

<論 文>

# 음향 인텐시티 측정법을 이용한 자동차의 소음방사특성에 관한 실험적 연구(I)

— 엔진 및 배기계 부위소음을 중심으로 —

An Experimental Study (I) on the Noise Emission Characteristics of Motor Vehicles  
Using Sound Intensity Measurement Method  
— A Case of Engine and Exhaust Noise —

양관섭\* · 유남구\*\* · 박병진\*\*\* · 김영완\*\*\*

Kwan-Seop Yang, Nam-Koo Yoo, Byung-Jeon Park and Young-Wan Kim

(1996년 7월 29일 접수 ; 1996년 11월 16일 심사완료)

## ABSTRACT

Locations and emission characteristics of noise source of motor vehicles are great important factors to control the road traffic noise in effective ways. From results of this study on emission characteristics of engine and exhaust noise, we could find that every noise emission of different kind of vehicles has similar pattern. The main emission locations of engine noise for the front of vehicle became the space between road surface and bottom of the body and radiator grill, and for the side of vehicle became the space between the road surface and bottom nearby the front wheel. In case of exhaust noise of passenger-car and light truck, all the highest sound intensity level located near surface of road. But it is hard to conclude the height of noise source of driving vehicles with only results of this study. So further studies are needed to check the emission characteristics of noise.

### 1. 서 론

도로교통소음은 급격한 자동차 보급확대에 따른 교통량의 증가, 자동차 및 도로구조의 개선에 따른 차량속도의 증가, 그리고 교통량 해소를 위한 도로의 추가건설 등에 의해 소음의 발생량 및 크기, 피해지역은 날로 증가하고 있는 실정이다. 더구나 우리나라의 경우 국토면적이 협소하고 이용할 수 있는 국토면적이 작아 주거지역 등 거주공간에 인접하여 도로가 개설되고 있어 도로교통소음에 의한 피해는 매우 심각하다.

이러한 도로교통소음 문제를 정확하고 합리적으로 해결하기 위해서는 예측이나 평가시 자료로 활용되는 발생원의 특성, 전달특성, 수음측에서의 소음특성 등에 대한 데이터가 지속적으로 확인·측정되어

기초자료로서 축적되어야 한다.

도로교통소음을 예측하는 경우, 자동차 주행소음의 음원특성이나 음원위치는 예측의 정도를 좌우하는 중요한 변수이다. 그런데 도로교통소음을 예측할 때 사용하는 주행차량의 음원모델 및 음원의 높이는 Table 1과 같이 나라마다 다르게 설정되어 있다. 먼저 음원모델은 평가량에 따라 선음원(평가량이  $L_{eq}$  일 때)과 점음원(평가량이  $L_{50}$ )으로 취급하고 있다<sup>(1)</sup>. 그리고 각국의 음원의 높이 중 미국에서는 상당히 규모가 큰 트럭이 많이 주행하고 있고, 또한 배기관이 차량 지붕위에 있기 때문에 예측 모델로서의 음원높이를 대형화물차의 경우 2.44m로 상당히 높게 설정하고 있다<sup>(2)</sup>. 이에 반해 유럽에서는 대부분 0.5 m의 위치에 음원이 설정되고 있으며, 일본은 엔진 배기계소음에 대한 대책이 상당히 진전되어 소음의 주요성분이 타이어에 의한 노면소음으로 바뀔에 따라 0.3m이던 음원의 높이를 1993년 이후부터는 노면상 0m로 음원높이를 설정하고 있다<sup>(1)</sup>. 우리나라의 경우에는 국립 환경연구원에서 제시하고 있는 음원

\*정회원, 한국건설기술연구원

\*\*전주공업전문대학 건축공학과

\*\*전북대학교 공과대학 건축공학과

Table 1 Height of noise source in every country

국 명	음원의 설정높이	평가량	음원모델
한 국	0.5m	$L_{Aeq}$	선(점)음원*
영 국	0.5m	$L_{10}$	선음원
미 국	승용차 : 0m 중형화물차 : 0.7m 대형화물차 : 2.44m	$L_{Aeq}, L_{10}$	선음원
독 일	0.5m	$L_{Aeq}$	선음원
북유럽	0.5m	$L_{Aeq}$	선음원
일 본	0m (1993년 이전 : 0.3m)	$L_{Aeq}, L_{50}$	점음원

\*도로폭의 크기에 따라 구분<sup>(4)</sup>

의 설정높이는 유럽과 같은 0.5m로 하고 있으며<sup>(3)</sup>, 일본의 예측식을 사용하는 경우에는 음원의 높이를 0.3m로 하고 있다.

