

고속도로 교통소음 예측 - 자동차 주행소음의 음향파워레벨 평가 Prediction of Highway Traffic Noise - Estimation of Sound Power Level Emitted by Vehicles

조대승[†] · 오정한* · 김진형* · 김성훈* · 최태묵*
장태순** · 강희만** · 이성환***

Dae-Seung Cho, Jung-Han Oh, Jin-Hyeong Kim, Seung-Hoon Kim,
Tae-Muk Choi, Tae-Soon Jang, Hee-Man Kang and Sung-Hwan Lee

(2001년 11월 28일 접수 ; 2002년 7월 4일 심사완료)

Key Words : Korea Highway(한국 고속도로), Traffic Noise(교통소음), Sound Power(음향파워), Spectrum(스펙트럼), Vehicle Type(차종), Road Surface(노면)

ABSTRACT

Precise highway traffic noise simulation and reduction require the accurate data for sound power levels emitted by vehicles, varied to road surface, traffic speed, vehicle types and makers, different from countries to countries. In this study, we have elaboratively measured Korea highway traffic noise and parameters affecting noise levels at the nearside carriageway edge. From numerical simulation using the measured results for highway traffic noise, we propose not only two correction factors to enhance the accuracy of Korea highway traffic sound power estimation using ASJ Model-1998 but also its typical power spectrum according to road surface type. The measured and predicted highway traffic noise levels using the proposed sound power show little difference within 1 dB.

1. 서 론

국내 경제의 지속적인 성장과 더불어 이를 뒷받침하기 위한 사회간접자본시설 확충의 일환으로 고속도로가 확장되면서 고속도로 이용차량의 증가⁽¹⁾와 함께 차량의 대형화와 고속화로 인해 고속도로 교통 소음 레벨이 높아지고 있다. 또한, 소득증진과 생활수준 향상에 따른 정온한 생활 환경에 대한 국민의 요구가 날로 증대하고 있는 상황에서 수도권을 중심으로 고

속도로 인근에 대규모 공동주택 단지가 건설되고 있어 고속도로 소음의 효율적 저감대책 수립에 활용할 수 있는 소음예측 방법의 정립이 필요하다.

일반적으로 교통 소음예측은 도로를 주행하는 차량으로부터 발생하는 음향파워를 평가하고 수음영역까지 전파되는 동안의 전달감쇠를 계산하여 수행한다. 이와 같은 소음예측에 활용할 수 있는 기존 연구로서는 국내의 경우 국립환경연구원⁽²⁾과 한국도로공사⁽³⁾의 소음예측모델 등이 있으며, 외국의 경우 미국 연방고속도로국의 FHWA 방법⁽⁴⁾, 영국 수송국의 CRTN 방법⁽⁵⁾, 프랑스 도로국과 육상수송국 등이 공동으로 만든 NMPB 방법⁽⁶⁾, 일본음향학회의 ASJ 방법⁽⁷⁾ 등이 있다. 그러나, NMPB 방법과 ASJ 방법을 제외한 모델들은 교통소음의 발생 및 전달감쇠 평가에 주파수 특성을 반영할 수 없다. 또한, 외국에서 제시된 모델의 경우 우리나라의 도로 구조, 차량 및 교통 여건

[†] 책임저자, 정회원, 부산대학교 조선해양공학과
E-mail : daecho@pusan.ac.kr

Tel : (051) 510-2482, Fax : (051) 512-8836

* 부산대학교 대학원 조선해양공학과

** 한국도로연구소 재료환경연구그룹

*** 한양대학교 기계공학과

등이 음향파워 평가에 반영되지 않아 국내 고속도로 교통 소음의 정밀한 소음예측 및 저감대책 수립에 적용하기 곤란한 실정이다.

한편, 노면 종류와 주행속도에 따라 달라지는 개별 차량의 음향파워레벨을 0.5 dB 오차 범위내에서 계측하기 위해서는 반사음의 영향을 무시할 수 있는 도로에서 최소 120 m 이내에 다른 차량이 주행하지 않는 조건이 요구된다.⁽⁸⁾ 그러나, 국내 고속도로의 경우 주간 교통량이 많아 이와 같은 계측 조건을 확보하기가 여의치 않다.

이에 이 연구에서는 교통 흐름이 원활한 상황에서의 등가소음도 계측결과를 이용해서 국내 고속도로 교통소음 예측에 적합한 음향파워 산정식을 마련하고자 반사물이 없는 평탄, 성토 및 중단구배 구조를 갖는 고속도로 노면에서의 소음도를 계측하였다. 아울러, 가장 최신의 공신력 있는 교통소음예측 모델에 해당하는 일본음향학회의 1998년도 모델(ASJ Model-1998)에서 제시된 방법으로 소음계측 당시의 고속도로 등가음향파워레벨을 평가하고, 계측지점에서의 소음도를 ISO 9613 방법^(9, 10)으로 계산한 결과와 계측결과와의 비교·검토를 통해 아스팔트 및 콘크리트 포장된 국내 고속도로를 차량이 정상 주행할 경우의 교통소음에 대한 음향파워레벨 산정식을 제시하였다. 아울러, 계측 결과를 토대로 포장 유형별 고속도로 교통소음의 대표 음향파워스펙트럼을 제시하였다.

