자동차전용도로 연차별 소음 및 투수성능조사

김 재 원 | 명지대학교 교통공학과 석사과정·공학학사
이 민 희 | 명지대학교 교통공학과 석사과정·공학학사
이 호 정 | 명지대학교 교통공학과 석사과정·공학학사
김 인 태 | 명지대학교 교통공학과 부교수·공학박사

1. 서 론

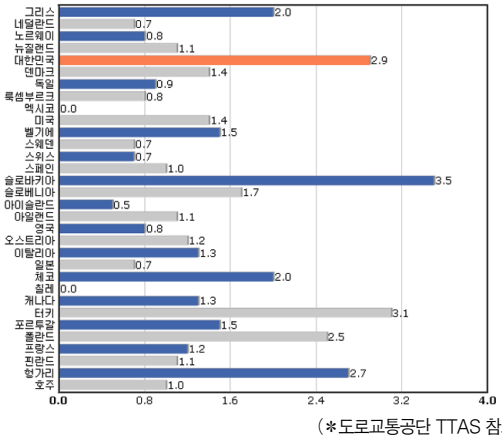
1.1 연구배경

시민들의 경제수준과 의식수준의 향상으로 속도와 수송능력에 집중되어 있는 관심이 점차 환경문제와 교통안전에 관한 의식으로 변하고 있다.

환경문제의 경우 소음은 2009년 중앙환경분쟁조정위원회의 민원 처리 283건 중 소음·진동 관련 민원 처리 건수가 241건으로 총 민원 처리의 85%를 차지하고 있어 소음을 불편하게 생각하고 있다.

또한 OECD국가중 우리나라의 자동차 1만대당 교통사고 사망자수는 2.9명으로 슬로바키아와 터키에 이어 3위를 차지하고 있는데 OECD국가들의 평균인 1.34보다 2배 이상 높은 수치이다.

이런 문제점을 해결하기 위해 서울시에서는 저소음·배수성 포장을 시공하였다. 저소음·배수성 포장은 포장에 공극을 통해 원활한 배수가 이루어져 야간에 전조등에 의해 발생하는 난반사를 줄이고 공극을 통해 차량과 도로 사이에 발생하는 소음을 흡수하여 위에서 제기한 문제점을 줄이는데 효과적인 포장이다.



(*도로교통공단 TTAS 참고)

그림 1. '08년도 OECD국가 자동차 1만대당 교통사고 사망자수

서울시에 시공된 저소음·배수성 포장은 서울시가 관리하는 도로 중 약 3.5%로 매우 미미한 실정이다.

유지관리도 잘 이루어지지 않아 정상적인 기능을 하지 못하는 지점도 존재한다. 따라서 현재 시공된 저소음·배수성 포장이 시간이 흐름에 따라 포장의 투수성과 소음저감 효과가 어떻게 변해 가는지 확인해 보고 저소음·배수성 포장의 기능을 유지하기 위한 유지보수 실시 간격을 알아보고자 한다.

표 1. 서울시 배수성 포장 시공현황(이상염 등, 2012)

년 도	2006이전	2007	2008	2009	2010	계
연 장 (m)	12,288	11,977	16,874	21,358	8,974	71,471
면 적 (a)	2,339	2,345	2,588	3,653	1,540	12,465

1.2 저소음·배수성 포장 기능

손종철(2004)에 따르면 우천 시 우수가 즉시 표면에서 제거되어 물보라 현상 및 전조등으로 인한 난반사를 제거한다. 표면에 우수가 남아 있을 때 물보라의 경우 차량의 속도가 80km/h 이상이면 도로의 유거수로 인해 시야가 가려져 사고 가능성이 높다.

