

저소음 포장의 소음예측 및 경제성 분석을 통한 소음 저감방안

조신행* · 장정순** · 김완상*** · 김낙석****

Jo, Shin Haeng*, Jang, Jung Soon**, Kim, Wan Sang***, Kim, Nakseok****

A Study on Noise Reduction of Quiet Pavement through the Noise Level Prediction and the Economic Analysis

ABSTRACT

Reasonable methods are needed to predict the noise level of new/existing roads and to select means of noise reduction. In this study, the noise reduction effects of both soundproof walls and quiet pavements were predicted. The noise reduction effects of quiet pavements were predicted by measurement data obtained using the CPX method in test pavements. The noise reduction effect was predicted by KHTN program when applied to soundproof walls and quiet pavement. As a result, the predicted noise level was similar to the measured one. The design method was suggested by an economic analysis using noise benefit of predicted noise reduction. The research suggests that the optimum alternative has to be determined using noise prediction method and life-cycle cost analysis.

Key words : Noise prediction method, Quiet pavement, Soundproof walls, Life-cycle cost, Noise reduction effect

초록

도로 교통 소음을 저감하기 위해 신설 및 기존 도로의 소음 발생정도와 저감 대책을 결정 할 수 있는 합리적 방법이 필요하다. 본 연구에서는 방음벽뿐만 아니라 저소음·배수성 포장에 의한 소음 감소 효과를 예측하고 이를 이용하여 소음 편익을 고려한 경제성 분석을 통해 대안을 선정하는 방법을 제시하고자 한다. 저소음·배수성 포장의 소음 감소 효과 예측을 위해 시험포장구간에서 차량 이동식 측정방법으로 소음을 측정하고 이를 KHTN 프로그램을 사용하여 저소음·배수성 포장과 방음벽 적용 시 소음 감소 효과를 예측하였으며, 현장 측정 결과 예측소음과 실측소음이 유사한 것으로 나타났다. 이러한 소음 예측 기법을 사용하여 소음 저감 방안을 도출하고 생애주기비용분석을 통해 최적의 대안을 선정할 수 있었다.

검색어 : 소음 예측방법, 저소음 포장, 방음벽, 생애주기비용, 소음저감 효과

1. 서론

도로망의 확충과 자동차의 보급 확대는 이동의 편리성을 높이고 경제 활동의 활성화에 큰 도움이 되었으나 이로 인한 교통소음의 증가는 생활환경을 악화시키고 건강을 해치는 소음 공해의 문제를 발생시켰다. 소음은 불쾌하고 시끄러운 소리로 주관적인 판단에 따라 느껴지는 정도가 다르지만 미국의 Federal Highway Administration(FHWA)에서는 67 dB(A) 이상이면 소음으로 간주하며, 경제협력개발기구(OECD)에서는 55 dB(A) 이상이면 불쾌감을 느끼고 65 dB(A) 이상이면 듣고 있기 힘든 소음의 단계로 판단하고 있다(FHWA, 1995). 국내에서도 환경정책기본법에 의한 소음기준을 도로변 주거지역의 경우 주간 65 dB(A), 야간 55 dB(A) 이하로

* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 (roadcreator@gmail.com)

** 정회원 · (주)한백기술 (savjang@hanmail.net)

*** 경기대학교 토목공학과 (ds2gdz@naver.com)

**** 정회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 (Corresponding Author · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received November 5 2012, Revised November 30 2012, Accepted January 8 2013

하고 있다(Ministry of Environment, 2011).

도로 교통 소음과 관련된 주민의 불편이 커짐에 따라 이를 해결하기 위한 다양한 소음 저감 방안들이 적용되고 있다. 대표적인 소음 저감 방안으로는 방음벽의 설치가 있으며, 방음터널, 환경 시설대 설치, 도로 구조 분할화 등의 방법이 있다. 최근 들어서는 차량 주행 시 발생하는 노면소음을 저감하는 저소음 포장에 대한 관심이 높아지고 있으며 저소음·배수성 포장의 경우 약 3-5 dB(A)의 소음이 감소하는 것으로 알려져 있다(Seoul, 2007; Bendtsen, 2008; NAPA, 2005). 이러한 소음 저감 방안은 소음감소 효과와 설치비용, 유지관리 비용뿐 아니라 환경 및 미관에 미치는 영향 등 복합적인 고려를 통해 적용된다.

소음 저감 방안의 결정을 위해서는 도로의 선형, 교통량, 지형, 방음벽의 성능, 저소음 포장의 성능 등 다양한 조건들을 반영하여 소음 저감 효과를 예측하고 경제성을 바탕으로 최적의 방안을 선택하여야 한다. 그러나 소음의 예측은 상당히 많은 변수로 인해 복잡하고 어려운 작업이며 특히 저소음 포장의 적용을 고려할 경우 얻을 수 있는 소음 저감 효과에 대해서는 아직까지 그 연구가 부족한 실정이다. 또한 저소음 포장의 경우 현장에 적용 전 이루어지는 시험포장에서의 소음감소효과 평가는 한 대의 차량 통과에 따른 소음이거나 실제 예측 교통량과 차이가 있는 경우가 많아 현장 상황에 따른 대안의 검토에 한계가 있을 수밖에 없다. 본 연구에서는 시험포장을 통해 얻은 소음 감소 데이터를 바탕으로 실제 교통 상황에서 발생하는 교통소음을 예측하고, 이를 이용하여 방음벽과 저소음·배수성포장의 복합적 적용을 통한 소음저감효과와 경제성 분석을 수행하여 최적의 소음 저감 방안 선정 방법을 마련하고자 한다.

