

저소음 포장시스템 개발 연구

Development of Quiet Pavement System

이관호* · 박우진** · 김광엽***

Lee, Kwan-Ho · Park, Woo-Jin · Kim, Kwang-Yeom

1. 서론

최근 산업의 발달 및 국민소득 증대에 따른 자동차 보급률의 증가 및 물동량의 급증으로 인해 도심에서 증가하는 교통소음은 정온한 주거환경을 해치는 중요한 인자로 대두되고 있으며, 인근 주민들의 불만족 지적률이 날로 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 정부에서는 소음을 규제할 필요가 있다고 인정되는 지역을 소음규제지역으로 지정, 고시함으로써 주민의 정온한 생활과 교육환경 유지를 위하여 노력하고 있으나 이에 대한 연구의 부족 및 자료의 결핍 등으로 인해 효율적인 규제 및 대책 마련에 어려움을 겪고 있다. 도시환경소음의 종류로는 도로교통소음, 철도소음, 항공기소음, 건설소음 등이 있으며 이 중에서 본연구와 관련이 있는 도로교통소음은 특성상 교통량, 교통 흐름과 관련된 차량 종류 및 차량운행 방법 등에 따라 달라지며, 차량 엔진소음, 흡·배기계 및 차량 표면과 공기의 흐름에 의해 발생하는 기체소음, 타이어와 도로 표면과 마찰에 의해 발생하는 노면소음 등이 있다. 이러한 소음의 저감을 위해 간접적인 방식보다 소음의 발생량 자체를 저감시키는 직접적인 방식이 효과적이다. 이러한 직접적인 소음 저감 효과를 높이기 위해 사용하는 직접적 소음 저감 방식에서는 노면 재료 및 포장 기법 선택 등이 중요한 항목이 된다.

본 연구는 도심지 시공을 위한 민원저감형 대체공법 개발 연구분야 중 하나로서, 도로상의 교통소음 문제를 해결할 수 있는 대안으로 도로포장체 위를 주행하는 차량에서 발생하는 소음을 저감하기 위해 저소음도로포장공법 개발을 주목적으로 한다. 복층구조의 저소음 포장단면에 적합한 배합설계를 결정하고, 소음저감형 기층용 콘크리트 블록은 Helmholtz resonators 이론을 접목시킴으로서 차량의 타이어 파열음과 차량음 등을 흡수하여 소음을 현저히 줄일 수 있는 기대하며, 이 두가지 공법을 접속도로, 아파트 단지 내 도로, 주택가 도로 등 소음발생이 높은 지역에 적용한다면 소음저감에 대한 사회적 요구를 충족시킬 수 있을 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 표층에 적용될 복층형(2-Layer) 구조의 저소음 포장시스템 개발과 기층용 콘크리트 블록을 개발하여 소음저감효과를 평가하고자한다.

2. 소음의 정의

소음이란, 원하지 않는 시끄럽고 음색이 불쾌감을 주는 큰소리로서 강한 충격에 의해 물체에 심하게 진동하는 현상을 말한다. 소음에 대한 느낌은 사람에 따라 다르며 지속 시간에 따라 느낌이 다르다. 일반적으로 사람이 불쾌하게 느끼는 소리. 이것은 상당히 주관적인 정의이며 어떤 사람에게든 소음이라 해도 다른 사람에는 마음에 드는 소리도 될 수 있다. 보통의 일반적인 사람은 20-200Hz까지 음을 감지한다. 최근 들어 자동차의 증가와 도로의 확대, 주택이 도로와 인접해서 건설됨에 따라 교통소음으로 인한 피해건수는 해마다 늘고 있는 추세이다. 피해 장소는 주로 병원이나 학교 도로인데, 도시권 지역 학교의 소음도는 60-65dB(A) 수준이며 병원 및 공공도서관 등의 소음도는 64-69dB(A)로 환경기준은 물론이며 도로교통 소음한도를 초과 하는 지역이 늘어나고 있다

* 정 회 원 · 공주대학교 건설환경공학부 정교수 · 공학박사(E-mail : kholee@kongju.ac.kr)

** 학생회원 · 공주대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail : pwj1129@kongju.ac.kr)

*** 정 회 원 · 한국건설기술연구원 · 공학박사(E-mail : kimky@kict.re.kr)

(김병삼, 1998, 문성호와 홍승호, 2008, 이상주와 김용훈, 2008, 이한진 등 2004, 환경부 2004).

