, 2등급 1개, 3등급 2개로 평가되었으며 현장투수 및 현장 침투능은 각 제품의 9개월 간의 추적 조사 결과 1개 제품을 제외한 모든 제품에서 0.1 mm/s 이상의 품질기준을 만족하였다.

핵심어: 투수성능 지속성, 투수계수, 투수 블록, 차도포장

1. 서 론

1960년대 이후 서울시는 급속히 산업화가 진행되면서 건물과 인공적인 불투수성 포장도로의 급격한 증가로 집

중강우 시 도심지 도로침수 및 포장체 파손 등이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 도심지 내 불투수성 포장도로를 개량하여 물 순환이 확보될 수 있도록 개선하는 연구가 진행되어 오고 있다 (Jeong 2010). 최근 서울시에서

*Corresponding author: wonkyong@hanmail.net, ORCID 0000-0002-1869-3461

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 홍수피해 저감 및 지하수위 함양을 위해 2011년과 2013년에 ‘투수 블록포장 설계, 시공 및 유지관리 기준’을 각각 제정 및 개정하여 시행하고 있다 (SMG 2013). 그러나 기존 도심지 내 불투수성 포장은 최근 집중호우와 강우일수 증가에 따라 우수가 포장면을 통해 배수구로 일시 유출되어 저지대의 홍수피해를 증가시키고, 빗물 고임 현상으로 인한 보행불편 민원이 증대되어 투수성 포장의 필요성이 더욱 강조되고 있는 실정이다 (Kim 2001). 이러한 민원해소를 위해 서울시는 호우 시 도심지 도로의 노면수를 포장 하부로 침투시켜 홍수피해를 완화시키는 '투수 블록 포장'의 효과에 대한 성능검증 시험 및 조사를 4년간 실시했으며 다양한 성과를 거두고 있으며 국내 처음으로 투수 블록 포장에 대한 설계시공유지관리 기준을 마련하고, 투수성능 지속성 검증 시험 장치를 개발하여 투수 포장재의 투수성능을 사전 평가할 수 있는 시스템을 구축하였다 (SMG 2013). 특히, 2017년부터 서울도심지 내 8 m 이하 차도 역시 빗물유출저감시설 설치 의무화 대상으로 정하고 있어 폭 8 m 이하 차도에는 일반 아스팔트가 아닌 차도형 투수포장 (투수아스팔트, 투수콘크리트, 투수블록 등)을 설치하도록 할 계획이다. 즉, 투수성 포장을 도심지 도로, 주차장, 공원, 광장 등의 포장에 확대 시행하여 집중호우 시 침투유량을 감소시키고 유출시간을 지체하는 등 도심지 홍수피해의 감소를 기대하고 있다.

투수성 포장은 불투수성 포장을 기본 설계개념으로 하는 과거의 포장공법과는 달리, 투수가 가능하도록 시공된 포장체를 통해, 포장체 공극에서의 저류 및 침투를 유도하여 강우 유출에 적극적으로 대응하기 위한 공법이다. 투수성 포장은 일반적으로 표층, 보조기층 (쇄석), 필터층 (모래)으로 구성되며, 언급된 유출저감 효과 외에도,

용해성 오염물질과 미세한 오염물질의 제거, 열섬현상 완화, 지하수 함양 등의 친환경적인 효과를 가지고 있다 (Park 2012). 투수성 포장재는 투수를 위한 공극확보 특성으로 인한 일반 불투수성 포장재에 비하여 상대적으로 강도가 낮아 주로 주차장, 자전거 도로, 보도 등의 시공에 국한되어 사용되어 왔지만, 현재 투수성 포장체의 강도 증진이나 투수성, 불투수성 복합 포장에 대한 연구가 진행되고 있어 투수성 포장의 적용범위는 점차 증가할 것으로 예상된다 (Lee 2011).