2. 교통소음 저감 방법

2.1 방음벽의 교통소음 저감 방법

고속도로나 철로 또는 기타 도로변의 소음저감을 목적으로 설치되는 방음시설의 종류로는 방음벽, 방음독, 방음림과 이들을 조합한 형태의 복합시설 등이 있는데, 국내에서 최소의 부지에 설치가 가능하고, 시공이 편리한 방음벽이 주로 적용되고 있다. 방음벽은 방음특성에 따라 흡음형 방음벽, 반사형 방음벽 등으로 구분된다. 방음벽은 소음원인 차량 등으로부터 발생하는 소음을 물리적으로 차단시키는 방법으로 조건에 따라 그 효과는 다르나 약 10 dB(A)의 소음 감소 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Kim, 2006).

방음벽의 내구연한에 대한 법적기준은 없지만, 방음벽의 소음 감소효과를 내는 흡음판의 성능이 상당 기간 유지되기 때문에 내구 수명에 있어 30년 이상 사용이 가능한 것으로 평가 할 수 있으나 외관상 철관, 부속물 등이 광선 및 매연 등에 의하여 탈·변색,

부식 등으로 도시미관을 저해하고 있어, 외관상 미관을 저해하지 않는 범위에서 방음벽의 내구연한은 20년으로 설계하고 있다(Seoul, 2007).

방음벽의 음향성능은 기본적으로 차음성능이 요구되고, 경우에 따라 흡음성능이 부가적으로 요구되기도 한다. 방음벽의 차음성능은 방음벽의 재료에 의한 투과손실, 음원과 수음원의 위치관계에 의한 회절감쇠에 의해 결정된다. 차음성능은 KS F 2808(MPV-1의 공기전달음 차음성능평가)에 의거하여 투과 손실을 측정하며, 그 기준이 500 Hz에서 25 dB(A) 이상, 11 kHz에서 30 dB(A) 이상 요구된다. 방음벽의 흡음성능은 방음벽의 설치에 의한 반사음의 영향으로 맞은편 민가의 소음이 높아질 경우 요구되며, KS F 2805(잔향실 내의 흡음률 측정방법)에 의하여 평가한다. 흡음성능은 시공직전 완제품 상태에서 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz 및 2000 Hz의 음에 대한 흡음율이 평균 70% 이상인 것을 표준으로 하고 있다(Kim, 2012).

2.2 저소음·배수성 포장의 교통소음 저감 방법

저소음·배수성 포장은 자동차의 주행 중 타이어와 노면사이에서 발생하는 소음을 저감하여 교통소음 발생을 줄이는 기능성 포장으로 다공성 아스팔트 포장이 주를 이룬다. Ministry of Environment (2004) “도로교통소음 개선에 관한 연구”에 따르면 공극률 약 20%의 13 mm 저소음·배수성 아스팔트 포장이 일반 아스팔트 포장에 비해 3-6 dB(A)의 교통 소음 감소 효과가 있는 것으로 나타났으며, Figure 1과 같은 복층 저소음·배수성 포장은 상·하부층으로 나누어 하부층은 최대골재크기 8-13 mm로 상부층은 5 mm의 골재를 사용하였을 경우 단층 저소음·배수성 포장에 비해 약 2 dB(A) 더 많은 소음 저감 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

일반적으로 저소음·배수성 포장의 소음 감소 효과는 공극률이 가장 큰 영향을 미치나 골재 최대크기, 입도 분포에 따른 연속

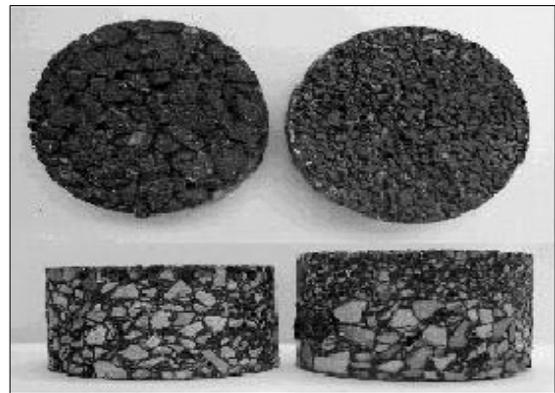


Fig. 1. Quiet Pavement Mixtures (Left: One Layer, Right: Two Layer)

공극, 바인더의 종류, 골재의 입형과 재질 등 다양한 원인의 영향을 받기 때문에 그 효과를 알기 위해서는 시험 포장을 실시 후 차량 통과시의 소음을 측정하여 성능을 평가한다.

3. 소음 예측

도시와 도로의 계획단계에서부터 교통 소음의 효과적 관리는 중요한 문제가 되었으며 교통소음에 대한 예측은 교통소음을 관리하고 제어하기 위해 반드시 필요한 필수요소가 되었다. 교통 소음을 저감하기 위해 실시하는 방안 중 방음벽과 저소음·배수성 포장의 적용에 있어 두 가지 공법의 소음 감소 효과를 예측하여 최적의 방안을 찾는 알고리즘을 개발하고자 하였다.

