

콘크리트 포장도로의 소음 예측기법과 노면 개량화 방안

허 광·권 혁
(한국종합기술개발공사) (한국도로공사)

1. 머리말

1968년 경인고속도로를 시작으로 국내 도로환경이 변화하면서 교통소음이 주거환경에 문제로 제기되었으며, 80년대부터 시작된 포장재질의 콘크리트화 추세는 교통소음의 증가요인이 되었고, 신도시 고속도로 및 도시외곽 순환도로 등의 확충사업은 주거환경 내에서도 교통소음을 발생시키고 있다.

이와 같은 도로교통소음은 주거환경의 쾌적성을 침해하는 가장 큰 요인으로 1993년 국내 환경오염 피해진정건수중 소음·진동의 민원이 약 44%로 가장 높게 나타나고 있는 실정이며, 문제가 되고 있는 도로 교통소음의 발생원을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

즉 자동차 발생소음(power

level)은 각 음원별 소음특성을 검토하는 것이 중요하나 소음의 평가 방법에 대한 연구는 국내·외에서 각 음원별 특성을 포함한 연구로 1970년대 이후 급속히 전개되어 왔으나, 최근 도로변 건물의 고층화 현상은 방음(전파경로)대책 수립에 한계를 나타내고 있는 실정이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 그동안 체계적인 연구가 이루어지지 않은 노면(포장)형태에 따른 자동차 주행소음의 특성에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 콘크리트 포장 도로에서의 교통소음도(PWL, power level)

2.1 터널 잔향음장을 이용한 자동차 정상주행음의 발생소음도 조사결과⁽¹⁾
최근 일본에서는 터널의 잔향음

장을 이용한 자동차의 정상주행음에 대한 발생소음도(PWL)를 조사하여 발표하였다.

(1) 승용차의 주행속도와 발생소음도의 관계

$$\begin{aligned} \text{PWL} &= 85.8 + 0.18 V \\ &= 96.6 + 0.18 (V - 60) \\ &\quad (\text{dB(A)}) \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} R=0.94 \\ n=133 \\ \sigma=1.63 \text{ dB} \end{cases}$$

(2) 대형차의 주행속도와 발생소음도의 관계

$$\begin{aligned} \text{PWL} &= 100.0 + 0.14 V \\ &= 108.4 + 0.14 (V - 60) \\ &\quad (\text{dB(A)}) \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} R=0.42 \\ n=141 \\ \sigma=3.5 \text{ dB} \end{cases}$$

2.2 콘크리트 포장 자동차 전용 도로의 교통소음 예측식^(2,3)

(1) 교통소음 예측식중 발생소음도(power level) 산정

2.1절에서 제시된 터널 잔향음장을 이용한 발생소음도 관계식에서 속도항을 중·고속에서 합리적인 $20\log V$ 항으로 할 때 발생소음도 예측식은 $\text{PWL} = A + 20\log V + 10\log(a_1 + Ba_2)$ 가 된다.

상기식에서 A, B를 결정하기

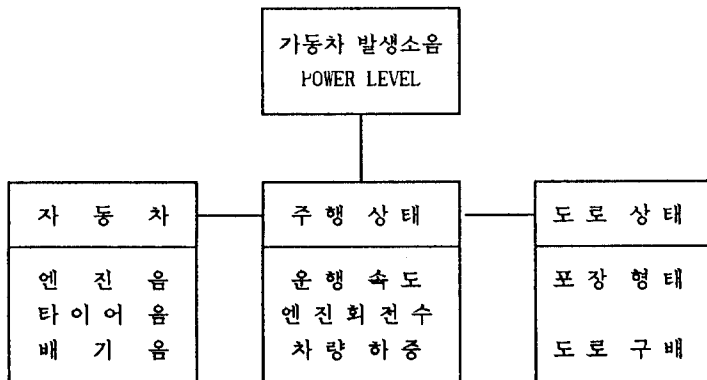


그림 1 도로교통소음의 발생 모식도

위하여 콘크리트 포장 도로의 도로 단 9개 지점에서 조사된 64회의 자료를 이용 실측치와 예측치의 상관 계수를 시행오차법으로 시행한 결과 식 (3)을 결정하게 되었다.