이에 본 연구에서는 보도 및 광장부 등에 사용되고 있는 대표적인 투수성 포장체 중 하나인 투수 블록의 사용성 확대가능성을 확인하고자 다양한 종류의 차도용 투수 블록을 서울시 품질시험소 내 주차장에 시험시공하여 장기간에 걸쳐 투수성능 및 포장상태 등에 대한 성능변화를 추적, 조사하였다. 이를 통해 투수 블록의 차도 적용가능성을 투수성 유지 및 공용성 유지측면에서 확인하고자 하였다. 현재까지 차도용 블록은 교통하중지지 특성 및 주행성 등의 한계로 인해 통행량이 많은 도심지, 고속주행도로 또는 중차량 통행이 예상되는 구간보다는 주차장, 이면도로 등 교통량이 적고 저속운행이 요구되는 곳에 한하여 사용되는 특성을 고려하여 시험시공 위치를 우선적으로 선정하였다.

3. 연구 방법

3.1 시험재료

투수 블록은 크게 블록 자체가 투수성을 갖는 자체 투수 블록과 줄눈 틈새에 의해 투수성을 갖는 틈새 투수 블록으로 구분된다 (Table 1). 자체 투수 블록은 블록 표면 전체에서 물을 투과시키는 블록으로 본 연구에

Table 1. Standard specification of the blocks in use of sidewalk or roadway in Seoul City (SMG 2013).

Type of block		Usage	Flexural strength (MPa)	compressive strength (MPa)	Permeability (mm/sec)	Width of joint (mm)	Radius of the gap (mm)	
Permeability block		Sidewalk	over 4	over 16	over 0.1	2-3	-	
		Roadway	over 5	over 20				
Joint permeability block		Open joint block	Sidewalk	over 5		over 20	-	13-20
			Roadway					
		Expansion joint block	Sidewalk	over 5		over 20	4-7	-
			Roadway					
Combined gap block		Sidewalk	over 5	over 20	2-5	-		
		Roadway						

Table 2. Test items and standard test methods of the permeable block in this study.

Category		Test item	Standard test
Field	Permeability	Field permeability test	KS F 2394 (KATS 2014b)
	Infiltration	Pervious concrete infiltration test	ASTM C 1701 (ASTM International 2009).
Interior	Permeability (Interior)	Permeability test (before & after pollution), flexural strength	KS F 4419 (KATS 2014a) SEOUL criteria (SMG 2013)
	Permeability subbase	Sieving test, coefficient of curvature, coefficient of uniformity, porosity	KS F 2502 (KATS 2014c) KS F 2505 (KATS 2012)
	Joint filler	Sieving test	KS F 2502 (KATS 2014c)

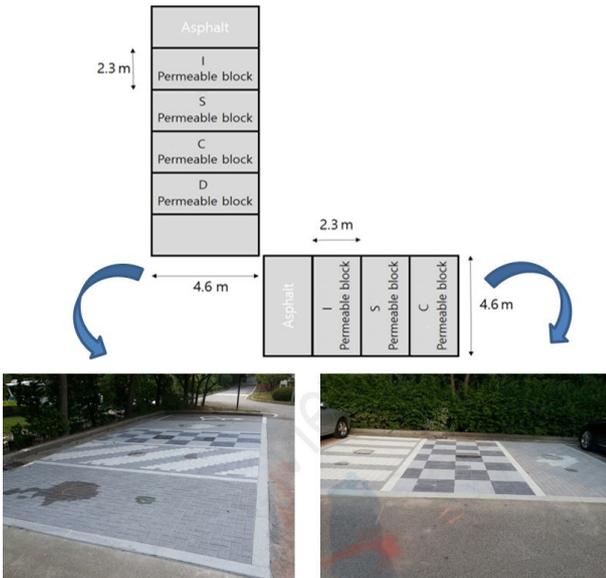


Fig. 1. Systematic diagram and photographs of the experimental construction sites.