3.1 방음벽의 소음예측

3.1.1 방음벽의 소음예측 방법

방음벽은 소음의 전달경로를 차단하거나 변경함으로써 소음을 저감하는 방법으로 현재 소음저감 대책으로 많이 사용되고 있다. 소음원과 수음원 사이를 차단하더라도 방음벽 자체를 투과하여 진행되는 소리에너지와 방음벽 상단을 타고 넘어오는 회절로 인하여 소음을 완전히 차단할 수는 없기 때문에 일반적으로 방음벽을 통한 소음 감소 효과는 최대 20 dB(A) 정도인 것으로 알려져 있다(Lee, 2010).

방음벽의 소음감소효과에 가장 큰 영향을 미치는 것은 소음경로 차로 Figure 2와 같이 음원에서 방음벽 상단을 거쳐 수음원까지 도달하는 최단길이와 방음벽이 없을 때의 음원과 수음원 사이의 직선거리의 차이이다. 방음벽의 소음감소효과 예측에 사용되는 Fresnel 수(N)는 소음경로차를 이용해 산출되며, 식(1) - 식(4)를 통해 소음저감 효과를 산정할 수 있다(Choi, 1990).

$$D_B = 0dB \quad (N \leq -0.2) \quad (1)$$

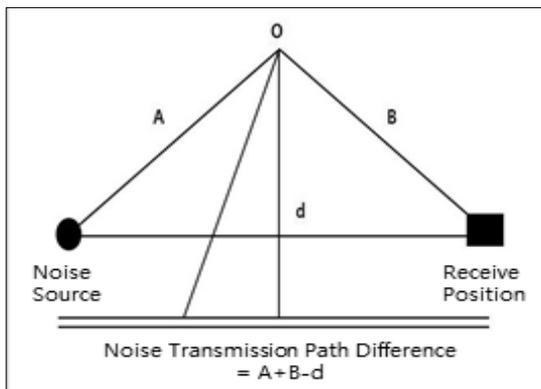


Fig. 2. Noise Transmission Path of Soundproof Walls

$$D_B = 20\log\left(\frac{\sqrt{2^\pi|N|}}{\tan \sqrt{2^\pi|N|}}\right) + 5dB \quad (-0.2 < N \leq 0) \quad (2)$$

$$D_B = 20\log\left(\frac{\sqrt{2^\pi|N|}}{\tanh \sqrt{2^\pi|N|}}\right) + 5dB \quad (-0 < N \leq 5.03) \quad (3)$$

$$D_B = 20dB \quad (N > 5.03) \quad (4)$$

여기서,

D_B : 방음벽의 소음저감효과(dB)

N : Fresnel 수

방음벽 설치 시 소음감소효과의 예측은 이론적 확립과 많은 적용을 통한 검증이 이루어졌으며 이를 바탕으로 SoundPLAN, Noisemap 2000 등과 같은 다수의 소음 예측 프로그램이 개발되어 사용되고 있다. 이러한 프로그램들은 일반적으로 EU Directive에서 권고한 XPS31-133을 비롯하여, 영국의 교통국에서 제안한 CRTN과 독일의 연방교통부의 도로건설부에서 발표한 RLS-90 등의 예측모델을 통해 소음영향정도를 예측하고 있다(Jung, 2007). 한국도로공사는 고속도로로 인한 소음 피해를 줄이기 위해 시험도로에서 측정한 데이터를 바탕으로 추정된 음원모델을 사용하고, ISO-9613의 소음전파모델을 사용하여 도로교통소음 예측에 적합한 KHTN2007(Korea Highway Traffic Noise Prediction Program) 프로그램을 개발하였으며, 고속도로의 교통소음과 방음벽 설치 시 소음감소 효과 예측에 활용하고 있다(Choung, 2007).

3.1.2 방음벽 높이에 따른 소음예측

본 연구에서는 도로교통소음의 효과적 제어를 위해 방음벽과 저소음·배수성포장의 복합적 적용을 검토하고자 하였으며, 도로교통소음의 예측을 위해 KHTN 프로그램을 이용하였다. KHTN은 도로교통소음의 예측을 위한 프로그램으로 사용이 간편하며, 사용에 제약이 없기 때문에 누구나 이용할 수 있는 장점이 있다. KHTN은 항공기, 철도, 공사장 및 공장 등 다양한 소음원을 복합적으로 반영하고 실제 지형 모델을 사용하는 소음지도 프로그램에 비해 단순하지만 Kim(2010)의 연구에 의하면 다른 소음예측프로그램에 사용된 RLS-90 예측 모델과의 비교 결과 두 예측값의 차이는 1.5 dB(A) 이하였으며, 예측값과 실측값의 차이는 3 dB(A) 이하로 나타나 비교적 정확한 예측결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

방음벽 설치에 따른 소음감소 효과를 예측하기 위해 방음벽의 종류와 높이, 이격거리, 수음원의 높이, 중앙분리대, 차로수 등 현장조건을 Figure 3과 같이 KHTN 프로그램에 반영하면 수음원의 위치에 따른 소음 수준을 예측할 수 있다.