이렇듯 음원위치의 설정에 대해서는 나라마다 특성을 가지고 있지만 자동차 제작기술의 발전에 따라 소음의 방사특성도 바뀌기 때문에 차량의 소음방사 특성의 측정결과를 근거로 음원높이에 대한 재검토가 요구된다.

또한 도로변 환경측면에서 도로교통소음을 줄이기 위해 도로구조의 변경이나 방음벽 등의 설치가 일반화되어 있으나 이들의 대책을 효과적으로 실시하기 위해서도 자동차 주행소음의 방사특성이나 음원위치를 충분히 고려할 필요가 있다.

이와 같이 도로교통소음의 예측 혹은 저감 등 모든 문제를 고려할 경우에도 자동차 주행 소음의 방사특성이나 음원위치가 매우 중요하다. 그러나 이들을 정확하게 검토하기 위해서는 자동차 주행시의 주요 소음원인 엔진계 소음, 배기계 소음, 타이어계 소음 등 각각의 소음방사특성과 자동차주행소음의 지향특성에 대한 검토가 필요하다. 이들의 검토를 효과적으로 수행하기 위해서는 여러 계측방법중 음향에너지류의 가시화나 부위별 발생소음의 측정에 가장 유효한 음향인텐시티법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

이 음향인텐시티법은 자동차소음 계측법중의 하나로써 1980년 이후 급속하게 실용화가 진행되어 외국에서는 많은 성과가 보고되고 있다.

자동차의 주요 음원에 대해 음향인텐시티법을 이용하여 측정된 사례로서 가장 많은 것이 엔진소음의 음향파워 평가나 음원별 기여도 분석에 관한 것이고, 그외에 타이어 소음 및 배기계 소음 등에 관한

것이다.

음향인텐시티법이 자동차 엔진소음의 평가에 응용 가능하다는 것을 선구적으로 발표한 사람은 J. Y. Chung, J. Pope, D. A. Feldmaier 등이다. 그들은 V8 디젤엔진을 무향실의 다이나모미터에 셋트시킨 후, 1,500rpm, 1/2부하의 정속회전시 각부 음원별 강도나 음향파워를 음향인텐시티법으로 측정된 결과를 발표하였다<sup>(5)</sup>. 그 후 1982년 T. E. Reinhart와 M. J. Crocker는 직렬 6기통 350마력의 디젤엔진을 대상으로 납차폐법, 음향인텐시티법 및 표면인텐시티법에 의한 부위별 방사파워를 측정하고, 3가지 수법에 의한 측정결과를 비교하여 발표하였다<sup>(6)</sup>. G. Rasmussen, P. Rasmussen은 엔진과 같이 주기운동을 하는 기계구조물에서 방사되는 음향인텐시티나 음압의 변화를 측정하는데 음향인텐시티법이 유용하다고 설명하고 있다<sup>(7)</sup>.

富田尚降, 渡邊敏幸, 飯田一嘉 등은 타이어의 접지면 근방에서 음향인텐시티를 측정하여 그 결과를 발표하였으며<sup>(8)</sup>, P. R. Donovan과 L. J. Oswald는 타이어 소음측정용 트레일러에 음향인텐시티 프로브를 부착하여 주행시 발생하는 타이어 소음을 측정하여 제시하였다<sup>(9)</sup>.

배기계 소음에 대해서는 일본의 阿部 武 등이 배기분출소음의 음원위치 확인과 소음기에 의한 저감 효과 확인을 위해 음향인텐시티법을 이용한 사례를 발표하였다<sup>(10)</sup>.