시공 전 시공 후

* 토목연구정보센터

그림 2. 도쿄도 츄오구 니혼바시 유우오토리 시공 전·후 모습

유인균(2003)의 연구에서는 공극을 만들기 위해 사용되는 골재가 크기 때문에 일반 포장에 비해 표면이 거칠어 미끄럼 저항성이 높다. 일반 포장의 경우 60km를 넘어가면 미끄럼 저항이 급속히 저하되지만 저소음·배수성 포장의 경우 일정한 미끄럼 저항을 유지하는 것으로 조사되었다.

공극으로 투수뿐 아니라 차량의 타이어와 도로의 표면에서 발생하는 마찰로 인한 소음도 감소하여 저소음·배수성 포장이 소음감소 및 교통사고를 줄이는 역할을 하는데 효과적이다.

2. 투수성 및 소음 조사

2.1 투수조사

서울시의 주요 간선도로의 저소음·배수성 포장체에 대한 현장 투수시험을 시행했다. 교통하중에 대한 저소음·배수성 포장체의 기능저하를 확인하기 위해 조사구간 마다 주행부와 비주행부로 나눠 시험을 실시했다. 현장 투수시험은 기술표준원 기준인 "KS F 2394 투수성 포장체의 현장 투수 시험방법"에 의하여 시행했다.

2.1.1 투수시험장비

우선 현장 투수시험기는 수위를 측정할 수 있는 스탠드 파이프와 이를 고정하고 투수시험 면적을 확보하여 주는 부속 기기를 조립하여 하나의 용기로 한 것으로 그림 3과 같은 치수와 모양을 가진 부품으로 구성되는 투수시험기를 사용한다.

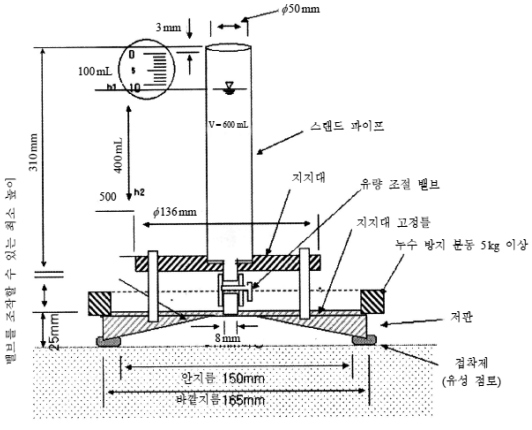


그림 3. 투수시험기 구조

2.1.2 투수시험방법

투수시험기를 설치할 포장노면의 먼지 등을 제거

한 다음 투수시험기를 포장체 표면에 설치한다. 설치 시 저판의 고무판에 미리 유성점토를 부착하여 노면과의 접촉면에서 발생하는 누수를 방지한다. 유성점토 부착 후 투수시험기를 노면에 압착시키고, 접착부분으로부터 누수가 없도록 한 후, 저판 위에 분동을 올려놓는다(단, 유성점토 부착 시 과도한 점토를 사용하면 투수시험기 저판 안쪽으로 점토가 들어가 저판 내부 공간이 줄어들어 결과값에 오차가 발생할 수 있어 유성점토 사용에 주의가 필요).

스탠드 파이프 100mL의 위치에 초기 수위 h1을 표시하고, h1에서 400mL가 내려간 위치에 h2를 표시하고, 유량 조절 밸브를 닫은 후 시험수를 스탠드 파이프에 주입한다. 시험수 주입이 완료되면 밸브를 한 번에 열어 주입된 시험수가 h1에서 h2까지 내려가는 시간을 측정하며 총 3회에 걸쳐 시험을 실시한다(단, 300초가 초과될 시 투수불가로 판단). 1회 시험후 다음 시험까지 1분간 대기한 후에 포장체에 시험수가 제거된 후 다음 시험을 실시한다.

시험 시 유성점토를 사용하지만 피로균열로 인한 골재의 탈리가 발생하면 투수시험기 옆으로 누수되거나 포장 내부공극이 막혀 시험수가 투수시험기 옆에 있는 공극을 통해 역류할 수 있어 주의해야 한다.