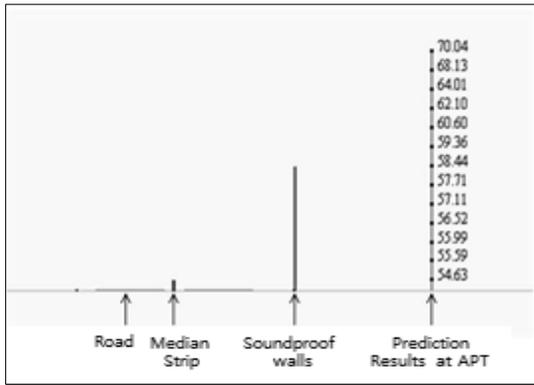


Fig. 3. Prediction of Traffic Noise Using KHTN 2007

3.2 저소음·배수성 포장의 소음예측

3.2.1 저소음·배수성 포장의 소음저감 특성

저소음·배수성 포장의 소음저감 효과는 다양한 종류의 저소음·배수성 포장에 소음감소효과를 반영하기 어렵기 때문에 SoundPLAN 과 같은 소음예측프로그램에서는 저소음·배수성 포장의 종류를 다공성 포장 1가지만을 사용하며, 저소음·배수성 포장 적용 시 속도범위를 설정하여 소음저감 효과를 적용하는 방식(0-60 km/h: -1 dB(A), 61-80 km/h: -2 dB(A), 81-130 km/h: -3 dB(A))으로 저소음·배수성 포장 종류에 따른 소음저감 효과를 예측하기 어려운 실정이다(Kim, 2008). 본 연구에서는 현재 개발되어 적용되는 다양한 저소음포장의 소음감소효과를 예측하기 위해 시험포장을 통한 각각의 저소음·배수성 포장의 소음감소효과를 측정하고 이 결과를 바탕으로 현장에 저소음·배수성 포장을 적용할 시 예상되는 소음감소효과를 예측하여 공법 선정의 판단 근거로 사용하고자 한다.

본 연구에 적용된 저소음·배수성 포장의 골재 혼합입도 기준은 Table 1과 같다. 단층 저소음·배수성 포장의 경우 최대 골재 크기 13 mm로 적용하였고, 복층 저소음·배수성 포장은 최대 골재 크기를 상부 10 mm, 하부 13 mm로 하였다. 공극률은 내구성의 확보를 감안하여 17%로 배합설계를 실시하였으며, 현장 생산 시료로 제작된 공시체의 공극률 측정결과 Table 2와 같다.

저소음·배수성 포장의 소음감소효과를 측정하기 위해 밀입도 아스팔트 포장, 단층 저소음·배수성 포장, 복층 저소음·배수성 포장의 차량 주행에 따른 소음을 ISO 11819-2에 따라 차량의 타이어 부근에 마이크로폰을 설치하여 측정하는 이동식 측정방법(CPX: Close Proximity method)으로 측정하였다. 소음 측정 시 차량속도의 변화에 따른 소음의 특성을 분석하기 위하여 30 km/h, 50 km/h, 70 km/h의 속도에서 측정하였으며 측정결과의 편차를 줄이기 위해 차량의 통행을 차단한 상태에서 측정하였다. 측정결과는 Table 3과 같다. 측정값은 차량속도에 따라 3회씩 실시된 값의 평균으로 일반 밀입도 포장과 비교하였을 때 단층 저소음·배수성

Table 1. Aggregate Gradations of Quiet Pavements

Sieve Size (mm)	Percent Passing(%)			
	13mm		10mm	
	Specs	Result	Specs	Result
20	100	100	-	-
13	92-100	100	100	100
10	62-81	80.7	85-100	97
5	10-31	26.2	20-40	35.9
2.5	10-21	15.2	5-20	19.8
0.6	4-17	10.5	4-13	12.0
0.3	3-12	9.3	3-10	8.8
0.15	3-8	7.3	3-8	6.7
0.08	2-7	3.8	2-7	2.6

Table 2. Air Voids of Quiet Pavement

Type	AP Content (%)	Air Voids (%)	Average (%)
10mm	5.20	16.60	16.26
		15.65	
		16.52	
13mm	5.06	17.91	17.42
		18.40	
		15.95	

Table 3. Measured Noise by CPX Method

Speed (km/h)	Noise	Types of Pavement		
		Dense Grade Pave.	One Layer Quiet Pave.	Two Layer Quiet Pave.
30	Result (dB(A))	82.92	80.71	77.16
	Effect (dB(A))	-	2.21	5.76
50	Result (dB(A))	89.92	85.70	82.69
	Effect (dB(A))	-	4.22	7.23
70	Result (dB(A))	94.04	90.77	88.77
	Effect (dB(A))	-	3.27	5.27

포장의 경우 3.23 dB(A), 복층저소음·배수성포장은 6.09 dB(A)의 소음저감 효과가 있었으며, 차량속도가 증가할수록 발생하는 소음이 증가하는 경향이 나타났다. 저소음·배수성 포장도 포장 종류에 따라 소음감소효과에 차이가 있으며 차량 주행속도도 소음에 큰

영향을 미치는 것으로 나타나 소음예측을 위해서는 포장 종류와 차량의 주행 속도가 반드시 반영되어야 함을 알 수 있다.