저소음 포장층은 포장체내에 존재하는 공극으로 배수기능을 보완하는 포장이며, 공극이 건조한 상태에서 공기의 투과성도 높고, 그림 1에 나타낸, 패턴 홈 공명음과 공기과열음(Air-pumping)을 억제해서, 타이어로소음을 저감시킨다(이관호, 정태현, 2009).

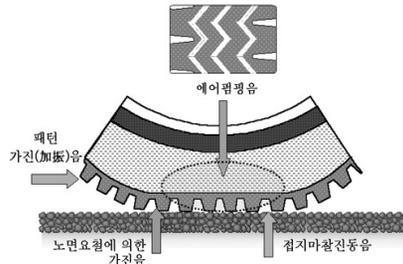


그림 1. 타이어 노면 소음

3. 배합 재료 선정 및 방법

3.1 아스팔트 바인더

저소음 포장체 개발을 위해 중요한 요소 중의 하나가 아스팔트 바인더이다. 사용된 고점도 개질아스팔트는 플라스틱과 고무의 두 가지 성질을 가진 열가소성의 탄성중합체와 접착력이 우수한 공중합수지 및 아스팔트와 반응하는 개질제를 사용하여 물리적, 화학적, 안정성을 갖도록 제조된 고성능 아스팔트 바인더로서 도로 포장용 기본 물성은 표 1에 나타내었다.

표 1. 바인더 물성시험

구분		기준	시험방법	시험결과
시험명	단위			
침입도(25℃)	1/10mm	40 이상	ASTM D 5	55.3
연화점	℃	80 이상	ASTM D 36	99.0
신도(15℃)	cm	50 이상	ASTM D 113	75
박막가열 질량 변화율	%	0.6 이하	JIS K2207(조건변동)	0.13
박막가열 침입도 잔류율	%	65 이상	"	94
터프니스(25℃)	kg · cm	200 이상	일본포장시험법편람	373.6
테너시티(25℃)	kg · cm	150 이상	"	256.9
점도(60℃)	posie	200,000 이상	ASTM D 2170	500,000 이상
밀도(15℃)	g/cm ³	-	ASTM D 70	1.03
인화점(℃)	g/cm ³	-	ASTM D 92	300 이상

3.2 골재의 기본 물성

골재의 품질이나 입도는 아스팔트 콘크리트 혼합물의 역학적 특성, 현장 공용성, 강도 및 소성변형에 중요한 영향을 미치며 생산지 별로 그 조건이 각각 다르므로 사용 전에 지방서 규정에 적합한지 반드시 조사해야한다. 본 연구에서 사용된 골재는 화강암계열로서, 비중, 흡수율, 마모감량에서 기준치에 만족함을 실험을 통해 알 수 있었고, 골재의 실험 결과 값, 품질 기준 및 시험방법을 표 2에 나타내었다.

표 2. 골재의 물리적 특성

항목	시험방법	기준	실험결과
비중(%)	KS F 2503	2.45 이상	2.767
흡수율(%)	KS F 2504	3.0 이하	1.867
마모감량(%)	KS F 2508	30 이하	27.24
편장 및 세장편 함유량(%)	한국도로공사	20 이하	7.60

3.3 배합설계

3.3.1 최적 아스팔트 함량(OAC) 결정

배합설계에 적용된 방법은 일반 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량을 구하는 방법과 다르다. 어느 특정 골재입도를 큰 비율로 사용하는 개립도 혼합물에서는 공극이 많아 혼합물을 제조한 후 포설 현장까지 이동하는 동안 바인더의 유출이 심각하게 나타나기 때문이다(노성렬, 2005). 본 실험에서는 일반 혼합물과 다르게 하부층의 최적 아스팔트 함량을 구하기 위해 바인더의 양을 4%에서 6%까지 0.5%씩 증가 시키가며 배합을 하고 170℃ 정도에서 1시간 방치 후 아스팔트가 용기에 흘러내린 정도를 판정하게 된다. 아스팔트 함량의 변화에 따라 각각의 손실률을 결정하고 아스팔트 함량과 흐름율과의 관계에서 변곡점을 나타내는 아스팔트 함량을 최적 아스팔트 함량으로 결정하게 되는 침강 손실률 시험을 시행하였다. 그림 2와 같이 하부층의 최적 아스팔트 함량은 5.1%의 결과 값이 나왔으며 상부층의 최적 아스팔트 함량은 5%가 나오게 되었다.