2. ASJ Model-1998의 도로 교통소음 음향파워레벨 산정 방법

2.1 차종별 기본 음향파워레벨

국내외에서 발표된 도로교통소음 예측 모델중 가장 최신의 공신력 있는 모델중의 하나로 평가되고 있는 ASJ Model-1998은 차량을 Table 1에 나타난 바와 같이 4 차종으로 구분하는 것을 기본으로 하되 대형차와 중형차를 대형차류, 소형화물차와 승용차를 소형차류로 구분하는 2차종 분류방법도 병용하고 있다.

ASJ Model-1998은 9,443대의 차량에 대한 음향파워레벨을 실측한 결과를 토대로 차종, 도로 종류 및 차량 주행 상태에 따라 서로 다른 음향파워레벨 산정식을 제시하고 있다. 제시된 산정식들 중 1대의 차량이 고속도로와 같은 자동차 전용도로를 정상 주행할 경우의 4차종 및 2차종 분류에 의한 차종별 음향파워

Table 1 Classification of vehicle types in ASJ Model-1998

Type	Specification
Large vehicle	<ul style="list-style-type: none"> Heavy trucks having three or more axles and designed for the transportation of cargo. The gross vehicle weight is greater than 8 ton or the cargo capacity is greater than 5 ton. Large buses designed for transportation of 30 or more passengers Large special purpose vehicles
Medium vehicle	<ul style="list-style-type: none"> Medium trucks having two axles and 2000 cc or more displacement Medium buses designed for transportation from 11 to 29 passengers
Light truck	<ul style="list-style-type: none"> Light trucks having engine displacement from 50 cc to 2000 cc
Automobile	<ul style="list-style-type: none"> Vehicles designed for the transportation of 10 or less passengers including van

Table 2 A-weighted sound power level L_{WA} emitted by a vehicle at the steady-state speed condition: ASJ Model-1998

Classification	4 Vehicle types	2 Vehicle types
Large vehicle	$54.4 + 30 \log_{10} V^*$	$53.2 + 30 \log_{10} V$
Medium vehicle	$51.5 + 30 \log_{10} V$	
Light truck	$47.6 + 30 \log_{10} V$	$46.7 + 30 \log_{10} V$
Automobile	$46.4 + 30 \log_{10} V$	

* V: traffic speed (km/h)

레벨 산정식은 Table 2에 나타내었다. 이때, 2차종 분류에 따른 음향파워 산정식은 대형차와 중형차의 혼입비율은 같고, 승용차에 대한 소형트럭의 혼입비율은 0.25로 설정되어 유도된 식이다. 제시된 산정식은 차량속도 V 가 40~140 km/h이고 교통흐름이 일정한 경우에 대한 것이다.

2.2 파워 스펙트럼

ASJ Model-1998에서는 차량소음 발생 특성 및 전달감쇠를 주파수 대역별로 계산하기 위해 차량 음향파워레벨에 대한 상대파워스펙트럼을 차량속도에 따라 달리 제시하고 있다. 중심주파수 f_i 에서의 A-가중치 옥타브 밴드 음향파워레벨 $L_{WA,i}$ (dB ref. 10-12

W)는 다음과 같이 산정한다.

$$L_{WA,i} = L_{WA} + \Delta L(f_i) + \Delta L_{A-weight,i} + \Delta L_{adj} \quad (2.1)$$

여기서, L_{WA} 는 차량 1대당 A-가중치 음향파위레벨 (dB), $\Delta L(f_i)$ 와 $\Delta L_{A-weight,i}$ 는 각각 옥타브 밴드별 보정치(dB)와 표준 A-가중치 보정계수(dB)를 나타내며, ΔL_{adj} 는

$$\Delta L_{adj} = -10 \log_{10} \sum 10^{(\Delta L(f_i) + \Delta L_{A-weight,i})/10} \quad (2.2)$$

로서 스펙트럼별 음향파위 합성치를 0 dB로 하기 위한 보정 값에 해당한다.

식 (2.1)에 포함된 옥타브 밴드별 보정치 $\Delta L(f_i)$ 은 차량 주행속도에 따라 다음과 같이 산정한다.