3.2.2 속도에 따른 저소음·배수성 포장의 소음예측

포장종류와 주행속도에 따른 발생 소음과의 관계를 표현하기 위해 Tachibana(2004)의 차량종류-속도와의 음향출력레벨식을 이용하여 식(5)와 같이 가정하였으며, Figure 4에 나타난 포장종류-속도별 측정 소음에 대해 회귀분석을 통해 각 포장종류에 따른 식 (5)의 A, B 상수값을 결정하였으며 식 (6), 식 (7), 식 (8)과 같이 포장종류에 따른 소음출력식을 구하였다.

$$L_{WA} = A + B \log_{10}(V) \quad (5)$$

L_{WA} : 음향출력레벨
 A, B : 포장종류에 따른 계수
 V : 차량평균속도(km/h)

$$L_H = 38.75 + 30 \log_{10}(V) \quad (6)$$

$$L_{SQ} = 35.50 + 30 \log_{10}(V) \quad (7)$$

$$L_{DQ} = 32.66 + 30 \log_{10}(V) \quad (8)$$

여기서,

L_H : 일반 밀입도 포장 소음출력식(dB(A))
 L_{SQ} : 단층 저소음·배수성 포장 소음출력식(dB(A))
 L_{DQ} : 복층 저소음·배수성 포장 소음출력식(dB(A))
 V : 차량평균속도(km/h)

식 (6), (7), (8)의 소음출력식은 한 대의 차량이 주행할 때 발생하는 소음을 예측하는 식으로 실제 도로에서 많은 차량이

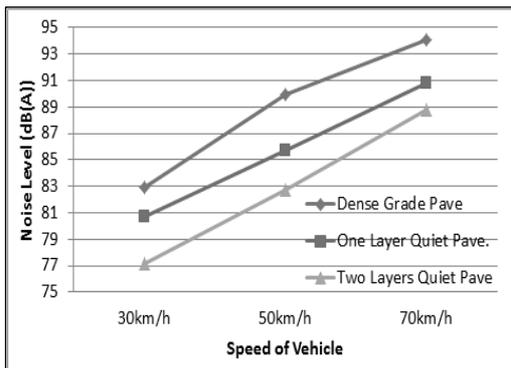


Fig. 4. Noise due to Vehicle Speeds

주행할 때 발생하는 소음과는 차이가 있으며, 실제 도로에서 발생할 소음을 예측하기 위해서는 시간당 통과 차량수, 대형차 혼입률, 평균 통행속도, 대상구간의 길이, 수음원과의 이격거리 등이 고려되어야 한다. 이러한 조건을 반영하기 위해 일본음향학회의 ASJ RTN Model-2003에서 제시한 식 (9)를 이용하여 현장조건에 따른 보정 소음출력을 계산하고자 하였다.

$$C = 10 \log_{10} \left(\frac{3.6}{l/V} * \frac{N}{l} \right) - 8 - 20 \log_{10}(L) + 10 \log_{10}(a + 4.4b) \quad (9)$$

여기서,

C : 현장조건에 따른 보정량(dB(A))
 V : 차량평균속도(km/h)
 N : 시간당 차량 통행대수(대/h)
 L : 수음점과의 이격거리(m)
 l : 대상구간거리(m)
 a : 소형차 혼입율
 b : 대형차 혼입율

4. 소음감소를 위한 설계방안 검토

교통소음으로 인한 문제를 해결하기 위해 소음저감 대책의 고려 시 소음예측을 통한 효과 검토와 경제성 분석을 통한 대안의 선정으로 합리적인 대책을 마련할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 가양대교 남단의 올림픽대로 구간에 대해 소음저감 대책을 검토하여 방음벽과 저소음·배수성 포장을 이용한 소음감소 대책을 선정하고자 하였다.

4.1 현장조건

본 연구에서 검토한 가양대교 남단의 올림픽대로는 밀입도 아스팔트 포장으로 대형차를 포함한 통행량이 많으며, 최고속도 80 km/h의 고속화 도로로 교통소음에 대한 민원이 빈번히 발생하는 지역이다. 또한 15층의 아파트가 도로변에 위치하고 있어 현재 설치되어 있는 7 m 높이의 방음벽만으로는 고층 주민들이 느끼는 소음을 줄이기 어려운 실정이다. 민원 대상 아파트와 도로와의 이격거리, 시간당 차량 통행대수, 대상구간의 길이, 평균 통행속도, 차량 혼입율 등을 조사하였으며 그 결과인 Table 4를 소음예측을 위한 조건으로 사용하였다.

4.2 현장소음 예측결과

시험포장에서 얻어진 소음 측정값과 식(9)의 소음출력식에 Table 4의 현장 조건을 반영하였을 경우 아파트 1층에서 나타나는

예측소음값은 Table 5와 같다. 소음출력식에는 방음벽을 반영할 수 없기 때문에 Table 5의 예측소음값은 방음벽이 설치되지 않았을 경우의 소음이다.

KHTN 프로그램은 포장의 상태가 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장으로 두 종류밖에 선택할 수 없기 때문에 다양한 저소음 포장을 반영하기에는 어려움이 따른다. 따라서 KHTN 프로그램에 포장 종류에 따른 소음 발생량을 나타내기 위해 교통량을 조정하는 방법을 사용하였다. 즉 현장조건이 반영된 Table 5의 예측소음값을 얻을 수 있는 교통량을 입력함으로써 저소음 포장일 경우 발생하는 소음을 예측하였다. 검토지역에 이미 설치되어 있는 7 m 높이의 방음벽을 모사하고, 조정된 교통량으로 포장 종류에 따른 소음발생을 반영하여 예측을 수행하였다.