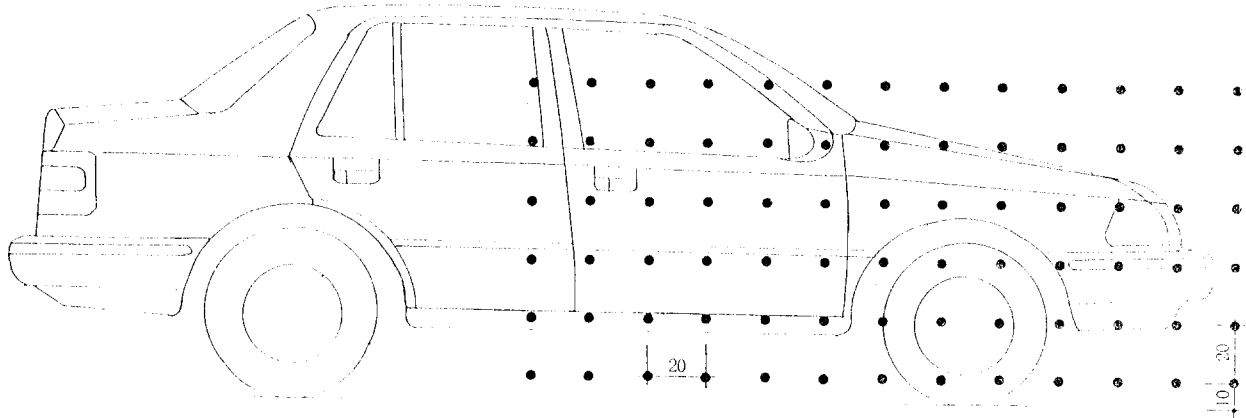
차외소음에 대해서는 J. Pope, R. Hichkling D. A. Feldnaier 등이 디젤엔진을 탑재한 트럭을 무향실의 샷시 다이나모미터 위에서 정속 무부하 운전시켜 그 주위의 704부위에 대한 음향인텐시티를 측정하여 음향파워를 구한 결과를 제시하였다<sup>(11)</sup>.

이와 같이 외국에서는 자동차소음의 방사특성이나 파워레벨의 측정시 음향인텐시티법이 많이 이용되고 있다. 따라서 본 연구에서도 주행차량의 음원위치 조사를 위한 1단계 실험으로서 음향 인텐시티법을 이용하여 무부하, 정지상태로 운전중인 승용차 및 트럭(소형 및 대형)을 대상으로 엔진 및 배기계 부위에 대한 소음방사특성을 검토하고자 한다.

## 2. 측정방법

### 2.1 시험대상 차량

소음·진동 규제법 제2조 제9호의 규정에 따라 동 시행규칙 제4조에 규정된 자동차의 종류를 참고하여 시험 대상 차종은 승용차, 소형화물차, 대형화



(a) The side

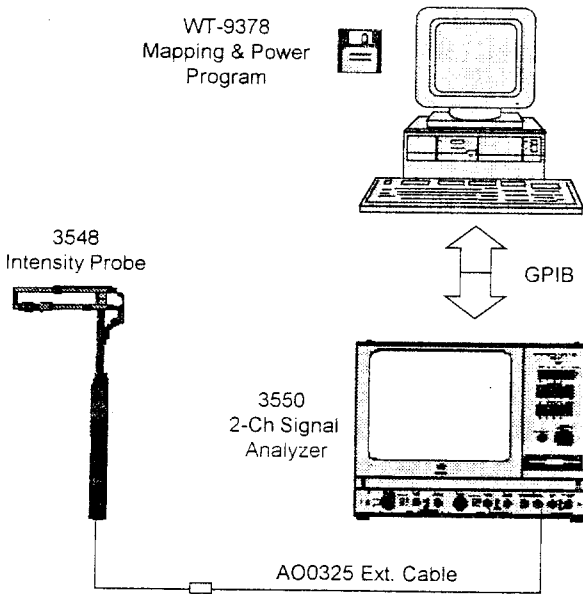
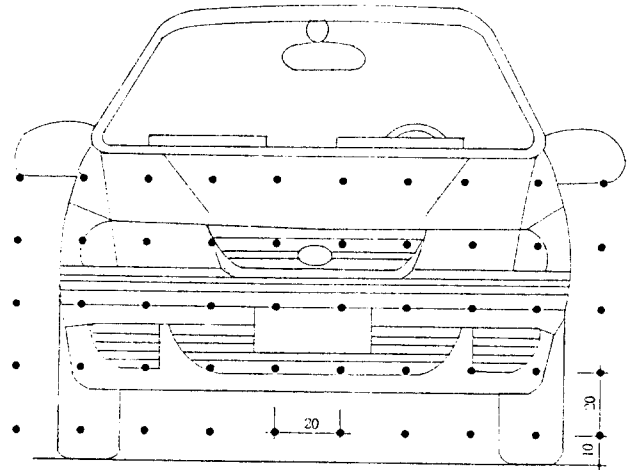