2.2 소음조사

소음측정방법은 소음·진동 공정시험방법에 제시된 측정방법에 따라 디지털 소음자동분석계(Bruel & kjaer 3560-B)에서 샘플주기를 1초 이내에서 결정하고, 5분 이상 측정하여 자동 연산·기록한 등가 소음도를 각 2회 측정하여 산술 평균되어진 결과를 지점의 측정 소음도라 한다.

그림 4. 소음조사 측정현장 사진(노들길-한강미디어 고등학교)

2.2.1 소음조사장비

소음측정에 사용된 장비는 디지털 소음자동분석계(Bruel & kjaer 3560-B)로 최대 4개 지점에 대한 동시측정이 가능하며 사용된 장비의 제원은 아래 표 2와 같다.

표 2. 'Bruel & kjaer 3560-B' 제원

구성사양	
가청주파수	0Hz ~ 25.6Khz
5 채널	4지점 동시 측정 가능
진동자료수집시스템	실시간 측정 기능
	측정 데이터 저장 기능
	동시분석 기능
	FFT, 1/n-octave(CPB) Order, Overall analyses

2.2.2 소음조사방법

측정지점은 조사를 실시하는 지점의 부지경계선 중 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점에서 지면 위 1.2~1.5m 높이에 실험 장비를 설치한다. 단 측정지점 앞에 담, 건물 등 높이가 1.5m를 초과하는 장애물이 존재하는 경우에 장애물로부터 도로방향으로 1~3.5m 떨어진 지점에서 조사를 실시한다. 존재하는 장애물이 방음벽이거나 충분한 차음이 예상되는 경우에 장애물 밖의 1~3.5m 떨어진 지점 중 장애물의 영향이 적은 지점으로 조사를 실시한다.

소음으로 인한 피해가 우려되는 곳이 2층 이상의 건물인 경우에는 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문, 출입문 또는 건물 벽 밖의 0.5~1m 떨어진 지점에서 조사를 실시한다.

2.3 투수 및 소음 관리기준

2.3.1 투수기준

저소음·배수성 포장에서 도로의 투수 기능을 설명할 수 있는 기준은 투수계수이다. 투수계수는 도로나 노상에서 물이 빠지는 비율을 나타내는 계수로 현재 우리나라의 배수성 포장에서는 시공 직후 10^{-2}cm/sec를 일반적인 기준으로 삼고 있다. 이 값은 2006년 서울시 건설안전본부에서 발표한 "저소음·배수성 아스팔트 포장 시방서"에 기재되어 있으며 기타 많은 시방서에서 이 기준을 사용하고 있다.

저소음·배수성 포장의 정확한 투수기준은 아래 표 3과 같다.

표 3. 저소음·배수성 포장 투수기준 (건설교통부, 2006)

항목	서울시기준
안정도(N)	5,000 이상
플로우 (1/100cm)	-
수침마샬잔류안정도(%) 60℃ 48시간	75 이상
공극률(%)	18 이상
투수력 (cm/초)	0.01 이상
현장 투수 성능(sec)	10 이내
칸타브로 손실률(%)	20 이하
동적안정도	3,000회/mm

2.3.2 소음기준

도로교통 소음은 "소음·진동 관리법"에 의하여 규정되어 있으며 이 기준은 시민들의 평온한 생활환경을 유지하기 위해 소음·진동을 규제한다. 저소음·배수성 포장 시공이 실시된 도로 지역에서는 표 4의 도로교통 소음기준이 적용되어야 한다.