예측된 소음과의 비교를 위해 Ministry of Environment(2010)에서 제시한 “소음·진동 공정시험기준”의 시험기준에 따라 고정식 방식으로 Figure 5와 같이 검토지역의 소음을 측정하였다. 기준에 따르면 측정점은 소음 피해가 예상되는 부지경계선 지점의 지면

위 1.2 m 높이 또는 2층 이상의 건물인 경우 부지 경계선 보다 소음도가 높은 곳에서 소음원의 방향으로 측정하도록 되어있다. 소음은 6회에 걸쳐 5분 동안 아파트 옥상에서 측정하여 등가소음레벨을 계산하였다.

아파트 옥상에서의 실측 소음값과 예측소음값을 Table 6에 나타내었다. KHTN 프로그램상의 아스팔트 콘크리트 포장의 일반 설정값으로 선택하고 예측한 결과는 72.81 dB(A)로 실측 소음 71.30 dB(A)와 1.51 dB(A)의 차이가 나타났다. 현장과 동일한 조건인 13 mm 밀입도 아스팔트로 포장한 시험포장구간에서 측정 한 소음 측정값을 바탕으로 소음 출력식을 통해 예측하였을 경우 72.15 dB(A)로 나타나 실측 소음과 0.85 dB(A)의 차이를 나타냈다. 이는 KHTN의 기본설정 값이 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 평균적인 수치를 사용하였기 때문에 포장 종류에 따른 차이를 반영하는데 한계가 있음을 알 수 있으며, 시험 포장 구간에서 얻을 수 있는 소음 출력식을 사용한 소음의 예측이 보다 정확한 것으로 나타났다. 따라서 저소음 포장의 검토에 있어 시험 포장 구간에서 얻어진 소음 측정값을 바탕으로 소음 출력식을 산정하고 이를 활용한 소음 예측이 충분한 신뢰성을 가질 수 있음을 확인 할 수 있었다.

시험포장에서 측정된 CPX 방식의 소음측정결과를 바탕으로 소음 출력식을 사용한 예측이 상당히 합리적인 것으로 나타남에 따라 단층 저소음·배수성포장, 복층 저소음·배수성 포장도 동일한 방법을 적용하여 소음을 예측하였다. 대상 지역의 합리적인 소음저감방안 선정을 위해 저소음 포장과 방음벽의 복합사용을 검토하였다. Table 7의 A조건은 검토 지역의 상태로 일반 밀입도 포장에 7 m의 방음벽이 설치되어 있으나 Ministry of Environment(2011)에서 제시한 소음진동관리법의 주간 도로변지역 기준 68 dB(A)이 9층 이상에선 상회하는 것으로 나타나 추가적인 소음저감 방안이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 방음벽의 높이를 13 m로 높인 경우(B), 기존 7 m 높이의 방음벽에 포장을 단층 저소음·배수성 포장으로 적용한 경우(C), 단층 저소음·배수성 포장에 방음벽 높이를 12 m로 높인 경우(D) 그리고 기존 방음벽 7 m에 복층 저소음·배수성 포장을 적용한 경우(E)에 대해 소음을 예측하였으며 그 결과는 Table 7과 같다.

소음 예측 결과 아파트 고층으로 갈수록 소음이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 7 m의 방음벽이 설치되어있어 저층에서는 소음

Table 4. Field Conditions

Items	Value	Items	Value
Average Vehicle Speeds (km/h)	70	Number of Vehicles (Per hour)	8,000
Section Length (m)	500	Ratio of Small Vehicle	0.92
Seperated Distance (m)	70	Ratio of Haevy Vehicle	0.08

Table 5. Predicted Noise at the 1st Floor

Type of Pave	Predicted Noise (dB(A))
Dense Grade Pave	67.82
One Layer Quiet Pave	64.57
Two Layer Quiet Pave	61.73



Fig. 5. Noise Measurement

Table 6. Measured and Predicted Noise of Dense Grade Pave

Item	Noise (dB(A))
Predicted Noise by KHTN	72.81
Predicted Noise by Developed Model	72.15
Measured Noise	71.30

Table 7. Prediction Noise results due to Types of Pave & Soundproof Walls

Floor	A	B	C	D	E
Roof	72.15	65.47	70.04	66.37	67.19
15	72.12	65.25	70.02	66.33	67.18
14	72.09	64.58	70.00	63.37	67.16
13	70.91	63.82	68.82	62.70	65.98
12	70.81	63.09	68.71	61.91	65.87
11	70.67	62.43	68.57	61.15	65.72
10	70.52	61.84	68.42	60.45	65.58
9	68.69	61.31	66.58	59.84	63.73
8	65.88	60.84	63.75	59.29	60.90
7	65.04	60.26	62.91	58.66	60.05
6	64.15	59.87	62.00	58.21	59.14
5	63.24	59.36	61.08	57.66	58.23
4	62.47	59.03	60.31	57.29	57.46
3	61.78	58.72	59.62	56.94	56.77
2	61.12	58.38	58.97	56.57	56.12
1	60.07	57.27	57.93	55.50	55.10