$$PWL = 72.4 + 20 \log V + 10 \log (a_1 + 3.8a_2) \quad (3)$$

PWL : Leq값 (dB(A))

V : 평균 주행속도 (km/hr)

a₁ : 소형차 혼입율

a₂ : 대형차 혼입율 (a₁ + a₂ = 1)
 (2) 도로 교통소음의 예측식
 · 전파식
 도로교통소음의 전파식은 등간격 모델을 사용하였다. (그림 2)

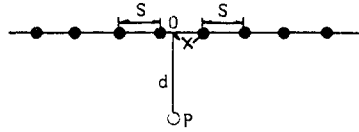


그림 2 1차선 등간격 모델의 모식도

상기 일차선 등간격 모델에서 발생소음도(PWL)의 A특성에 의한 등가소음도(Leq)는 식 (4)와 같다.

$$Leq = PWL + 10 \log \frac{1}{4ds} + \Delta Li + ad + ai \quad (4)$$

d : 음원에서 수음점까지의 거리 (m)

s : 평균 차두간격 (m)

$$(S = 1000 \times V/N)$$

표 1 중부고속도로 교통 소음도 조사결과

도로구조 (기점거리, km)	구 분	거 리(m)						
		도로단	10 m	20 m	40 m	60 m	80 m	
평 탄 (하 41.8)	소음도 (dB(A))	L ₅₀	83~84	73~75	70~73	62.1~67.1	59.7~61.4	57.4~58.6
		Leq	85.5~86.7	74.3~75.9	71.2~74	64.1~68.1	60.8~63.1	58.3~61.1
	높 이	도로단	1.2 m	3.5 m	7 m			
		소음도 (dB(A))	L ₅₀	80~82	70~73.8	78~79	80~81	
성 토 (하 39.5)	소음도 (dB(A))	L ₅₀	84~87	66~69	65~68	63.3~69.4	63.2~64.6	61.4~63.0
		Leq	87.1~88.6	67.8~70.3	66.1~69.1	63.5~69.5	63.1~65.4	62.2~63.7
	높 이	도로단	1.2 m	3.5 m	7 m			
		소음도 (dB(A))	L ₅₀	82~86	66~69	69~71	73~74	
절 토 (하 75.5)	소음도 (dB(A))	L ₅₀	83~85	66~70	61~65	53.1~59.8	51.6~56.2	49.9~56.0
		Leq	85.1~87.6	68.2~71.4	62~67	53.7~60.1	52.2~56.8	50.5~56.5
	높 이	도로단	1.2 m	3.5 m	7 m			
		소음도 (dB(A))	L ₅₀	78~81	65.2~68.6	72~74	76~77	
교 량 (하 42.5)	소음도 (dB(A))	L ₅₀	84~88	71~73	70~72	69.3~71.7	68.1~70.8	66.2~69.2
		Leq	88.2~89.9	72 ~74.1	71 ~72.9	69.5~72.0	69.4~71.1	66.6~69.4
	높 이	도로단	1.2 m	3.5 m	7 m			
		소음도 (dB(A))	L ₅₀	83 ~86	68 ~70.6	73 ~75	79 ~81	
Leq	86.9~89	69.5~71.7	73.9~75.8	80.4~82.2				

* 높이 : 도로단에서 이격거리 10 m 지점에서의 높이

N : 평균 교통량(대/hr)

ΔLi : 횡단구배의 보정

ad : 회절감쇠치

ai : 기타 원인에 의한 보정치

(3) 예측식의 검증

가. 도로교통소음도 조사결과
중부고속도로 구조별 소음도 조사결과를 표 1과 같다.

나. 등가소음도와 중앙치 소음도의 관계

직선 회귀모형의 최소 제곱법에 의한 현장조사 결과의 적합된 회귀 직선식은 다음과 같다.

○ 도로단 소음도

$$Leq = 30.76 + 0.67L_{50}$$

$$(r^2 = 0.99, n = 56) \quad (5)$$

○ 전파경로 소음도

$$Leq = 0.43 + 1.00L_{50}$$

$$(r^2 = 0.99, n = 292) \quad (6)$$

다. 도로 교통소음의 실측치와 예측치의 상관관계

상기 식 (4)를 이용한 예측소음도와 표 1의 실측소음도의 상관관계는 그림 4와 같다.