속도구분을 하지 않는 경우

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

80 km/h 이하

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] - 2.5 \log_{10} \left[\frac{f_i}{1000} \right] \quad (2.4)$$

80 km/h 이상

$$\Delta L(f_i) = -10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_i}{2000} \right)^2 \right] + 2.5 \log_{10} \left[\frac{f_i}{1000} \right] \quad (2.5)$$

2.3 도로의 등가음향파위레벨

길이 Δl (m)인 도로에서 발생하는 차선·차종별 A-가중치 시간 적분 음향파위레벨 L_{WAT} 은

$$L_{WAT} = L_{WA} + 10 \log_{10} \left(\frac{3.6 \Delta l}{V} \cdot \frac{N}{3600} \right) \quad (2.6)$$

와 같이 산정한다. 여기서, L_{WA} 의 정의는 식 (2.1)에 서와 같고, V 는 차선별 해당 차종의 평균 주행속도 (km/h)이며, N 은 차선별 해당 차종의 시간당 통과 대수이다. 따라서, 식 (2.6)을 이용하여 차선별·차종별 음향파위레벨을 산정한 후 이들을 대수 합하면 길이 Δl 인 도로의 등가 음향파위레벨 L_{WAEq} 을 산정할 수 있다.

3. 고속도로 교통소음 계측

3.1 계측 지점

ASJ Model-1998에서 제시된 방법을 보정하여 국내 고속도로 여건에 맞는 교통소음 음향파위 산정식을 도출하고자 경부 및 호남고속도로에서 소음계측을 수행하였다. 계측지점은 Fig. 1에 보인 바와 같이 지형 지물 등에 의한 반사효과가 없는 평탄부, 성토부 및 종단구배부를 대상으로 콘크리트 포장부 4곳, 아스팔트 포장부 3곳의 도로에서 실시하였다. 계측지점별 도로 형태는 Table 3에 나타내었다.

3.2 계측 및 분석 방법

고속도로 교통소음의 음향파위 평가를 위한 계측 위치는 노선에 인접한 주행차선의 중심 위치로부터

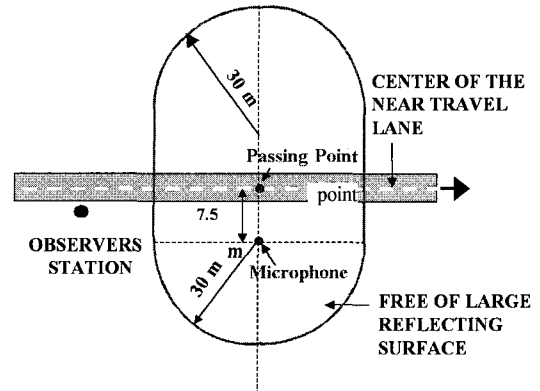


Fig. 1 Site geometry to measure highway traffic noise

Table 3 Locations for highway traffic noise measurement

No.	Location (km)	Surface type	Lanes	Gradient (%)
1	Kyungbu 221.5	Concrete	4	1.08
2	Kyungbu 334.0	Concrete	4	0.28
3	Kyungbu 233.5	Concrete	4	0.28
4	Kyungbu 78.5	Asphalt	8	0.70
5	Kyungbu 340.5	Concrete	4	4.64
6	Honam 14.5	Asphalt	4	0.28
7	Honam 13.1	Asphalt	4	4.28

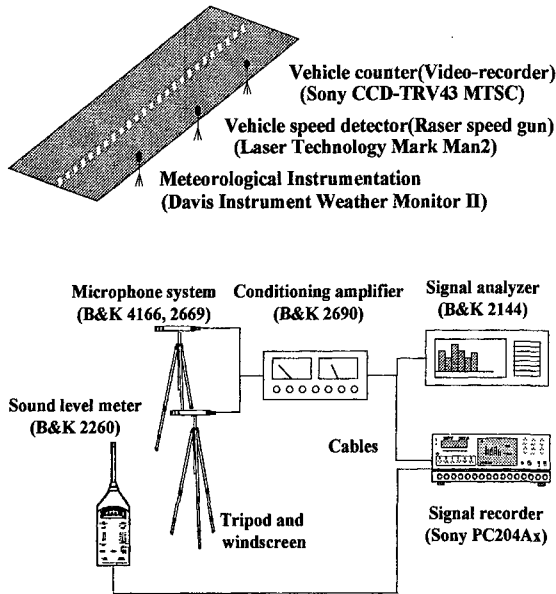


Fig. 2 Experimental setup to measure highway traffic noise, flow, and meteorological condition

7.5 m 이격된 지점을 기준으로 하되 지형지물로 인해 마이크론 설치가 곤란한 경우 노면으로부터 최대한 이격된 지점으로 하였으며, 마이크론의 설치 높이는 도로면으로부터 1.5 m로 하였다.