Fig. 1 Sound intensity measurement system

물차를 대상으로 하였다. 그리고 소음·진동규제법 시행규칙 제 38조(제작차 소음허용기준) 및 제 52조(운행차 소음허용기준)에 따라 제작차 및 운행차의 소음허용 기준은 자동차 종류별로 정해져 있으며, 그 범위안에서는 배기량이나 최고출력에 관계없이 배출되는 소음허용기준(단, 법의 적용기간에 따라 1~3dB(A)의 차이는 있음)이 동일해야 한다는 조건과 본 실험이 도로교통소음 예측시 이용되는 소음원의 설정높이를 검토할 목적으로 자동차 종류별 주요 소음원의 방사특성과 방사방향을 검토하는 것이기 때문에 차량의 출고년도나 엔진배기량에는 큰 비중을 두지 않았다.



(b) The front

Fig. 2 Sound Intensity Measuring Point of Passenger-car (As a sample)

Table 2 Types of vehicles for experiment

차 종	배기량	공차중량(최대적재량)
승 용 차	1,468cc	990 (1,320)kg
소형화물차	3,568cc	2,750 (2,500)kg
대형화물차	10,350cc	9,295 (11,000)kg

## 2.2 측정방법

### (1) 측정장비의 구성

실제의 음향인텐시티 계측기로서는 위상특성을 측정할 수 있는 콘덴서 마이크로폰으로 구성된 프로브로 디지털 필터를 이용하여 연산을 실행하는 직접법과 FFT(Fast Fourier Transform) 분석기의 크로스 스펙트럼 함수에 의해 구하는 크로스 스펙트럼

법이 있는데, 본 연구에서는 직접법(B & K 3550 음향인텐시티 측정시스템)을 이용하여 각 차종별, 부위별 음향인텐시티를 측정하였다. 그리고 인텐시티 프로브(B & K 3548)로서는 1/2인치 콘덴서 마이크로폰(B & K 4181) 2개를 12mm 스페이서를 이용, 대향배열(face to face)하여 사용하였다. 측정주파수 간격은 125~5000Hz까지의 1/3옥타브 밴드별로 A특성의 음향인텐시티를 측정하는 것으로 하였다. Fig. 1은 음향인텐시티 측정시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

(2) 측정조건

가) 측정위치

본 연구에서의 측정은 크게 엔진부위와 배기구 부위 등 두 부분으로 나누어 실시하였다.

a) 엔진부위에서의 음향인텐시티 측정위치

엔진부근의 소음방사특성을 조사하기 위해 각 차종별로 차량의 전면 및 측면에 대해 20cm 간격으로 음향인텐시티의 법선방향 성분을 측정하였으며, 차체와의 이격거리는 30cm로 하였다. Fig. 2는 승용차의 엔진부근에 있어서 음향인텐시티 측정위치를 나타낸 것이며, Table 3은 각 차종별, 측정위치별 음향인텐시티 측정개소 및 측정규모 등을 나타낸 것이다.

b) 배기구 부위의 음향인텐시티 측정위치

배기계 부위의 소음방사특성을 조사하기 위해 배기구가 엔진부위와 이격(배기구가 차량의 후면에 위

Table 3 Test scope of engine noise

구 분		측정대상규모 (폭(길이)×높이)	측정 간격	차체와의 이격거리
승용차	전 면	2m×1m 총 50개 측정점	20cm	30cm
	측 면	2.6m×1.2m 총 50개 측정점		
소형 화물차	전 면	2.6m×1.8m 총 153개 측정점		
	측 면	2.4m×1.8m 총 108개 측정점		
대형 화물차	전 면	2.8m×1.8m 총 126개 측정점		
	측 면	4.8m×2m 총 240개 측정점		

※ 높이는 바닥면으로부터의 거리를 말함

Table 4 Test scope of exhaust noise

차 종	측정대상규모 (폭×높이)	측정개소 (폭×높이)	측정간격	차체와의 이격거리
승용차	1.8m×0.8m	9×4 총 36개소	20cm	30cm
소형 화물차	2.4m×0.8m	12×4 총 48개소		

※ 높이는 바닥면으로부터의 거리를 말함.

치)되어 있는 승용차 및 소형화물차(최대적대량 2.5톤)를 대상으로 배기구로부터 토출되는 소음에 대해 법선방향의 음향인텐시티를 측정하였다.

Table 4는 측정대상 차량의 배기구 부위에서의 음향인텐시티 측정개소 및 측정규모 등을 나타낸 것이다.