A: Dense Grade Pave+Soundproof Walls 7m
 B: Dense Grade Pave+Soundproof Walls 13m
 C: One Layer Quiet Pave+Soundproof Walls 7m
 D: One Layer Quiet Pave+Soundproof Walls 12m
 E: Two Layer Quiet Pave+Soundproof Walls 7m

감소효과를 얻을 수 있으나 고층에서는 방음벽의 효과가 현저히 감소함을 알 수 있었다. 고층에서의 소음을 저감하기 위해 방음벽의 높이를 증가시킬 경우 방음벽의 높이가 13 m가 되어야 15층에서도 환경 기준을 만족할 수 있었으며, 도로 포장을 단층 저소음·배수성 포장으로 바꿀 경우 기존 7 m 방음벽이 12 m로 높아져야 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 소음저감 효과가 큰 복층 저소음·배수성 포장의 경우 현재 설치되어 있는 7 m 방음벽만으로도 모든 층에서 기준을 만족하는 소음감소 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

5. 경제성 분석

앞서 소음저감 방안에 대해 분석한 결과 B, D, E의 조건이 소음 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이 세 가지 방안 중 최적 대안의 선정을 위해 경제성 분석을 수행하였다.

5.1 소음 비용 편익

소음저감 대책에 대한 경제성 분석을 위해서는 대책 적용 시 얻을 수 있는 소음 감소 효과의 경제적 이익을 산정하는 것이

Table 8. Average Per-Unit of Noise Value

(2011, Won/dB-year-m)

Area	Urban	Rural	AVE.
Noise Value	4,402	1,900	2,240

Table 9. Cost Benefit of Noise Reduction

Plan	Cost Benefit (₩/year)
B	25,993,000
D	31,585,000
E	27,314,000

중요하다. 그러나 소음의 경제적 비용으로의 환산은 정량화하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 MLTM (Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, 2011)에서 제시한 소음가치의 평균원단위를 적용하였다. 소음가치의 평균 원단위는 1999년을 기준으로 도시부 3,026원, 지방부 1,306원, 평균 1,540원으로 산정되었으며, 이를 다시 2011년도 기준단가로 환산하기 위해 소비자물가지수를 이용한 편익보정지수를 곱하여 Table 8과 같은 소음가치의 평균원단위를 산정하였다.

소음 저감 효과의 비용 편익 계산을 위해 MLTM의 “교통시설 투자평가지침”에 제시된 식 (10)을 사용하였으며, 이를 통해 각각의 소음저감 대책의 소음 저감 편익 비용은 Table 9와 같이 계산되었다. 이는 감소되는 소음량에 따른 대상 구간의 1년간의 편익 비용이다.

$$EVNS = P \times l \times \Delta L \quad (10)$$

EVNS : 소음비용편익(원)

P : 소음가치의 원단위(원/dB·년·m)

l : 대상노선연장길이(m)

ΔL : 소음저감효과(dB(A))

5.2 경제성 분석

국내외에서 사회기반시설의 계획 시 경제성 분석을 위해 사용되는 생애주기비용(life cycle cost)은 사회기반시설의 전 생애에 걸쳐 소요되는 모든 비용으로 가장 경제적인 방안을 선택하는 기준으로 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서도 소음저감 대책으로 제시된 3가지 대안을 비용/편익 면에서 최적의 대안을 찾기 위해 경제성 분석을 실시하였다.

생애주기비용의 계산은 20년 주기로 가정하였으며, 포장의 보수 방안으로 재포장을 선택하였다. 또한, 각각의 소음저감 대책 방안에 따른 소음편익비용을 생애주기비용에서 빼서 경제성을 검토하였다. 방음벽 및 저소음·배수성 포장의 설치비용은 2012년도 상반기

Table 10. Economic Analysis Results

(Per 500m, Unit:1,000Won)

Item	B	D	E
LCC	2,203,506	2,220,173	1,776,957
Benefit	519,436	631,687	546,288
Cost-Benefit	1,664,070	1,588,486	1,230,669
Ratio for B	-	98%	75%

한국물가정보(www.kpi.or.kr)를 기준으로 산출하였으며, 방음벽 철거비용과 저소음·배수성 포장 파쇄비용의 경우 MLTM(2012)에서 발간한 “Applied to historical cost data in the first half of construction projects, Process and Price”를 바탕으로 산출하였다. Ock(2010)의 연구를 참고하여 저소음·배수성 포장의 수명은 재포장 주기를 5년으로 결정하였으며, 방음벽의 경우 20년 이상의 수명이 기대되어 재설치는 고려하지 않았다. 다만 검토대상 지역의 경우 이미 7 m의 방음벽이 설치되어 있어 방안 E의 경우 방음벽 설치비용이 제외되었다. 분석 결과 Table 10과 같은 경제성 분석을 얻을 수 있었다.