위의 상관관계도에서 결정계수 r^2 이 0.984로 높게 나타나고 있으며 회귀직선의 기울기가 1.014로 본 예측식의 정밀도는 상당히 높은 것을 알 수 있다.

라. 도로구조별 소음도의 실측치와 예측치의 표준편차

소음도의 산포범위를 알아 보기 위해 다음과 같이 도로구조별 표준편차를 알아 보았다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

σ : 표준편차

\bar{x} : 실측치와 계산치 차의 평균

x_i : 실측치와 계산치의 차

표 2에서 성토, 평탄 및 교량구조에서의 편차는 ± 1.0 dB(A) 이하로 나타나고 있으며 절토구조에서의 편차는 ± 1.4 dB(A)로 나타

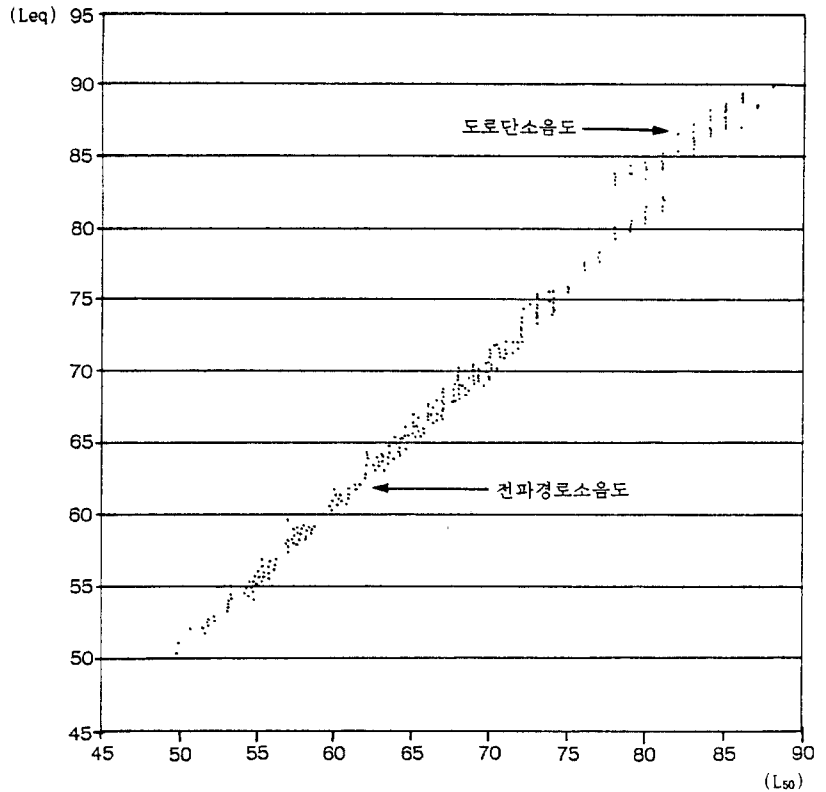


그림 3 중부 고속도로 교통소음 조사결과

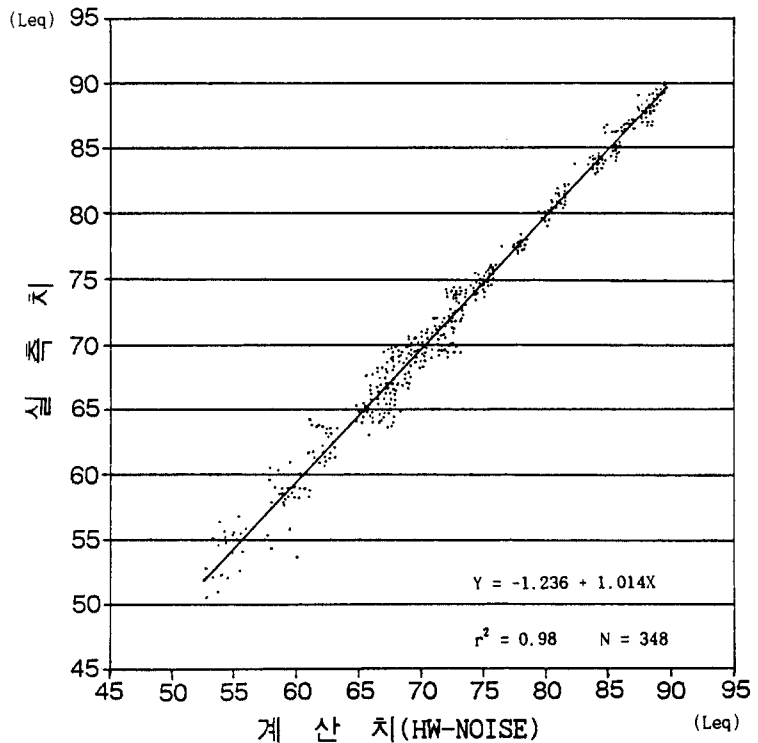


그림 4 실측소음도와 예측소음도의 상관 관계도

표 2 도로구조별 소음도차의 표준편차

구 분 \ 도로구조	성토	평탄	교량	절토	전체
자료수(개)	86	86	86	90	348
표준편차(dB(A))	1.0	0.9	1.0	1.4	1.2

나고 있으나, 절토구조는 현장 조사지점의 지형이 경사면에凹凸인 점을 감안할 때 정밀도에서 극상임을 알 수 있다.

3. 콘크리트 노면에서 반사음의 영향

3.1 콘크리트 노면의 반사음이 중앙치소음도와 등가소음도에 미치는 영향^(2,3)

콘크리트 포장면을 반사면이라 하고, 평탄 및 고가구조 도로의 도로단에서 10 m 떨어진 지점, 높이

3.5 m 및 7 m 지점을 자유음장이라고 할 때 중부고속도로 소음도 측정자료중 중앙치 소음도가 같은 자료를 비교하면 표 3과 같다.

상기 표에서 반사음의 영향을 받는 도로단 소음의 에너지 평균치가 전과경로 소음의 에너지 평균치보다 3~4 dB(A) 에너지 밀도가 높은 것을 알 수가 있다.