고속도로 교통 소음 및 차종·차선별 교통량과 기상조건의 계측시스템 구성은 Fig. 2에 나타내었다. 이때, 계측시스템은 고속도로 노면에 설치하되 계측 장비 탑재 차량으로 인한 반사 효과 배제와 차량 속도 계측으로 인한 운전자의 차량 감속을 방지하기 위하여 마이크론 설치 지점으로부터 후방 40~50 m 지점에 설치하였다. 또한, 모든 계측은 노면이 건조한 상태에서 풍속이 5 m/s를 초과하지 않는 경우에 수행하였다.

고속도로 교통 소음은 실시간 계측 신호를 디지털 테이프 레코드에 저장한 후 10분 동안의 A-가중치 에너지 등가소음도를 중심주파수 63 Hz부터 8 kHz까지의 1-옥타브 밴드별로 분석하였다. 또한, 소음 계측 당시의 차선·차종별 교통량은 비디오 카메라로 녹화하여 분석하였으며, 이들의 주행속도는 2대의 레이저 속도측정기를 이용해서 차량 주행 방향 별로 차량 후방에서 계측하여 차선·차종별 평균 주행 속도를 산정하였다. 한편, 교통량 차이로 인한 소음 발생

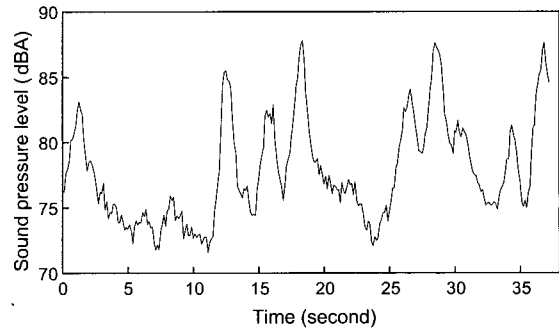


Fig. 3 Typical time signal of highway traffic noise

량과 기상 차이로 인한 전달감쇠량의 변동을 고려하기 위해서 모든 지점에 대해 시간대 또는 일자를 달리 하면서 최소 4회 이상 소음계측을 실시하였다.

3.3 계측 결과

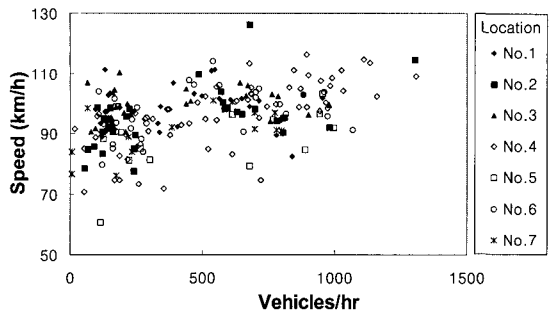
고속도로에서 통상적인 차량 주행상태에서 계측한 대표적 시간영역 음압 신호를 Fig. 3에 예시하였으며, 차선당 차종별 평균 주행속도와 차량 통과대수에 대한 계측 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 각 지점에서의 계측차수별 시간 평균 등가소음도 측정결과는 계측 당시의 기상조건과 함께 Table 4에 나타내었다.

4. 국내 고속도로 교통소음의 음향발생특성 평가

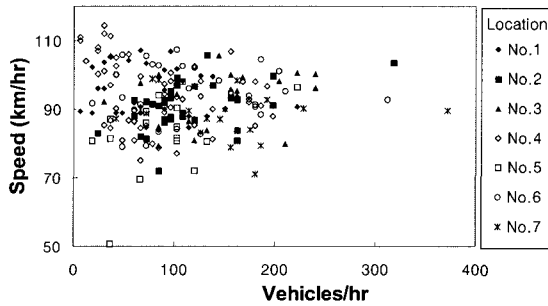
4.1 평가 방법

노면 종류와 주행속도별로 달라지는 개별 차량의 음향파워레벨을 0.5 dB 오차 범위내에서 계측하기 위해서는 반사음의 영향을 무시할 수 있는 도로에서 최소 120 m 이내에 다른 차량이 주행하지 않는 조건이 요구된다.⁽⁸⁾ 그러나, 국내 고속도로의 경우 주간 교통량이 많아 이와 같은 계측조건을 확보하기가 여의치 않았다.