서는 이러한 자체 투수 블록을 이용하여 공용기간 동안의 투수성능을 평가하였다. 차도용 투수블록인 80 mm의 두께인 총 4개의 제품에 대하여 각각 시료 크기는 I 사 300 mm × 150 mm, S 사 200 mm × 100 mm, C 사 200 mm × 100 mm, D 사 200 mm × 100 mm을 품질시험소 내 주차장에 시험시공하여 투수성능을 평가하였다.

3.2 차도용 투수 블록포장 시험시공

현재 국내 투수 블록포장의 포장 단면설계에 있어 차도의 투수 블록포장 단면은 노상, 보조기층, 기층, 투수 시트, 받침안정층 및 표층 (블록)으로 구성된다. 시공순서는 표층부를 평탄하게 만들기 위해 노상, 노반을 충분히 다져 시공한 후 토층 분리를 방지하기 위해 투수시트를 설치하고 투수가 잘되기 위한 입도가 고르고 점성이 작은 받침안정층 위에 투수블록을 설치 후 마지막으로

줄눈재를 시공한다. 투수성 보·차도블록 포장체의 각 층별 두께는 노상 투수계수와 교통량에 따라 변화되며 공통적으로 투수 블록포장은 노상토지지력비 (CBR)이 5%보다 큰 경우 적용한다. 또한, 투수 블록 포장은 설계 속도 60 km/hr 이하의 도로에만 적용하는 것을 원칙으로 한다. 특히 차도의 경우 겨울철에 동상가능성이 있는 지역에는 동상방지층을 설치해야 한다. 동상방지층의 설계는 노상의 투수계수가 1.0×10^{-3} mm/s 보다 작은 경우 또는 차도포장에 한하여 적용한다.

본 연구에서는 서울시 물순환 정책 관리를 위한 차도용 투수블록을 시험시공하고, 현장 추적조사를 통한 성능 검증을 시행하였다. 일반 보도용 투수블록과 달리 중차량의 하중을 받는 차도용 투수블록의 공용성을 평가하기 위하여 지속적인 정지 하중을 받는 서울시 품질시험소 내 주차장에 다양한 제품군을 우선 적용하여 투수블록의 차도 적용 가능성을 평가하였다 (Table 2, Fig. 1). 이에 투수블록에 대한 투수지속성검증시험, 현장투수량 및 현장침투능에 대한 시험평가를 시공직후부터 9개월까지 수행하여 제품별 특성을 비교, 고찰하여 향후 차도용 투수블록 적용에 기초자료로 활용하고자 하였다.

3.3 시험방법

다양한 차도용 투수포장재에 대한 현장 내에서의 투수지속성 평가를 위해 자체투수블록 4종을 대상으로 다음과 같은 시험을 수행하였다.

- 현장 투수량 평가 (투수성 포장체의 현장 투수 시험방법: KS F 2394) (KATS 2014b)
- 현장 침투능 평가 (투수성 콘크리트 현장 침투능 시험방법: ASTM C 1701) (ASTM International 2009)
- 공용기간별 투수블록 투수성능지속성 평가 (보차

도용 콘크리트 인터로킹 블록: KS F 4419)
(KATS 2014a)

- 시공 시 줄눈재와 받침안정층에 대한 품질적합성 분석

4. 결과 및 논의

4.1 줄눈재

줄눈재는 투수 블록의 현장 적용 시 투수성능의 효과를 증대 시키고, 블록 간의 하중전달 성능을 통해 파손을 억제하는 역할을 하는 중요한자로 인식되고 있다 (Panda and Ghosh 2002). 이에 따라 요구되는 성능과 함께 유실성이 없어야 성능을 지속적으로 유지할 수 있다. 침투성능은 이와 같은 줄눈재의 관리 기준은 적용되는 블록의 종류에 따라 서로 다른 기준을 적용하고 있으며, 본 시험시공에 적용된 자체투수블록의 경우 최대입경 2.5 mm 이하, 0.08 mm 체 통과율 10% 이하로 규정하고 있다. 본 시험에서 현장적용 줄눈재에 대한 시험 결과는 최대입경 0.075 mm, 0.08 mm 체 통과율 0.59%로서 품질관리 기준을 만족하는 결과를 나타내었다.