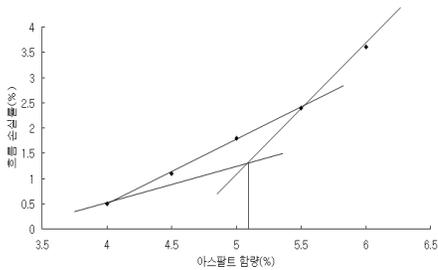


그림 2. 최적 아스팔트 함량 결정

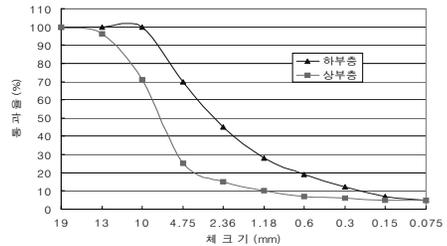


그림 3. 상부층과 하부층의 입도 분포 범위

3.3.2 골재의 입도 및 시험시편 제작

골재의 배합입도 결정은 배수성 아스팔트의 입도기준(노성렬, 2005)에 맞추어 배합을 시행하였으며, 공극률 20%로 만들기 위해 반복적 시편제작을 통해 그림 3과 같이 하부층은 굵은골재 80%, 잔골재 16%, 채움재 4%로 배합을 하였고, 상부층은 굵은골재 30%, 잔골재 65%, 채움재 5%로 배합을 하였다. 그림 4는 상부층의 시편을 50~55 mm로 시편제작을 끝낸 것이며, 그림 5는 하부층과 상부층을 각 25~30 mm로 커팅을 하여 접착 바인더로 접착을 한 그림이다.



그림 4. 상부층 시편



그림 5. 복층(상·하 부층)시편

4. 소음저감형 기층 콘크리트 블록 제작

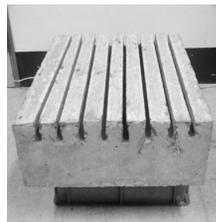
본 연구에서 기층용 특수콘크리트 단면 개발을 위해 도로공사 표준시방서(2008) 린(Lean)콘크리트 기층의 배합설계 기준을 적용하여 건식배합으로 시편을 제작하였고, 특수콘크리트 블록의 최적 단면을 결정하고 설계단면을 이용한 실험 단면 샘플 제작 및 양생을 하였다. 시험시편은 단위면적이 아니므로 이를 고려하여 시험배합을 통해 배합설계 재료량을 결정하였다. 굵은골재는 깨끗하고, 강하며, 내구적이고 적당한 입도를 가지며 얇은 석판, 세장편, 유기불순물, 염분 등의 유해물을 함유하지 않은 골재를 사용하였고, 잔골재 또한 품질 기준을 만족하였다. 소음저감형 홈(hole)을 설치하기 위해 강관파이프와 강관을 연결하여 홈 외경 32mm, 17mm 각각의 철제 모형관을 일정 간격으로 거꾸집에 고정시켰고, 홈 간격, 홈 중심까지의 깊이, 철제 모형관 갯수는 32mm의 경우 각각 70mm, 40mm, 6개를 고정시키고, 17mm의 경우 55mm, 30mm, 8개를 고정시켰다. 혼합형(17mm+32mm)인 경우 간격은 60mm로하고, 철제 모형관의 갯수를 각각 3개, 4개를 고정시켰다. 특수콘크리트 블록 시편 제작 제원은 표 3과 같고 비교시편, 17mm 블록, 32mm 블록, 혼합형 블록의 완성된 시편의 모습은 그림 6에서 보여준다.

표 3. 기층용 콘크리트 블록 시편 제작 제원

구분	간격 (mm)	홈 중심까지의 깊이 (mm)	철제모형관 개수 (개)
17mm	55	30	8
32mm	70	40	6
혼합형 (17mm+32mm)	60	17mm - 30	3
		32mm - 35	4



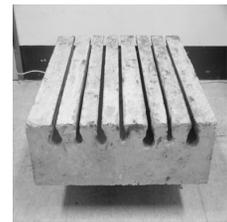
(a) 비교시편



(b) 17mm 블록



(c) 32mm 블록

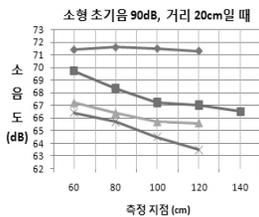


(d) 혼합형 블록

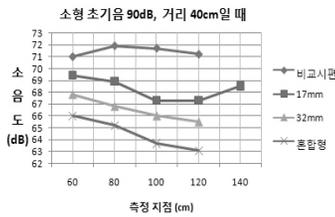
그림 6. 특수콘크리트 블록 완성 시편

5. 소음측정 데이터 및 소음저감 효과 분석

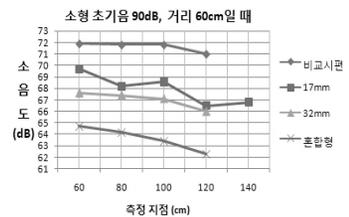
5.1 소음측정 데이터



(a)