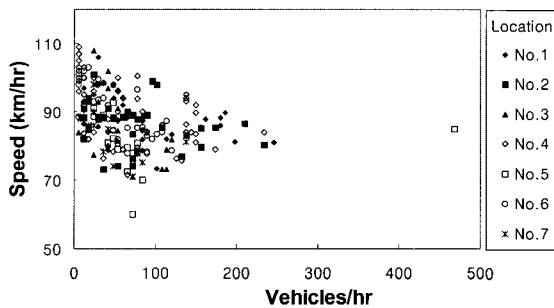
이에 본 연구에서는 Table 4에 나타낸 총 45회의 등가소음도 계측결과와 소음예측 결과의 비교·평가를 통해 국내 고속도로 교통소음의 음향파워레벨 산정식을 마련하고자 하였다. 즉, Fig. 4에 나타낸 차선·차종별 주행 대수와 평균속도를 이용해서 ASJ Model-1998의 4 차종 분류방법으로 차선별 음향파워레벨을 계측 차수별로 산정하고, 계측 당시의 기상조건을 이용해서 ASJ Model-1998에 제시된 바람 효과



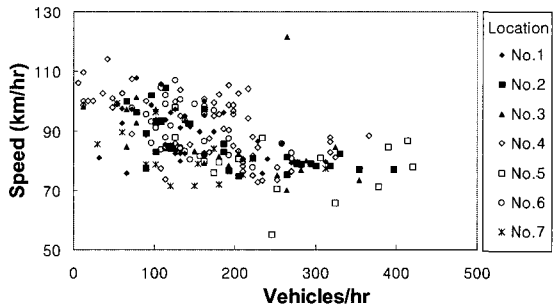
(a) Automobile



(b) Light truck



(c) Medium vehicle



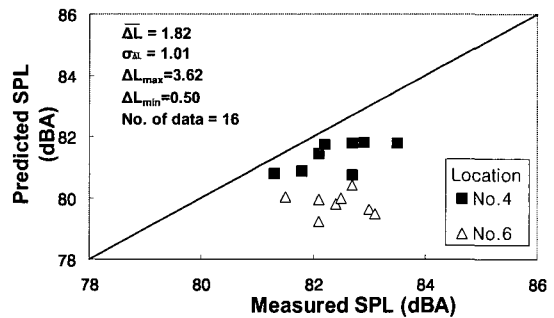
(d) Large vehicle

Fig 4. Measured highway traffic flow and mean speed per lane and vehicle type

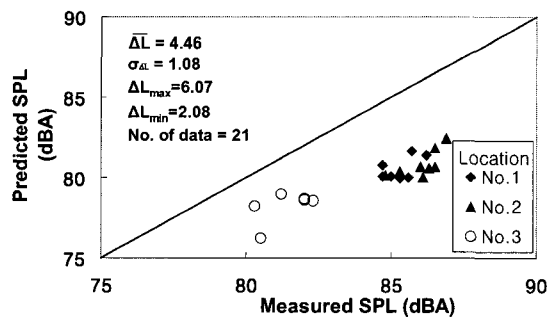
산정식과 ISO 9613 방법^(9, 10)으로 전달감쇠를 산정하는 환경소음예측프로그램 ENPro⁽¹¹⁾를 이용한 등가소음도 계산 결과와 Table 4에 나타난 계측 결과를 계측 지점 및 차수별로 비교하여 국내 고속도로 교통소음 예측에 적합한 음향파워레벨 보정치를 도출하였다. 이때, 교통소음의 유효 발생위치는 ASJ Model-1998과 동일하게 각 차선의 중앙부 지면으로 간주하였으며, 도로 노면으로부터 5.7 m이내의 근거리 수음점에 대한 전달감쇠 산정 결과에 포함되는 오차는 무시하였다.

4.2 포장 종류별 음향파워레벨

Fig. 5에는 경사도가 1.1 % 미만인 평탄한 지점에서의 포장유형별 등가소음도 계측 결과를 ASJ Model-1998의 음향파워레벨 산정식을 적용하여 예측한 결과와 함께 나타내었다. 이에는 계측치로부터 예측치를 뺀 값의 평균치 $\overline{\Delta L}$ 와 이의 표준편차 $\sigma_{\Delta L}$ 및 최대치 ΔL_{max} 와 최소치 ΔL_{min} 도 함께 나타내었



(a) Asphalt pavement



(b) Concrete pavement

Fig. 5 Measured and predicted total sound pressure levels at non-sloped highways: Prediction using the traffic sound power level suggested by ASJ Model-1998