경제성 분석결과 방음벽을 높여 소음저감 효과를 얻는 B안에 비해 기존에 설치되어 있는 방음벽을 사용하면서 소음 감소효과가 뛰어난 복층 저소음·배수성 포장을 적용하는 E안의 경우가 약 25%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 반면 단층 저소음·배수성 포장을 적용할 경우 소음 감소효과가 작고 방음벽을 제거 후 재설치하여야 하기 때문에 비용면에서 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구는 도로교통소음을 저감하기 위해 저소음·배수성 포장을 적용함에 있어 소음예측모델을 이용하여 효과를 예측하고 경제성 분석을 통해 최적의 소음저감 대책을 선정할 수 있는 방안에 대해 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 도로 포장의 소음 발생 특성을 반영하여 도로교통 소음을 예측하기 위해 CPX 방법으로 측정된 포장의 소음 값으로 포장에 따른 소음출력레벨을 산정하였으며, 이를 통한 소음 예측 결과가 실측 소음 값과 매우 유사한 것으로 나타나 향후 저소음·배수성 포장의 현장 적용에 있어 시험포장구간의 소음 측정 데이터를 통해 저소음·배수성 포장의 소음 감소 효과를 예측 할 수 있는 것으로 나타났다.
- (2) 소음예측프로그램을 사용하여 실제 교통소음민원 지역에 대해 방음벽과 저소음·배수성 포장을 통한 소음저감 대책 방안을

검토한 결과 고층 건물의 경우 방음벽만으로 충분한 소음 감소 효과를 얻기 어려우며 방음벽과 저소음·배수성 포장을 함께 적용하는 것이 효과적인 것으로 나타났으며, 특히 저소음·배수성 포장의 소음 감소 정도의 차이가 수음원의 소음 감소 효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

- (3) 경제성 분석을 통한 소음저감 방안의 검토 결과, 소음 감소에 의한 사회적 편익 비용의 고려와 저소음·배수성 포장의 주기적 유지·보수비용을 감안하였을 때, 소음 감소 효과가 우수한 복층 저소음·배수성 포장과 기존의 방음벽을 함께 적용하는 것이 방음벽의 높이를 높여 재설치하는 방안에 비해 25%의 경제적 비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.
- (4) 소음저감 대책을 선정하는데 있어 방음벽과 저소음·배수성 포장을 함께 고려하는 것이 합리적 대안의 도출을 가능케 하며, 저소음·배수성 포장의 경우 종류에 따라 소음 감소 효과의 차이가 큰 만큼 시험 포장을 통한 소음 감소효과를 측정하여 예측 모델에 반영하여야 신뢰성 있는 예측 결과를 얻을 수 있다.

검사의글

본 연구는 2012년 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- Ock, C. K., Kim, J. H., Lee, J. S. (2010). “Noise reduction of asphalt concrete pavement : Techniques and their performance evaluation.” *Journal of the Korean Society of Road Engineers, Korean Society of Road Engineers*, Vol. 12. No. 1, pp. 29-37 (in Korean).
- Kim, D. S., Kim, C. W., Chang, T. S. (2010). “On the comparison of KHTN and noise prediction model at the roadside.” *Academic conference, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 140-141 (in Korean).
- Kim, C. W. (2012). “Technology trends of highway noise barriers.” *Journal of Facilities, The Society Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 41 (in Korean).
- Choung, T. R., Chang, S. I., Lee, K. J., Kim, C. W. (2007). “Comparison of predicted and measurement value using improved KHTN.” *Conference memoirs, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea* (in Korean).
- Jung, W. H., Park, I. S., Kim, J. Y., Park, S. K., Kang, D. J. (2007). “A comparative study of noise prediction method of road traffic noise map.” *Conference memoirs, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Korea* (in Korean).
- Bendtsen, H., Kragh, G., Nielsen, E. (2008). *Use of noise reducing pavements - European experience*, Technical Note 69, Danish Road Institute.
- Tachibana, H. (2004). *Road traffic noise prediction model ASJ RTN-*

- Model 2003*, Acoustical Science and Technology, Vol. 6, No. 4.
- Choi, B. J. (1990). *Research and compare the characteristics of the traffic noise for soundproofing walls installation*, Master's Thesis, Yonsei University (in Korean).
- Kim, T. H. (2006). *A study on noise reduction effect of soundproofing walls and traffic sound characteristic of city apartment house*, Master's Thesis, Pukyong National University (in Korean).
- Kim, J. Y. (2008). *A Study on the optimization of noise control facilities for city planning using the toad traffic noise map*, Master's Thesis, Yonsei University (in Korean).
- Lee, G. H. (2010). *Research on the sound proof capacity of the sound barrier*, Master's Thesis, Chonnam National University (in Korean).
- Ministry of Environment (2004). *A study on the improvement of road traffic noise*, Research Report, Koera National University of Transportation (in Korean).
- Ministry of Environment (2010). *Standards of noise and vibration control test*.
- Ministry of Environment (2011). *Noise and vibration control act*.
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (2012). *Applied to historical cost data in the first half of construction projects, Process and Price* (in Korean).
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (2011). *A guide on appraisal of invesment for transportation facilities, Amendment No. 4* (in Korean).
- Seoul Metropolitan Government (2007). *Effective management measures for roadside noise barriers*, Mayor instructions, No. 76 (in Korean).
- FHWA (1995). *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*, U.S. Department of Transportation.
- NAPA (2005). *European Scan Tour on Quiet pavements, Symposium Presentation*, Purdue University, Indiana, USA.
- ISO 9613-2, *Attenuation of sound during propagation outdoors-Part 2: General method of calculation*.
- ISO 111819-2, *Acoustics-Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise-Part 2: The close-proximity method*.