(b)



(c)

그림 7. 소형차의 소음저감 데이터

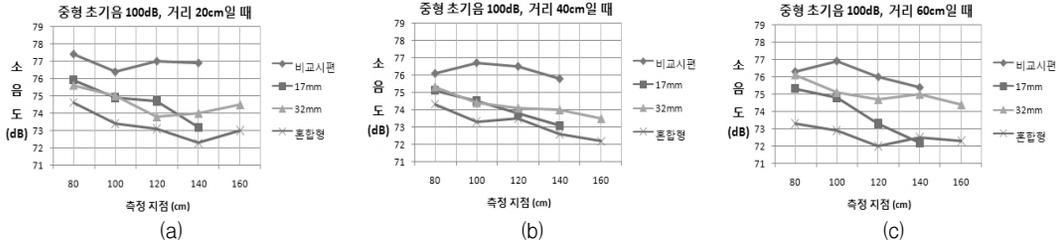


그림 8. 중형차의 소음저감 데이터

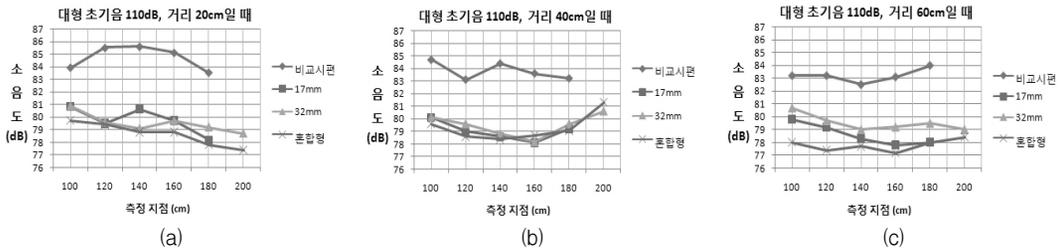


그림 9. 대형차의 소음저감 데이터

5.2 소음저감 효과 분석

5.2.1 차량소음 크기에 따른 소음저감 효과

차량 종류에 따라 소형 90dB, 중형 100dB, 대형 110dB을 초기소음으로 가정하여 차량 주행음을 주었다. 일반 콘크리트 블록과 흙을 설치한 시편을 비교해 보았을 때 소형차에서는 혼합형 시편에서 최대 8.7dB의 효과를 보였고, 중형차의 경우는 시편면적 3배에서 최대 5.5dB의 효과를 보였으며, 대형차의 경우는 혼합형 시편에서 최대 6.8dB의 저감효과를 보였다. 그림 7~9는 비교시편과 흙을 설치한 시편의 소음저감 값을 나타낸 차트이다. 전체적으로 비교시편에 비해 소음도가 낮아지는 것을 볼 수 있고, 평균 4~5dB의 소음저감효과를 보였으며 차량소음 크기에 대한 영향은 소형 90dB에서 저감효과가 높았다.

5.2.2 시편 크기에 따른 소음저감 효과

시편의 크기가 소음저감에 미치는 영향은 실내시험이라는 것을 고려하여 시편면적과 초기소음도에 따른 영향을 받을 것으로 판단하였다. 횡방향으로 시편 면적을 3배로 늘렸을 경우에 대한 시험을 실시 하였다. 시편면적이 커진 만큼 측정지점 거리를 두배로 늘렸으며 17mm, 32mm, 혼합형 세가지 시편과 비교를 하였을 때 ±2dB 범위 안으로 혼합형 시편, 32mm 시편과 비슷한 데이터 값을 얻었다.