Table 4 Measured sound pressure levels and meteorological conditions

Location	Measurement	Temp. (°C)	Humidity (%)	Wind		Measured sound pressure level (dBA)								Total
				Velocity (m/s)	Direction	Nominal midband frequency (Hz)								
						63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	1	34.0	39	3	NNW	53.8	62.6	70.9	76.1	81.8	78.7	70.6	62.6	84.7
	2	33.3	40	3.1	NNW	54.6	63.6	71.8	77.6	82.8	79.6	71.9	64.1	85.7
	3	13.8	38	2.3	NW	54.8	62.3	70.6	77.8	82.1	78.7	70.4	62.1	85.0
	4	13.7	39	2.1	NW	56.0	64.0	72.7	77.7	82.6	79.3	71.3	63.5	85.6
	5	29.5	64	3.0	WNW	56.7	63.9	74.3	78.9	83.1	79.4	72.3	65.0	86.2
	6	22.1	58	0.0	-	54.0	63.3	72.9	78.1	82.3	78.6	71.4	63.8	85.3
	7	22.1	58	0.0	-	53.5	62.4	71.8	77.6	81.8	78.0	70.3	62.8	84.7
2	1	33.7	40	0.0	-	57.4	64.3	74.6	79.6	83.5	80.7	73.7	65.6	86.9
	2	33.7	40	0.0	-	55.3	63.9	72.9	78.6	83.4	80.4	73.1	64.6	86.5
	3	19.2	38	1.8	ESE	54.6	62.7	72.3	76.6	81.5	79.1	71.7	63.7	84.8
	4	19.5	39	1.8	E	56.1	64.1	73.7	78.1	81.7	79.3	72.5	65.2	85.3
	5	34.5	48	2.4	NW	55.0	62.9	72.7	76.9	83.3	79.9	71.7	64.1	86.0
	6	33.6	50	1.5	NW	55.6	63.5	73.2	77.7	83.6	80.0	72.0	64.2	86.3
	7	13.8	54	1.1	SE	55.7	63.9	74.0	77.9	83.6	80.4	72.7	64.3	86.5
	8	13.8	56	0.4	N	54.8	62.9	73.3	77.0	83.4	80.0	71.8	63.5	86.1
3	1	35.4	38	1.3	N	51.7	61.2	70.1	74.3	77.3	75.0	68.0	61.0	81.2
	2	22.3	53	1.4	E	53.1	62.1	71.0	75.1	78.6	76.3	69.4	63.0	82.3
	3	35.4	38	1.3	N	51.3	60.5	70.0	73.3	76.5	74.1	67.2	60.4	80.3
	4	34.5	46	1.5	NW	51.5	60.3	69.5	73.0	77.0	74.4	66.8	59.9	80.5
	5	22.3	53	1.4	E	53.7	62.1	70.9	74.9	78.2	76.1	69.3	63.0	82.0
	6	25.6	38	3.1	SSW	51.3	61.2	70.3	74.7	78.6	75.8	68.4	61.0	82.0
4	1	35.2	30	0.0	-	53.3	62.1	71.6	76.3	78.4	74.7	67.5	60.7	82.1
	2	18.4	64	1.8	N	54.2	62.4	70.1	76.8	79.2	75.7	68.1	61.5	82.7
	3	29.9	36	2.7	SW	53.0	62.1	69.1	74.7	77.6	77.3	74.9	66.4	82.6
	4	35.2	24	0.0	-	56.0	63.7	70.5	76.4	78.2	75.5	68.6	61.6	82.2
	5	17.7	61	3.0	NE	55.0	63.4	71.3	75.7	79.2	76.8	69.7	63.2	82.9
	6	35.2	30	0.0	-	53.7	62.0	69.3	75.5	77.7	73.9	66.6	60.3	81.3
	7	17.7	61	3.0	NE	55.7	63.8	71.6	76.7	79.8	77.3	70.4	64.1	83.5
	8	35.2	24	0.0	-	57.1	63.7	71.7	76.7	78.7	76.0	69.1	62.3	82.7
5	1	33.6	40	1.0	NNE	58.6	63.7	72.1	77.7	82.3	79.6	72.7	66.1	85.5
	2	19.9	76	0.9	NE	58.6	62.9	70.6	76.4	81.7	79.1	72.0	65.0	84.8
	3	35.6	43	1.3	W	56.4	62.6	71.6	77.4	82.8	79.4	72.2	64.0	85.6
	4	18.4	40	0.0	-	57.4	63.8	74.7	78.7	84.3	81.4	74.2	64.5	87.3
6	1	37.7	34	2.0	SW	54.9	62.6	70.6	75.0	78.8	76.4	69.2	62.2	82.4
	2	37.7	34	2.0	SW	53.3	62.2	70.3	75.3	78.9	76.6	69.5	62.3	82.5
	3	23.2	35	0.9	NNE	52.7	61.6	68.8	74.5	78.7	76.3	68.9	61.9	82.1
	4	23.2	35	0.9	NNE	54.0	62.6	70.4	75.4	79.1	76.7	69.4	62.4	82.7
	5	29.3	54	3.0	NE	55.1	61.0	68.2	74.0	78.2	75.4	68.2	62.1	81.5
	6	29.3	54	3.0	NE	55.1	62.8	71.0	75.4	78.5	75.5	68.4	61.6	82.1
	7	18.4	60	1.0	NNE	55.3	62.6	71.7	75.7	79.5	76.8	69.6	63.1	83.0
	8	18.4	60	1.0	NNE	53.8	61.5	72.1	76.1	79.5	76.8	69.6	63.1	83.1
7	1	37.7	34	1.8	SW	55.3	60.2	68.5	72.6	76.8	73.4	65.7	61.1	80.0
	2	24.9	33	1.8	NE	55.1	62.0	72.6	76.2	79.4	75.9	67.5	59.8	82.9
	3	29.1	54	1.8	NE	57.8	62.3	68.6	73.2	77.0	73.1	67.6	61.5	80.3
	4	19.0	60	0.4	NE	58.1	63.5	69.8	74.9	78.4	74.9	68.9	62.7	81.8