Table 3. Results of sieving test of mat sands.

Sieve size (mm)	Passing ratio (%)
10	100.0
5	97.9
2.5	90.8
1.2	81.4
0.6	59.9
0.3	12.2
0.15	2.6
0.075	0.8

4.2 받침안정층

받침안정층의 경우 줄눈재와 동일한 항목인 최대입경과 0.08 mm 체 통과율, 그리고 조립률 (FM) 항목으로 품질기준을 제시하고 있다. 이에 따른 기준은 최대입경 5.0 mm 이하, 0.08 mm 체 통과율 5% 이하, 조립률은 1.5 - 5.5로 규정하고 있다. 현장적용 받침안정층에 대한 시험결과는 Table 3에 나타내었다. 시험 결과 최대입경은 2.5 mm, 0.08 mm 체 통과율 0.84 %, 조립률은 2.55로 품질관리 기준을 만족하였다.

4.3 휨강도

휨강도에 관한 품질관리 기준은 서울시 투수 블록 설계, 시공 및 유지관리 기준 상 차도용 자체 투수 블록의 최저 휨강도는 5.0 MPa 이상을 요구하고 있다. 본 시험 시공에 적용된 투수 블록 중 1개소 만이 5.29 MPa로 품질관리 기준을 만족하였고, 타 3개소의 제품은 품질관리 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다 (Table 4).

또한 최저 휨강도가 5.0 MPa 이하 제품들의 특성을 살펴보면, 오염 전 투수계수가 0.87 - 2.78 mm/s로 매우 우수한 투수성능을 나타내었다 (Fig. 2a). 이러한 결과는 투수성 증대를 위한 내부 공극률 확대가 휨강도 저하로 이어질 수 있는 일반적인 경향을 반영하고 있는 것으로 판단된다. 또한, 투수계수가 클수록 오염 전, 후 투수계수 편차가 증대되는 결과와 마찬가지로 휨강도 역시 투수계수가 클수록 공극의 확대에 의한 불균질한 강도 특성으로 인하여 강도 측정값 간의 편차가 증대되는 것으로 분석되었다.

Table 4. Results of the flexural strength test of the permeable blocks in test road way (The bold numeral means acceptability under the quality standard).

Block product (size in mm)	Flexural strength (MPa)		
	Mean	Standard deviation	Minimum
I (150×300)	5.46	0.40	5.29
S (100×200)	4.49	0.47	4.21
C (100×200)	3.62	0.25	3.46
D (100×200)	5.25	1.87	4.13

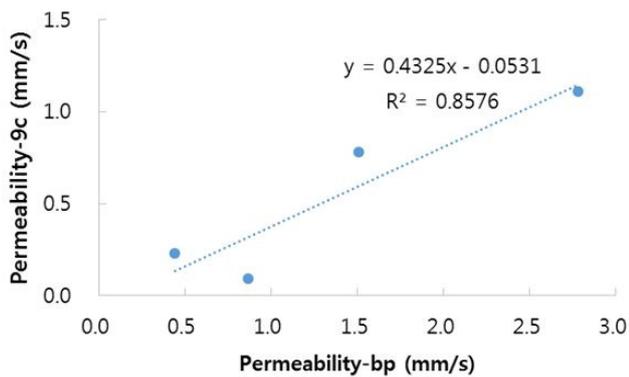
Table 5. Results of the interior permeability test of the permeable blocks.