나) 측정대상 차량의 운전조건

측정대상 차량에 대한 부위별 음향인텐시티 측정은 주변소음(암소음)이 작고 반사음의 영향이 없다고 판단되는 개방된 옥외공간에서 실시하였다. 그리고 측정대상 차량의 운전조건은 암소음의 영향을 줄이기 위해 측정대상 차량 모두 엔진회전속도를 2,000rpm(무부하, 정지상태)으로 높인 후에 측정을 실시하였다.

3. 측정결과 및 고찰

3.1 엔진계 소음의 방사특성

(1) 승용차

승용차 측면에 있어서 엔진부위로부터 방사되는 소음의 법선방향에 대한 음향인텐시티를 A특성으로 측정된 전대역레벨(125~5000Hz의 전주파수 대역을 포함하고 있는 음향인텐시티레벨)의 결과를 등음선도로 나타낸 것이 Fig. 3이다.

그림에서도 알 수 있듯이 차량측면에 있어서 엔진소음은 전륜부근에서 가장 강하게 방사되고 있으며, 그 부위를 중심으로 퍼져나가는 형상을 보이고 있다. 이는 엔진룸 하부의 개구부에서 방사되는 소음이 직접 차체 외부로 전달되거나 바닥면의 반사에 의해 전달되기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 전면에 있어서 측정된 음향인텐시티 레벨의 결과를 등음선도로 나타낸 것으로서, 그림에서도 알 수 있듯이 전대역레벨에서는 차량의 라디에타그릴 부분과 노면근방의 두부분에서 강하게 방사되고 있으나 라디에타그릴쪽의 레벨보다는 노면근방에서