표 4. "소음·진동관리법" 제26조, "소음·진동 관리법 시행규칙" 제25조 및 별표 12

지 역	분류	제 한	
		주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
1. 주거지역	소음	68LeqdB(A)	58LeqdB(A)
2. 녹지지역 3. 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발 4. 자연환경 보전지역 5. 학교·병원·공공도서관 및 입소규모 100명 이상의 노인의료복지시설·영유아 보육시설의 부지 경계선부터 50m 이내 지역	진동	65db(V)	60db(V)
1. 상업지역	소음	70LeqdB(A)	60LeqdB(A)
2. 공업지역 3. 농림지역 4. 생산관리지역 및 관리지역 중 산업·유통개발진흥지구 5. 미고시 지역	진동	65db(V)	60db(V)

3. 투수 및 소음 조사결과

3.1 투수조사결과

투수조사지점 중 강변북로(광장동 극동아파트~천호대교)는 2003년에 시공한 지점이다. 조사결과는 표 5와 같은데 주행부와 비주행부 모두 투수불가로 조사되었다. 더 이상 저소음·배수성 포장으로서 기능을 하지 못한다는 결과이다. 포장체의 공극을 먼지와 같은 이물질이 막아 투수력이 상실된 것으로 판단된다. 이 지점 외에도 2006년 이전에 시공된 지점들은 대부분 투수력을 상실하여 일반도로와 큰 차이가 없는 투수력을 보인다.

그림 5. 강변북로(광장동 극동아파트~천호대교) 조사지점

이런 결과는 포장시공 후 유지관리를 하지 않아 발생한 것으로 판단되는데, 우천 시 우수가 빨리 제거되지 못해 물보라 및 난반사가 발생하여 사고발생 가능성이 있고 소음저감 효과도 적을 것으로 판단된다.

표 5. 강변북로(광장동 극동아파트~천호대교)

조사 일시	조사 지점	조사결과				현 장 투 수	
		1회	2회	3회	평균	15초 투수율 (mL)	KT (cm/s)
'10. 7.27	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
'10.11.24	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
'11. 7.27	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
'11.11.24	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
'12. 7.31	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
'12.11.21	주행부	측정불가			○	○	○
	비주행부	측정불가			○	○	○
시공년도(시공사)		2003년 10월 (성동)					

올림픽대로 조사지점은 2010년에 시공된 지점으로 최근에 시공된 지점인 만큼 투수력이 높게 조사되었다. 자세한 결과는 표 6과 같다. 시공 직후 투수조사 결과는 3초대의 좋은 결과가 나왔고 2011년도에도 투수력이 비슷하게 결과값이 나왔지만 2012년도

그림 6. 올림픽대로(현대선사아파트) 조사지점

조사결과는 시공 직후에 비해 약 1초정도 증가한 결과값을 확인할 수 있다.

표 6. 올림픽대로(현대선사아파트)

조사 일시	조사 지점	조사결과				현 장 투 수	
		1회	2회	3회	평균	15초 투수율 (mL)	KT (cm/s)
'10. 7.27	주행부	3.54	3.51	3.84	3.51	3.84	3.63
	비주행부	3.85	4.38	4.19	4.38	4.19	4.14
'10.11.24	주행부	3.61	3.47	4.07	3.47	4.07	3.72
	비주행부	4.00	4.47	5.26	4.47	5.26	4.58
'11. 7.6	주행부	3.73	3.72	3.91	3.72	3.91	3.80
	비주행부	3.81	3.00	4.10	3.00	4.10	3.60
'11.11.10	주행부	3.71	3.58	4.25	3.58	4.25	3.80
	비주행부	3.59	5.13	5.01	5.13	5.01	4.60
'12. 8.2	주행부	4.56	4.59	5.87	4.59	5.87	5.01
	비주행부	4.83	4.88	5.07	4.88	5.07	4.93
'12.11.28	주행부	4.73	4.89	4.93	4.89	4.93	4.85
	비주행부	5.29	5.98	5.97	5.98	5.97	5.74
시공년도(시공사)		2010년 5월					