Block product (size in mm)	Permeability coefficient (mm/s)		Permeability class*
	Before pollution	After pollution	
I (150×300)	0.44	0.19	3
S (100×200)	0.87	0.12	3
C (100×200)	1.51	0.83	2
D (100×200)	2.78	1.42	1

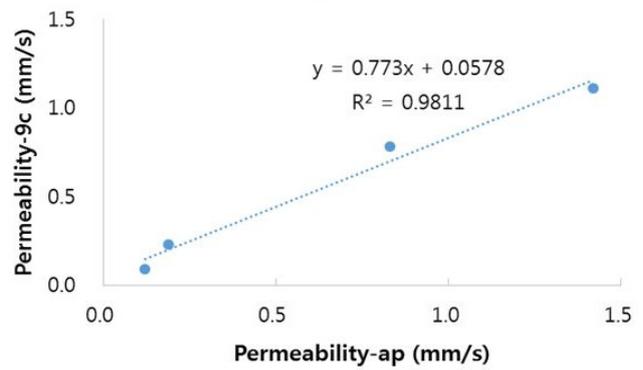
* SMG (2013)

Table 6. Results of field permeability test and pervious concrete infiltration test of the permeable blocks (the bold numeral means acceptability under the quality standard).

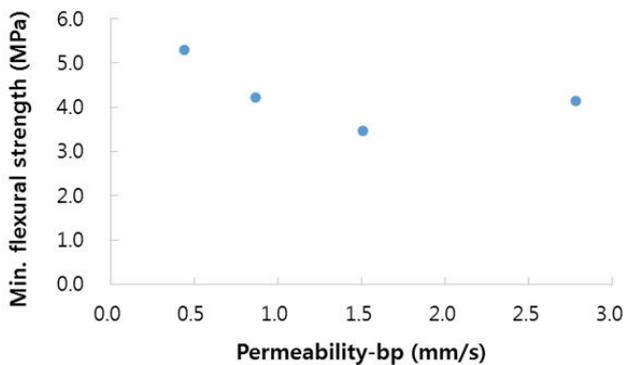
Block product	Field permeability (mm/s)			Infiltration (mm/s)		
	Immediately after construction	2 months after construction	9 months after construction	Immediately after construction	2 months after construction	9 months after construction
I	11.19	12.76	9.91	0.30	0.21	0.23
S	11.89	19.15	20.00	0.59	0.27	0.09
C	11.58	13.58	12.87	0.95	0.88	0.78
D	9.43	10.44	8.00	1.03	1.02	1.11



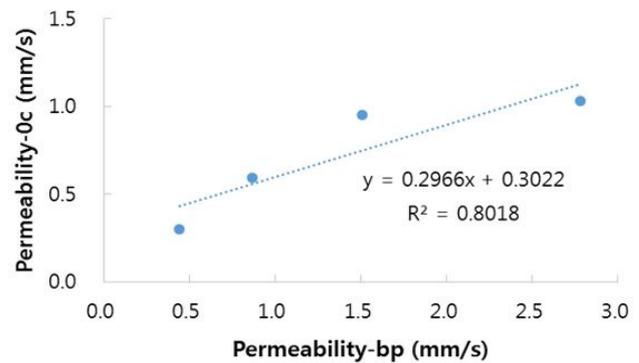
a) Permeability before the pollution and minimum flexural strength



b) Permeability before the pollution and immediately after the construction



c) Permeability before pollution and 2 months after the construction



d) Permeability after the pollution and 9 months after the construction

Fig. 2. The relationship between the permeability coefficient before the pollution experiment of the block and the minimum flexural strength (a) and relationships among the permeability coefficients before and after the pollution experiment or with the time after the construction of the blocks (c-d).

4.4 실내 투수지속성

본 시험시공에 사용된 총 4개 제품 중 2개 제품이 투수지속성 3등급으로 평가되었으며 1개의 제품만이 1등급으로 평가되었다 (Table 5). 오염 전, 후 간 투수계수 변화는 14 - 55% 수준으로 저감되는 경향을 나타내었고, 측정값들 간의 편차는 최대 1.36 mm/s에서 최소 0.15 mm/s로 나타났으며 오염 전 투수계수가 클수록 오염 후 편차가 크게 나타나는 것으로 나타났으며, 이는 투수계수가 높은 제품의 경우 낮은 제품의 경우에 비해 상대적으로 투수면적이 넓다고 판단되며, 이와 같은 넓은 면적이 분진과 이물질로 인하여 공극막힘으로 인한 투수성 저감영향이 다소 높은 것으로 분석되었다.