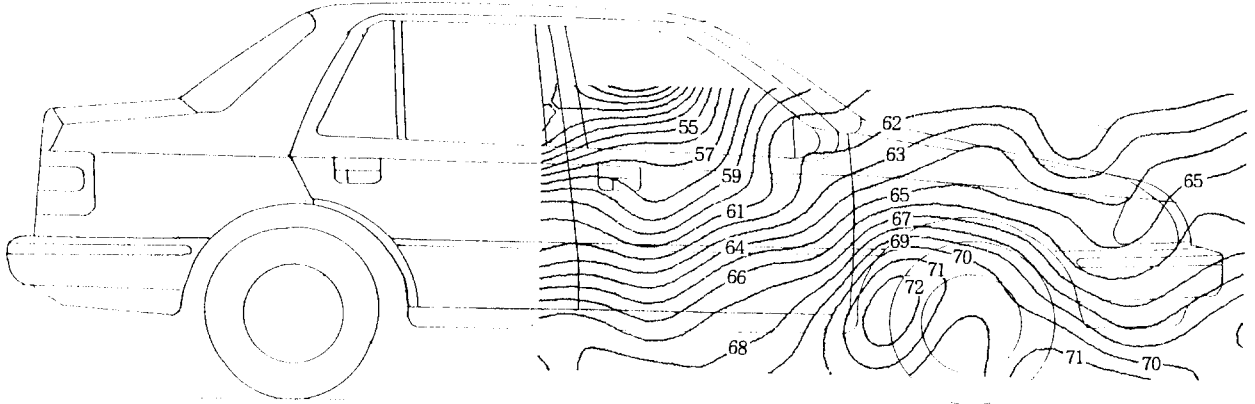


Fig. 3 Sound intensity contour in the side of passenger-car

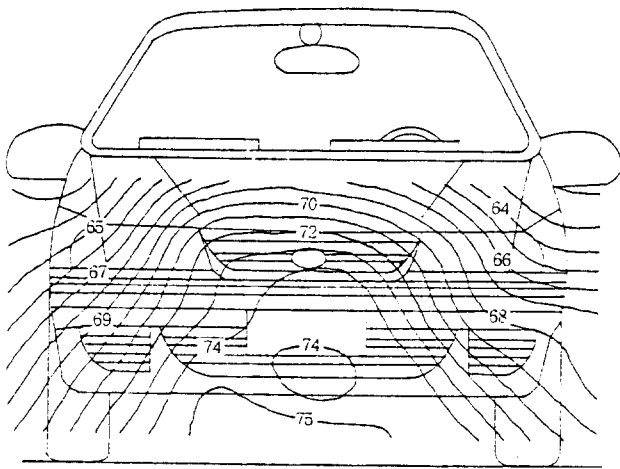


Fig. 4 Sound intensity contour in the front of passenger-car

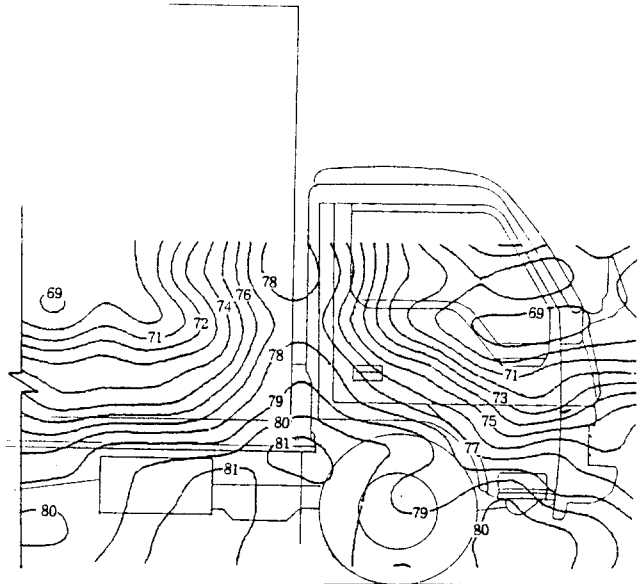


Fig. 5 Sound intensity contour in the side of light truck

의 레벨이 약간 높게 나타났다.

### (2) 소형화물차

2.5톤인 소형화물차의 측면에 있어서 엔진부위로부터 방사되는 소음의 법선방향에 대한 음향인텐시티 레벨을 A특성으로 측정한 결과가 Fig. 5이다.

소형화물차 측면의 엔진소음은 승용차와 마찬가지로 전륜 뒷부분에서 가장 강하게 방사되고 있으며, 그 다음으로 전륜의 앞부분인 것으로 나타났다.

Fig. 6은 전면에서 측정한 결과를 등음선도로 나타낸 것으로서 라디에타그릴 부분보다는 차체하부와 노면사이의 한 부분에서 소음이 강하게 방사되어 주변으로 퍼져나가는 형상을 보이고 있다.

### (3) 대형화물차

Fig. 7은 대형화물차(11톤)의 측면에서의 측정한 결과를 등음선도로 나타낸 것이며, 그림에서도 알 수 있듯이 승용차 및 소형화물차와 마찬가지로 전륜(앞바퀴 뒷부분)부근 즉 운전석과 적재함 사이의 노면근방에서 가장 강하게 방사되고 있으며, 그 부위를 중심으로 퍼져나가는 형상을 보이고 있다. 이는 엔진룸 하부의 개구부에서 방사되는 소음이 직접 또는 지면에 반사되어 차체 외부로 전달되고, 또한 배기계 계통에서 방출되는 소음이 직접적으로 외부로 전달되기 때문인 것으로 판단된다. 두번째로 높은 소음을 방사하고 있는 부위는 전륜의 앞부분으로서 엔진소음만의 전파에 따른 것으로 생각된다.