2006년 이후 시공된 지점들은 여러 가지 조건에 따라 투수력이 낮은 지역도 존재하지만 대부분 투수가 가능하다. 하지만 지속적인 청소와 같은 유지관리를 통해 공극의 막힘을 예방하지 않는다면 결국 위 강변북로와 마찬가지로 투수가 불가능한 지점으로 변경될 가능성이 존재한다. 조사결과 시공 후 2년 동안은 큰 변화가 없는 만큼 유지보수를 실시한다면 3년의 간격을 두어 시행하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3.2 소음조사결과

노들길에 위치한 한강미디어 고등학교 내부의 1층부터 8층까지 조사를 실시하였고, 그 결과는 표 7과 같다. 조사결과 5층 이상의 경우 소음결과가 높게 조사되었는데 이런 결과가 나온 이유는 조사지점에 방음벽이 설치되어 있기 때문으로 판단된다. 방음벽이

표 7. 노들길(한강미디어 고등학교)

		시공 전			시공 후								
조사일시		'09. 5.27			'10. 6.28			'11. 8.25			'12. 9.27		
조사 시간	조사 지점	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)
11:00 ~ 12:00	5층	71.2	71.5	71.4	67.5	67.3	67.4	66.5	67.8	67.2	73.0	72.3	72.65
	6층	72.8	73.1	73.9	69.0	69.4	69.2	71.1	71.8	71.5	74.7	74.2	74.45
	7층	75.1	75.6	75.4	70.5	71.2	70.8	70.6	71.0	70.8	75.5	75.4	75.45
	8층	76.5	76.9	76.7	72.2	73.3	72.8	73.6	73.7	73.6	75.9	75.7	75.8
12:00 ~ 13:00	1층	60.3	59.9	60.1	57.1	57.3	57.2	60.2	60.3	60.3	60.5	59.3	59.9
	2층	61.1	61.7	61.4	59.2	59.2	59.2	63.1	64.9	64.0	64.8	61.6	63.2
	3층	64.8	65.3	65.1	63.4	63.0	63.2	63.6	64.4	64.0	64.8	65.3	65.05
	4층	70.1	69.4	69.8	66.0	66.2	66.1	67.2	68.2	67.7	69.3	69.5	69.4

표 8. 강변북로(난지캠핑장)

		시공 전			시공 후								
조사일시		'09. 5. 7			'10. 6. 24			'11. 7. 21			'12. 9. 27		
조사 시간	조사 지점	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)	1회 dB(A)	2회 dB(A)	평균 dB(A)
08:00 ~ 09:00	A	83.8	80.8	82.3	77.7	77.0	77.4	78.1	77.8	77.95	84.4	84.1	84.25
	B	65.1	66.6	65.8	62.0	61.6	61.8	63.1	62.2	62.65	62.2	59.7	60.95
09:00 ~ 10:00	A	86.0	82.5	84.2	80.2	80.7	80.5	80.1	78.1	79.1	80.2	80.4	80.3
	B	66.3	66.4	66.3	61.8	62.4	62.1	63.4	62.9	63.15	63.2	63.3	63.3

3층 이하 저층의 소음은 감소시켜 주지만 4층 이상의 높은 지점의 소음은 감소효과가 없기 때문이다. 따라서 저소음·배수성 포장의 영향을 확인하기 위해서는 4층 이상 지점의 결과값을 이용하여 분석을 실시하였다.

그림 7. 노들길(한강미디어 고등학교)

저소음·배수성 포장을 시공하기 전에 비해 시공 직후 약 3~4dB(A)의 저감효과가 발생하였다. 시공 2년 후에도 소음저감 효과가 전년도와 비슷하게 조사되었지만 3년이 넘어가는 시점에서 소음저감 효과가 감소하였다. 3층 이하의 경우 방음벽으로 인해 소음결과값이 3년이 넘어가는 시점에도 큰 차이가 없었지만 방음벽의 영향을 받지 못하는 4층 이상의 경우는 포장의 소음저감 능력감소로 소음이 증가했다.