3.2 자동차 타이어음⁽²⁾

자동차 주행시 노면과 타이어 사이에서 공기가 방출될 때 발생하는 음과 접촉할 때 생기는 진동음 및

표 3 동일 중앙치소음도와 등가소음도의 비교

L ₅₀ (dB(A))	Leq(dB(A))		비 고
	도로단 (n=20)	높이별 (n=21)	
78	83.2~83.9	79.3~80.1	등가소음도에서 도로단 소음도가 높이별 소음도보다 3~4 dB(A) 높게 나타나고 있다.
79	83.8~84.4	79.8~80.4	
80	83.5~84.6	80.5~81.5	
81	84.1~85.2	81.3~82.2	

표 4 타이어 음의 PWL을 추정하기 위한 정수 T, C의 값

	각 주파수에 대한 T의 값(dB)								각 조건에 대한 C의 값(dB)	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000 Hz		
자동차 (automobile)	84	86	83	82	84	80	77	-	아스팔트	도로가 건조 : 0 젖어있다 : 13
									콘크리트	도로가 건조 : 5 젖어있다 : 13
트럭 (리브타이어)	98	97	91	88	87	86	78	71	새타이어 : 0	현타이어 : 6
트럭 (러그타이어)	102	103	98	98	98	92	83	74	새타이어 : 0	현타이어 : 4

접지면에서 부분적으로 미끄러질때 발생하는 음 등이 주요음원이 되고 있으며 타이어 음의 산출은 식 (7)로 계산될 수 있다.

$$PWL = T + 40 \log (V/30) + C \quad (7)$$

PWL : 타이어 음의 발생소음도

V : 운행속도 (mile/hr)

T, C : 정수 (표 2)

표 4의 노면재질에서 아스팔트가 콘크리트보다 주행차량 발생소음도가 약 5 dB 낮게 발생하고 있으며 동일 재질에서는 우천시가 건조시보다 13 dB 높게 나타나는 것으로 되어 있어 노면상태별 발생소음도의 차이를 판단할 수 있다.