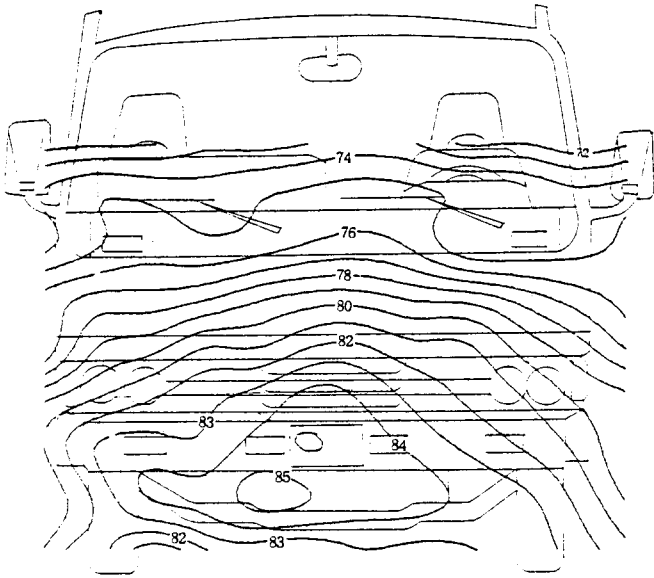


Fig. 6 Sound intensity contour in the front of light truck

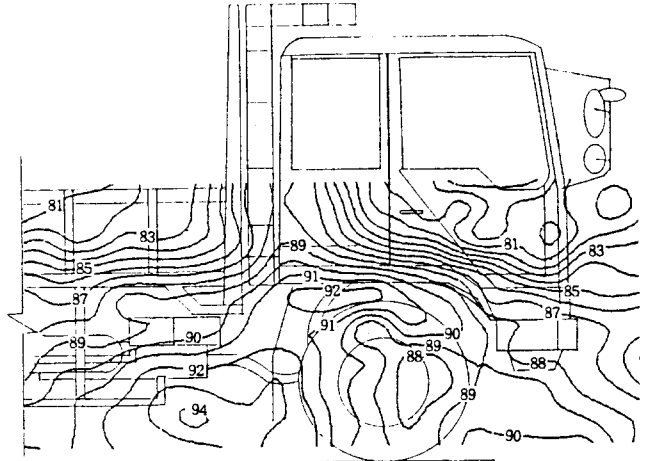
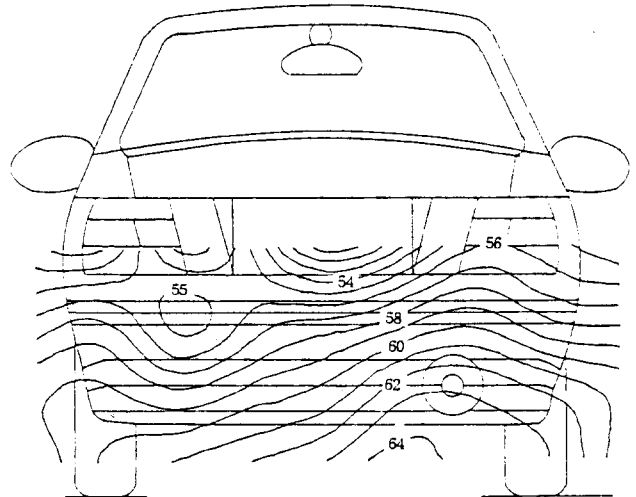


Fig. 7 Sound intensity contour in the side of heavy truck

Fig. 8은 전면에 있어서의 측정결과로서 소음이 가장 강하게 방사되고 있는 부분은 라디에타그릴부분과 노면근방, 즉 차체하부와 노면 사이의 두부분에서 강하게 방사되어 주변으로 전파해 가는 양상을 보이고 있다.

### 3.2 배기계 소음의 방사특성

엔진소음의 영향을 가능한 배제하고 배기계의 소음방사특성을 측정하기 위해 배기구가 차체의 뒷



(a) Passenger car

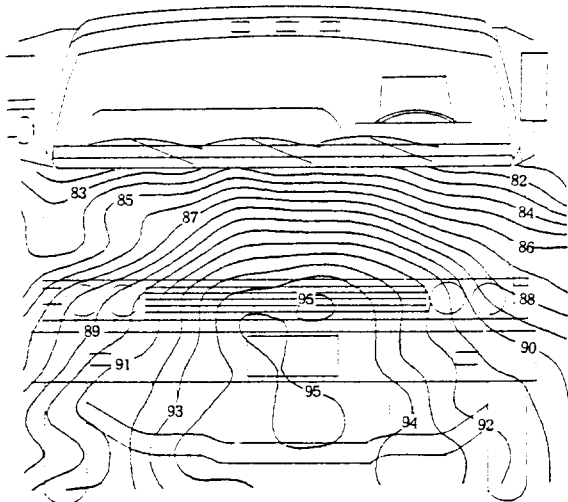
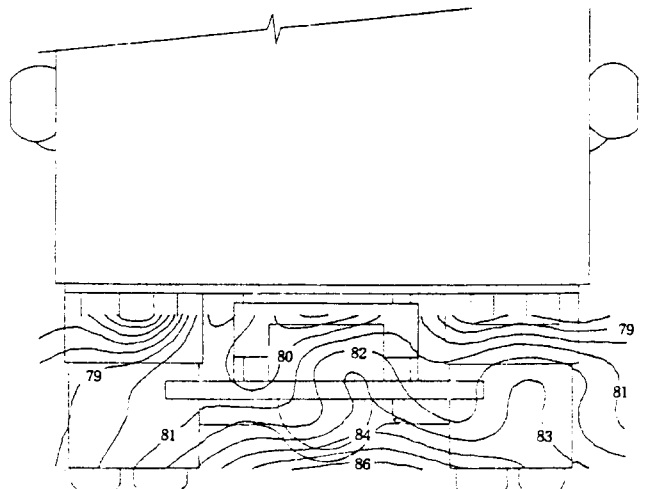