이는 시공 초기 (오염 전) 투수계수는 품질관리 기준을 만족하지만, 시공 후 (오염 후)의 투수계수는 공용 기간에 따라 분진 및 이물질의 유입으로 인하여 공극의 막힘 현상이 발생되어 투수 블록의 투수성을 급격히 저감시키는 것으로 판단되며, 공용 중 또는 시공 예정의 제품에 대하여 오염 후 실험조건에 의한 평가를 함에 있어 보다 엄격한 품질관리 및 유지관리가 필요함을 보여주고 있다.

4.5 현장 투수 및 현장 침투능

각 제품의 공용기간 (시공 직후, 2개월 후, 9개월 후)에 따른 추적조사 결과, 현장 투수 및 현장침투능을 통해 측정된 투수계수는 1개 제품을 제외한 모든 제품에서 0.1 mm/s 이상의 품질기준을 만족하였으나, 제품 간 편차는 최대 1.12 mm/s까지 발생하는 것으로 분석되었다 (Table 6).

이는 공용기간이 경과함에 따라 각 제품에 따라 공극 막힘 현상의 진행속도가 다소 차이가 있음을 알 수 있으며, 시공 후 상용화 기간이 1년이 경과되지 않은 시점에서의 투수계수는 품질관리 기준을 대부분 만족하고 있는 것으로 평가되었다. 투수계수가 증가한 구간의 경우는 동일 위치에 대한 추적조사 시 현장시험에 따른 줄눈재의 유실로 일시적인 증가를 나타낸 것으로 판단되며, 투수계수의 감소구간의 경우 줄눈재 유실량에 비하여 상대적으로 공극막힘 현상이 가속화 되어 투수계수가 저하된 것으로 판단된다.

본 연구에서는 단기간의 일부 제품에 대한 추적조사의 한계성을 지니고 있기에 향후 연구를 통하여 다양한 제

품과 보다 지속적인 추적조사를 통하여 투수 블록의 차도 적용성에 대한 정량적 분석이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 도출된 실내외 투수성능에 대한 평가결과를 보다 자세히 살펴보기 위하여 현장에서 측정된 투수계수와 실내에서 측정된 투수계수 간의 상관성을 분석하였다. 실내 투수계수는 블록제품 자체의 투수계수를 측정하는 오염 전 측정에 의한 투수계수 산정과 공용기간 중 블록이 오염될 것을 가정하여 이물질에 의한 오염 후 투수계수 측정으로 구분되며 본 연구에서는 오염 후 측정된 투수계수가 실제 현장에서 언제까지의 공용기간을 모사할 수 있는 지에 대해 비교 분석하였다. 시공 전 투수블록에 대한 오염 전 투수계수와 시공 직후 현장에서 측정된 현장침투능에 의한 투수계수간의 상관성은 $R^2=0.80$ 로 평가되어 높은 상관성을 나타내었으나 (Fig. 2b), 오염 전 투수계수와의 공용기간 9개월이 경과한 시점에서 측정된 현장 투수계수와의 상관성은 $R^2=0.85$ 로 상관성이 증가하는 것으로 평가되었다 (Fig. 2c). 그러나 시공 전 투수블록에 대한 오염 후 (투수성능 지속성 검증시험) 측정된 투수계수는 공용기간 9개월이 경과한 투수블록에 대한 현장 투수계수와의 상관성 분석결과, $R^2=0.98$ 의 매우 높은 수준의 상관성을 나타내어, 시공 전 투수블록에 대한 투수성능 지속성 검증시험에 의한 오염 후 투수계수가 최소 공용기간 9개월이후의 실제 투수계수를 예측할 수 있음을 확인하였다 (Fig. 2d). 이는 실내시험을 통한 투수블록의 평가결과는 현장적용 시 공용기간에 따른 투수성의 상태변화를 예측하기에 적합한 결과라고 판단되며, 이와 같은 결과를 바탕으로 시공 전, 후의 철저한 품질관리가 필요하다고 판단된다.