4. 노면포장의 개량화 방안^(3,4)

도로 노면시공 방법의 개량목적은 노면우수가 추월차량에 의하여 또는 고속주행차량에 의하여 비산되는 현상을 방지하기 위하여 배수포장을 개발하여 시공한 결과 주행차량의 발생소음도가 감소된다고 보고하고 있다.

4.1 Porous Asphalt의 구조

Porous asphalt 노면의 단면구조 및 효과는 그림 5와 같다.

4.2 노면포장 형태별 소음도

도로포장 재질별, 포장형태별 주행차량(80 km/hr)의 소음도 조사 결과는 표 6과 같다.

표 6에서 시멘트 포장도로의 소음도가 아스팔트 포장도로의 소음도보다 약 4 dB(A) 정도 높게 나타나고 있으며, 아스팔트 포장도로보다 porous asphalt 포장도로는 약 3 dB(A) 정도 낮게 나타나고 있어 우리나라의 경우 노면 포장형태를 개량할 경우 약 3~7 dB(A)의 소음도 감소효과가 기대된다.

표 5 Pores의 분류 및 효과

Description of voids		Type	Effectiveness with regard to		
			Water permeability	Noise absorption	
"Open" (accessible)	Continuously connected	a	+	+	
	Not continuous	Accessible from the surface	b1	-	+
		Entering the section	b2	-	?
		"Blind canal"	b3	-	?
"Closed"	Not accessible to water under atmospheric pressure	c	-	-	
	Fully closed	d	-	-	

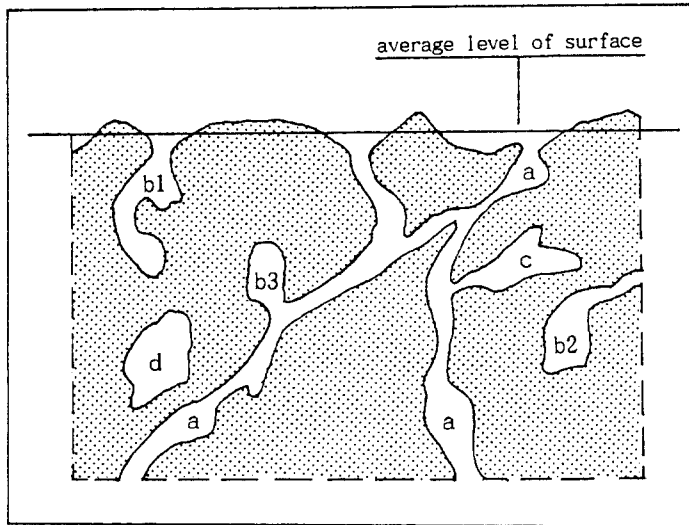


그림 5 Porous asphalt의 단면도

표 6 포장형태에 따른 차량내부 및 외부(7.5 m 이격)소음도(80 Km/hr 주행시)

포장형식	차내·외부	소음도(dB(A))
시멘트 콘크리트	내부	71~79
	외부	76~85
표면처리한 시멘트 콘크리트	내부	67~77
	외부	72~81
아스팔트	내부	67~77
	외부	72~79
저소음 아스팔트 포장 (Porous Asphalt)	내부	67~73
	외부	69~76

4.3 향후의 과제

4.1절의 porous asphalt의 단면에서 노면의 공극은 대형차의 주행에 의한 하중 및 모래 등 입자에 의한 막힘 등의 현상으로 감음효과가 감소되는 유지관리상의 문제점이 예상되므로 국내의 경우 동절기 모래를 사용하지 않는 지역에서 경차량이 주로 이용하는 도로를 선정하여 저소음 포장개발을 위한 연구가 적극적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 朝倉邦造, 道路交通騒音, 衛生工學ハンドブック 騒音・振動編, pp. 233~259.
- (2) 曾根敏夫, 1994, "自動車走行騒音のパワ-レベルとスペクトル," 日本音響學會誌, 第50卷, 第3號, pp. 233~239.
- (3) 한국도로공사, 한국종합기술개발공사, 1994, "고속도로 교통소음 예측프로그램 개발," 고속도로 소음대책에 관한 연구 보고서, pp. 133~170, pp. 309.
- (4) Lefebvre, G., 1993, "Porous Asphalt," Piarc Technical Committee on Surface Characteristics.