Fig. 8 Sound intensity contour in the front of heavy truck



(b) Light truck

Fig. 9 Sound intensity contour of exhaust noise

부분까지 연결되어 있는 승용차 및 소형화물차를 대상으로 측정을 실시하였다. 그 측정결과가 Fig. 9이며, 그림 중 (a)는 승용차의 전대역레벨의 측정결과를, (b)는 소형화물차의 전대역레벨의 측정결과를 각각 나타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 소음이 퍼져나가는 양상은 다소 다르나 가장 소음이 큰 부위는 승용차 및 소형 화물차 모두 배기 토출구와 가까운 차체와 노면사이인 것으로 나타나고 있다. 이 배기계 소음은 자동차 소음원 중 가장 점음원에 가까운 소음원으로 볼 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

도로교통소음의 효율적인 대책이나 예측을 위한 기초적인 검토로서 각 차종별 엔진계 소음과 배기계 소음의 방사특성을 검토한 결과 엔진계 소음의 주된 방사위치로서는 차량의 종류와 관계없이 차량전면에 있어서는 노면과 차체하부 사이 및 라디에타 그릴 부위이고, 차량측면에 있어서는 전륜 부근의 노면과 차체하부 사이임을 확인하였다. 그리고 차종에 따라 차체의 측면보다는 전면쪽이 1~5dB(A) 정도 높은 것으로 나타났다.

배기계 소음은 측정대상 차량인 승용차 및 소형화물차 모두 노면에 가까운 위치에서 음향인텐시티 레벨이 최대로 되고 있으며, 배기계 소음의 지배적인 배기토출음은 자동차 소음원 중 가장 점음원에 가까운 소음원이라고 생각된다.

본 연구는 도로교통소음의 예측과 대책시 주요 인자로 사용되고 있는 음원의 설정높이를 검토할 목적으로 수행하였으나 본 연구의 결과로서는 주행하는 차량의 음원높이를 설정하기는 부족하다. 따라서 주행하는 차량의 음원위치를 파악하기 위해 음향인텐시티 측정법을 이용하여 주행소음의 방사특성을 측정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

#### 후 기

본 연구는 전북대학교 자동차 신기술 연구소 1995년도 연구과제(과제번호 AR 95-01)의 결과입니다.

관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 山本貢平, 1996, 道路交通騒音豫測モデルの現狀-海外との比較-, 騒音制御 Vol. 20, No. 3, pp. 3~10.
- (2) Myles A. Simpson, 1976, Noise Barrier Design Hnadbook, Federal Highway Administration, FHWA-RD-76-58, pp. 4~20.
- (3) 한국도로공사, 1994, 고속도로 소음대책에 관한 연구, p. 72.
- (4) 김하근, 1995, 건물 내외부에서의 도로교통소음 예측 및 평가에 관한 연구, 박사학위논문, p. 61.
- (5) J. Y. Chung, J. Pope and D. A. Feldmaier, 1979, "Application of Acoustic Intensity Measurement to Engine Noise Evaluation," SAE Paper 790502.
- (6) T. E. Reinhart and M. J. Crocker, 1992, "Source Identification on a Diesel Engine Using Acoustic Intensity Measurements," Noise Control Eng. 18 (3), pp. 84~92.
- (7) G. Rasmussen and P. Rasmussen, 1985, Localization of Sound Sources, CETIM 85, pp. 425~432.
- (8) 富田尚隆, 渡邊敏幸, 飯田一嘉, 伊勢田裕, 松永孜, 1985, "ドラム試験機上における大型ラグタイヤの騒音源深査," 自動車技術會論文集, No. 31, pp. 109~115.
- (9) P. R. Donavan and L. J. Oswald, 1980, The Identification and Quantification of Truck Tire Noise Sources under on-Road Operating Conditions, Inter-Noise 80, pp. 253~258.
- (10) 阿部 武, 1987, "音響インテンシティの自動車騒音への適用例", 音響インテンシティシンポジウム論文集, pp. 37~45.
- (11) J. Pope, R. Hickling, D. A. Feldmaier and D. A. Blaser, 1981, The use of Acoustic Intensity Scans for Sound Power Measurement and for Noise Source Identificaiton in Surface Transportation Vehicle, SAE Paper 810401.