난지캠핑장 소음조사는 소음발생지인 도로변인 'A' 지점과 사람들이 캠핑을 하는 내부 장소인 'B' 지점에 대해 조사를 실시하였다. 난지캠핑장의 경우도 저소음·배수성 포장을 시공하기 전에 비해 시공 후 소음저감 효과가 발생하여 약 5dB(A)이 감소하였다.

조사 결과값은 노들길과 유사하게 시공 후 2년까

지는 비슷한 소음저감 효과를 보이다가 3년이 넘어가는 시점에서 소음저감 효과가 감소하였다. 특이사항으로 내부지점 'B'의 경우 저소음·배수성 포장 시공 후 방음벽이 설치되어 내부소음의 변화를 파악하기 어렵다. 난지캠핑장의 경우 내부 조사지점이 도로보다 낮은 지역에 위치해 있어 방음벽으로도 충분한 소음저감 효과를 보여 내부 조사지점의 소음은 큰 변화가 없는 것으로 판단된다. 저소음·배수성 포장의 기능을 파악하는 것은 외부지점인 'A'의 결과값을 가지고 확인하였다.

소음조사 결과 시공 후 2년까지는 소음저감 효과가 확실히 존재하나 3년 후부터는 소음저감 효과가 감소함을 확인할 수 있는데 투수조사와 마찬가지로 소음저감 효과를 유지하기 위해서는 공극이 막히는 것을 예방하기 위한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

그림 8. 강변북로(난지캠핑장)

소음저감 기능도 투수력과 마찬가지로 3차년도를 기준으로 소음저감 효과의 감소폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 지속적인 유지관리를 통해 공극의 이물질을 제거하해야 저소음·배수성 포장의 기능을 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

저소음·배수성 포장의 효과와 실태를 확인하기 위해 "KS F 2394" 방법을 사용한 투수시험과 Bruel & kjaer 3560-B장비를 사용하여 소음을 조사하였다.

투수조사 결과 상반기와 하반기를 비교했을 경우 약 4개월의 기간에도 포장의 투수력에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있는데, 최근에 시공한 지점일수록 투수력의 차이가 적어진다. 2006년 이전에 시공한 저소음·배수성 포장의 경우 유지관리가 이루어지지 않아 공극이 이물질로 인해 막혀 투수기능을 상실하였다. 2006년 이후에 시공한 포장의 경우는 시공 직후가 가장 높은 투수력을 보였고 시공 후 2년까지는 큰 차이가 없다가 3차년도가 넘어가면 투수력의 감소폭이 커진다. 이를 참고로 하면 시공 후 3년 이내에 유지보수를 실시해야 투수력을 보존할 수 있는 것으로 판단된다.

소음조사의 결과도 투수조사와 유사한 경향을 보였다. 시공 직후 소음저감 효과가 가장 크고, 3차년도가 넘어가면 소음저감 효과의 감소폭이 커진다. 소음의 경우도 역시 투수와 마찬가지로 3년 이내에 유지보수를 실시해야 소음저감 효과의 유지가 가능할 것으로 판단된다.

공극에 이물질이 들어가서 막히는 경우도 있지만 여름철 높은 기온으로 인해 발생하는 아스팔트의 소성변형으로도 공극이 막히는 경우가 존재한다. 따라서 청소뿐 아니라 종합적인 유지관리를 통해 저소음·배수성 포장으로서 기능을 유지하여 소음 및 교통사고 저감에 효과가 있을 것이다.

참고 문헌

이상염, 김인태, 문성호, 권수안(2012), '서울시 배수성 아스팔트 포장의 기능적 평가 연구', 한국도로학회 논문집, 제14권 제3호

건설교통부(2006), 배수성 아스팔트 포장 시방서

손종철(2004), '배수성 포장의 활용방안과 품질개선 방안', 한국도로학회 학회지, 제6권제4호

유인균(2003), 배수성 포장의 이해와 적용

김용석 유인균 이수형(2001), '배수성 포장의 미끄럼 저항 특성에 관한 연구', 한국건설기술연구원