Table 5 Road-gradient effect in dB obtained by comparison of the measured and the predicted sound pressure levels using ASJ Model-1998

Surface	Gradient	Difference			Gradient effect
		Up	Down	Mean	
Asphalt	4.28 %	1.20	2.20	1.70	-0.12
Concrete	4.46 %	5.50	5.45	5.48	1.02

는데 평균 차이값은 상대적으로 크나 표준편차는 1 dB 내외로 계측치와 예측치의 상관관계가 매우 양호함을 확인할 수 있다. 따라서, 일본과 국내의 아스팔트 도로 노면 상태 및 차량의 음향 특성 또는 차종별 구성비의 차이를 고려하여 ASJ Model-1998의 차종별 음향파워산정식에 아스팔트 포장도로의 경우 1.82 dB를 보정하고, ASJ Model-1998에 반영되지 않은 콘크리트 포장도로인 경우 상기 보정치에 콘크리트 포장 효과 2.64 dB를 추가로 고려하면 정도 높은 국내 고속도로 교통소음의 음향파워레벨 산정이 가능하다고 판단한다.

한편, 경사도가 4 % 이상인 중단구배부에 대한 계측치와 예측치의 차이는 Table 5에 나타내었는데 포장 유형별 평균 중단구배효과가 평탄부에서의 계측치와 예측치 차이값의 표준편차보다도 작음을 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서는 교통 흐름이 원활한 경우 4 % 내외의 중단구배로 인한 고속도로 교통 소음의 음향파워 변화는 무시하였으나 향후 충분한 계측 자료를 확보하여 중단구배 효과를 보다 정확하게 평가할 필요가 있다고 판단한다.

4.3 포장 종류별 음향파워스펙트럼

고속도로로부터 수음영역까지의 전달경로 상에서 발생하는 감쇠는 주파수 대역별로 달라지므로 정밀한 교통소음 예측을 위해서는 주파수대역별 음향발생특성을 파악해야 한다.

이를 위하여 이 연구에서는 Table 4에 나타난 계측 결과중 경사도가 1.1 % 이하인 평탄부 도로의 계측 결과의 A-가중치 총합음압레벨로부터 중심주파수 기준 63 Hz부터 8 kHz까지의 옥타브밴드별 A-가중치 음압레벨을 뺀 차이값의 평균치를 이용해서 국내 고속도로 교통소음의 파워스펙트럼 보정치를 도출하였다. 도출된 결과는 Table 6에 ASJ Model-1998에 제시된 보정치와 함께 나타내었다.

Table 6 Correction factors in dB to estimate A-weighted octave band power spectrum from A-weighted total sound power level at the non-sloped highway

Nominal midband frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	ASJ (Unlimited speed)	-29.9	-19.8	-12.3	-7.1	-4.6	-5.5	-9.7	-17.2
Measurement	Asphalt	-27.9	-19.9	-11.9	-6.7	-3.6	-6.5	-13.7	-20.3
	Concrete	-29.9	-21.9	-12.6	-7.8	-3.2	-6.2	-13.8	-21.6

Table 7 Measured factors to derive A-weighted octave band power spectrum from A-weighted total sound power level at the sloped highway

Nominal midband frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Asphalt	Up	-23.1	-18.2	-11.9	-7.0	-3.4	-7.0	-12.8
Down		-26.2	-20.3	-10.9	-7.0	-3.3	-6.8	-14.9	-21.0
Concrete	Up	-26.6	-21.9	-13.9	-8.1	-3.2	-5.8	-12.8	-19.6
	Down	-29.6	-23.3	-13.3	-8.4	-2.9	-6.1	-13.3	-22.2

상기 결과로부터 A-가중치 기준으로 국내 고속도로 교통소음은 1 kHz 대역 주파수 성분이 가장 지배적임을 확인할 수 있다. 또한, 아스팔트 포장부의 경우 ASJ Model-1998에 제시된 속도 구분을 하지 않는 경우와 비교하여 2 kHz 이상의 고주파수 성분은 작으나 125 Hz 성분을 제외한 1 kHz 이하의 중저주파수 영역에서는 다소 높게 나타났다.