5.2.3 측정 거리에 따른 소음저감 효과

본 연구에서는 횡방향 거리 20cm, 40cm, 60cm로 각 측정지점을 정하였으며 시편면적을 3배로 하였을 때는 40cm, 80cm, 120cm로 하였다. 시편과 수직방향의 거리는 초기소음도와 차량 크기별 노면과의 거리를 고려하여 소형차 최소 60cm 대형차 최대 180cm까지 측정지점을 정하였다. 그림 9의 (a), (c)는 정상적인 그래프 양상을 보였으나 (b)를 보면 160cm를 변환점으로 저감효과가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이런 결과를 보았을 때 음원이 반사되는 형태가 거리와 범위별로 일정한 소음도를 나타내지 않고 불규칙한 커브를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

5.2.4 흙의 형상 및 크기에 따른 소음저감 효과

본 연구에서 흙의 형상과 크기에 따라 정량적인 소음저감효과를 분석하기 위해 흙의 형상은 둥근 원형으로 정하였고 흙의 크기는 세가지 종류로 17mm, 32mm, 혼합형 시편을 제작하였다. 그림 7-9를 보면 알 수

있듯이 모든 시편이 일반콘크리트 블록과 비교를 하였을 때 낮은 소음도를 보이며 대형차에서 뚜렷한 결과를 보여준다, 소형차에서 혼합형시편의 흡음도를 보면 5~8.7dB의 높은 저감효과를 보이고 중형차는 시편 3개의 면적에서 0.3~5.5dB의 저감효과를 보였으며 대형차에서는 혼합형 시편에서 4.2~6.8dB의 저감효과를 보였다. 전반적으로 17mm 시편보다 32mm와 혼합형 시편에서 평균 2~4dB정도 높은 흡음효과를 보이는 것으로 보아 흠의 크기가 커질수록 저감효과도 높아진다는 것을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 소음저감형 아스팔트 포장체의 배합설계 및 기층용 콘크리트를 개발하여 소음저감 효과를 평가하였다. 배수성포장기준에 입각하여 골재기준과 바인더 기준, 골재 배합기준 등을 고려한 최대공칭치수 13mm 하부층의 실험값은 배수성 포장 기준을 모두 만족시킴을 알 수 있었다. 침강 손실률 시험을 시행한 결과 하부층의 최적 아스팔트 함량은 5.1%의 결과 값이 나왔으며 상부층의 최적 아스팔트 함량은 5%가 나왔다. 기층용 콘크리트의 소음저감 효과를 분석한 결과 차량소음 크기에 따른 저감효과는 소형차에서는 혼합형 시편에서 최대 8.7dB의 효과를 보였고, 중형차의 경우는 시편면적 3배에서 최대 5.5dB의 효과를 보였으며, 대형차의 경우는 혼합형 시편에서 최대 6.8dB의 저감효과를 보였다. 초기소음의 크기가 저감효과에 미치는 영향은 소형차와 대형차에서 저감효과가 더 큰 수치를 보여주는 것으로 볼 때 그 외 다른 변수에 의해 생긴다고 할 수 있다. 시편의 크기가 소음저감에 미치는 영향은 17mm, 32mm, 혼합형 세가지 시편과 비교를 하였을 때 ± 2 dB 범위 안으로 혼합형 시편, 32mm 시편과 비슷한 데이터 값을 얻었다. 측정거리에 따른 소음저감효과는 거리가 멀어질수록 소음저감은 지속적으로 나타났으며, 음원이 반사되는 형태가 거리와 범위별로 일정한 소음도를 나타내지 않고 불규칙한 커브를 그린다는 것을 알 수 있다. 흠의 형상과 크기에 따라 정량적인 소음저감효과를 분석한 결과 소형차에서 혼합형시편의 흡음도를 보면 5~8.7dB의 높은 저감효과를 보이고 중형차는 시편 3개의 면적에서 0.3~5.5dB의 저감효과를 보였으며 대형차에서는 혼합형 시편에서 4.2~6.8dB의 저감효과를 보였다. 전반적으로 17mm 시편보다 32mm와 혼합형 시편에서 평균 2~4dB정도 높은 흡음효과를 보이는 것으로 보아 흠의 크기가 커질수록 저감효과도 높아진다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시재생 사업단 “도심지 시공을 위한 민원저감형 대체공법 개발” 연구비지원에 의해 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 기술표준원 KS 규격
2. 노성열, “저소음 아스팔트 포장의 설계 및 시공” (2005) 구미서관 p180
3. “아스팔트 저소음 포장의 개발 및 적용성 연구” (2005) 한국도로공사, 도로교통 기술원 연구보고서
4. 한국도로공사(2008), “도로공사표준시방서 제8장 동상방지층, 보조기층 및 기층공사”, 8-4 빈배합 콘크리트 기층.
5. Albert Liu, PS NG, Alvin TSE, “Low Noise Road Surface(LNRS) Technology”, HKIE MMNC Conference, HKPU, 2009.
6. The California Department of Transportation, “Further Development of the Sound Intensity Method of Measuring Tire Noise Performance of In-Situ Pavements”, 2006.