5. 결론

서울시 투수블록 설계, 시공 및 유지관리 기준 상차도용 투수블록의 휨강도 기준은 최저 휨강도 5.0 MPa 이상을 요구하고 있으나 본 연구에서의 휨강도 시험 결과는 3개소의 제품이 품질관리 기준을 만족하지 못하였다. 이와 같은 결과를 나타낸 제품은 오염 전 투수계수가 0.87 - 2.78 mm/s로 매우 우수한 투수성능을 보였던 제품으로 투수계수가 클수록 공극률이 높아짐에 따라 휨강도 편차가 증대 되는 것으로 판단된다. 향후 본 구간에 대한 시공직후 및 지속적인 추적조사에 의한 투수계수와 블록의 파손 조사 그리고 휨강도

평가 자료를 기초로 적절한 초기 투수성능 산정을 통하여 과도한 공극확보로 인한 강도 저하 현상의 문제를 해결할 수 있는 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 실내 투수성능 지속성 (정수위) 시험 결과 4개의 제품 중 2개 제품이 3등급으로 평가 되었으며 1등급 제품은 1개 제품으로 평가되었다. 오염 전·후 간 투수계수 편차는 최대 1.36 mm/s에서 최소 0.15 mm/s으로 나타났으며, 오염 전 투수계수가 클수록 오염 후 편차가 크게 나타나는 것으로 분석 된다. 현장투수 시험 결과에 따르면 4개의 제품 모두 공용기간이 지남에 따라 투수성능의 감소 폭은 적었으며, 환경적 요인 (바람, 강우, 차량통행 등)에 의하여 줄눈재의 유실 및 표면 마모로 인한 공극확장 등으로 인한 투수성능이 증가하는 결과를 나타내기도 하였다. 현장침투능 시험 결과에 따르면 대부분의 제품에서 0.1 mm/s의 품질기준을 만족하였으나 제품 간 편차는 최대 1.12 mm/s까지 발생하는 것으로 분석되었으며, 현장에서 측정된 투수계수와 시공 전 실내에서 측정된 투수계수 간의 상관성은 매우 높은 상관성을 보이는 것으로 분석되었으며, 이와 같은 결과를 바탕으로 시공 전 엄격한 실내시험을 통하여 시공 후에도 우수한 성능을 유지할 수 있는 품질확보가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 서울특별시 품질시험소 (계약번호 20150746148-01)의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

References

- ASTM International. 2009. Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Jeong, H.S. 2010. Development of Environmental-friendly Water Permeability Block and Performance Evaluation. MS Thesis, Hanbat National University, Daejeon, Korea. (in Korean)
- KATS. 2012. Testing Method for Bulk Density of Aggregates and Solid Content in Aggregates. Korean Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea. (in Korean)
- KATS. 2014a. Concrete Interlocking Block for Side Walk and Road. Korean Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea. (in Korean)
- KATS. 2014b. Standard Test Method for Permeability of Porous Pavement. Korean Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea. (in Korean)
- KATS. 2014c. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Korean Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea. (in Korean)
- Kim, B.H. 2001. Experimental and Numerical Study on Effects of Runoff Reduction in the Permeable Pavement. MS Thesis, Myongji University, Yongin, Korea. (in Korean)
- Lee, S.Y. 2011. Functional drainage evaluation of block paving through the usage of sludge and wheel tracking test. Journal of Korean Society of Road Engineers 13(3): 31-38. (in Korean)
- Panda, B.C. and Ghosh, A.K. 2002. Structural behavior of concrete block paving. I: sand in bed and joints. Journal of Transportation Engineering 128(2): 123-129.
- Park, Y.S. 2012. Performance Evaluation of Permeable Block Pavement Using Accelerated Pavement Testing. MS Thesis, Chung-Ang University, Seoul, Korea (in Korean)
- SMG. 2013. Standard for Design, Construction, and Maintenance of Pavement Using Permeable Block. Seoul Metropolitan Government, Seoul, Korea. (in Korean)