한편, 중단구배부에 대한 파워스펙트럼 보정치 산정 결과는 Table 7에 나타내었는데 평탄부 계측결과와 비교하여 250 Hz 이하의 저주파수 영역의 소음성분이 크게 나타났다. 그러나, 보정치 산정에 이용된 계측자료의 개수가 제한적이고, 소음성분이 지배적인 500~2,000 Hz 주파수 영역에서는 차이가 거의 없어 이 연구에서는 중단구배부에서의 음향파워스펙트럼은 평탄부와 동일한 것으로 간주하였다.

4.4 제시된 음향파워 산정방법의 정확도 평가

4.2절과 4.3절에 기술한 음향파워레벨 보정치와 음향파워스펙트럼을 이용해서 모든 계측지점에 대한 소음예측을 재수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이에

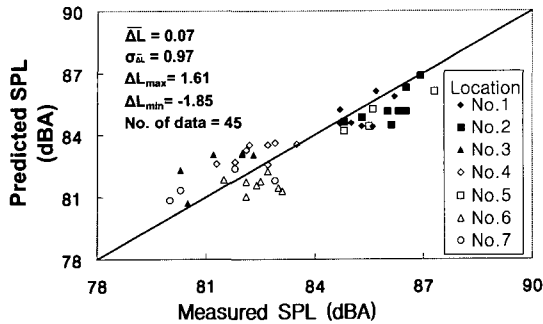


Fig. 6 Measured and predicted total sound pressure levels : Prediction using the modified traffic sound power level

는 비교목적으로 예측치도 함께 나타내었는데 예측치와 예측치의 평균 차이가 0.07 dB, 이의 표준편차가 0.97 dB, 최대 차이가 1.85 dB로서 예측치와 예측치의 부합성이 매우 양호하여 제시된 음향파워 평가 방법이 국내 고속도로 교통소음 예측에 유용하게 이용될 수 있다고 판단한다.

5. 결 론

이 연구에서는 국내 고속도로 소음을 예측하고, 이의 음향 발생 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 국내 고속도로 교통소음의 음향파워레벨은 일본음향학회 제시 음향 파워 평가식과 비교하여 아스팔트 포장부의 경우 평균 1.82 dB 높은 것으로 나타났다. 또한, 아스팔트 포장 기준으로 콘크리트 포장 고속도로 교통소음 유발량에 미치는 영향은 평균 2.64 dB인 것으로 확인되었다.

(2) 국내 고속도로 교통소음은 1 kHz 주파수 대역 성분이 가장 지배적이다. 또한, 일본음향학회 제시 파워스펙트럼과 비교하여 2 kHz 이상의 고주파수 성분은 작으나 125 Hz 성분을 제외한 1 kHz 이하의 중저주파수 영역이 높게 나타났다.

(3) 본 연구에서 제시한 음향파워 특성치를 이용하여 정상주행 상태의 고속도로 노면 교통소음을 예측한 결과는 예측결과와 1 dB 이내의 평균오차를 나타내었다.

(4) 보다 정밀한 국내 도로교통소음 예측을 위해서는 국내에서 운행되고 있는 차량들에 대해 정상, 단속 및 가감속 주행 상태 등을 반영한 속도별 음향파워레벨 조사가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) 한국도로공사, 1999, 고속도로 1일 통행량 현황 자료.
- (2) 정일록 등, 1989, 도로교통 소음저감을 위한 종합대책에 관한 연구(III), 국립환경연구원.
- (3) 한국도로공사, 1994, 고속도로 소음대책에 관한 연구.
- (4) FHWA, 1977, Users Manual: RSC Highway Noise Prediction Code: MOD-04, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA-RD-77-18, Washington D.C.
- (5) HMSO, 1995, Calculation of Road Traffic Noise, U.K. Department of Transport.
- (6) NMPB-96, 1997, Road Traffic Noise - New French Calculation Method Including Meteorological Effects, CERTU.
- (7) 일본음향학회 도로 교통소음 조사연구위원회, 1999, "도로교통소음의 예측모델: ASJ Model-1998", 일본음향학회지 제 55 권 제 4 호.
- (8) Lee, C. S. Y. and Fleming, G. G., 1996, Measurement of Highway-related Noise, Report No. FHWA-PD-96-046 and DOT-VNTSC-FHWA-96-5, U.S. Department of Transportation.
- (9) ISO 9613-1, 1993, Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 1: Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere, International Standard Organization, Geneva.
- (10) ISO 9613-2, 1996, Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part 2: General Method of Calculation, International Standard Organization, Geneva.
- (11) Cho, D. S., 2001, ENPro 3.0 User Manual, Createch.
- (12) 한국도로공사, 2001, 소음예측기법 및 방음시설 설계기준 연구.
- (13) 조대승 외 4인, 2002, "고속도로 교통소음 예측 - 전달감쇠 산정", 한국소음진동공학회논문집, 제12 권 제 3 호, pp. 236~242.