

정지 차량의 소음 방사특성에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Noise Radiation Characteristics of Stationary Vehicle

김 정 략*, 최 명 선*, 장 호 경**

(Jung-Rag Kim, Myung-Sun Choi, Ho-Gyeong Chang)

*영남대학교 광전자물리학과, **경산대학교 전자물리학과

(접수일자: 2003년 6월 27일; 수정일자: 2004년 4월 7일; 채택일자: 2004년 5월 19일)

본 연구에서는 가속주행소음 (pass-by noise) 시험을 측정할 때 차량 각 부분에서 발생하는 소음 기여율을 산정하고자, 그 선행연구로 정지 차량의 좌우 측면에서 음향 인텐시티 방법을 이용하여 근접 방사소음 특성을 연구하였다. 가속주행소음 측정구간의 엔진 회전수 대역인 2,800 rpm과 3,200 rpm으로 구분하여 시험차량 중심축 선을 기준으로 7.5m 떨어진 지점에서 음압을 측정하여 주파수별 지향특성을 해석하였다. 이 결과는 차량 소음 저감에 응용할 수 있다.

핵심용어: 소음기여율, 가속주행소음, 근접방사소음, 지향특성

투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10.2)

To estimate the rate of noise contribution caused in each part of a vehicle in the course of a pass-by noise test, researches precedent have been made to study characteristics of nearby radiation noise measured on both sides of cars in a stationary state. With different revolutions per minute of engine, 2,800rpm and 3,200rpm respectively, in the measurement area of pass-by noise, the experiments have been conducted 7.5 meters away from the central axis of the test vehicle to study direction radiation according to frequencies. The results can be applied to reduce vehicle noise.

Keywords: Noise contribution, Pass-by noise, Nearby radiation noise, Direction radiation

ASK subject classification: Noise and Aeroacoustics (10.2)

I. 서론

최근 개발된 차량들은 실용성과 함께 편이성, 안정성, 정숙성이 강화되고, 차량에서 발생하는 소음을 규제하는 법규도 강화되고 있다. 차량소음을 측정하는 방법은 가속주행소음 시험, 배기 소음 시험, 경적소음 시험의 허용치를 정하고 있다.

차량의 소음 진동에 관한 일반적인 문제들을 해결하기 위해 T. Priede는 1967년부터 연구하였고[1], Hiroshi Kanda등은 디젤 엔진에서 발생하는 소음 저감을 위해 소음의 전달 경로해석에 관한 연구를 진행하였다[2]. H. Drewitz, M. Stiglmaier는 정지상태의 차량에서 방

사되는 음압 레벨을 측정하여 트럭 (truck)의 가속주행소음 저감 연구에 이용하였고[3]. 지향특성에 관한 이론적 연구는 C. T. Molloy에 의해 다양한 방사체에 대해서 연구되어 졌으며[4, 5], A. V. Generlov는 지면 근처 음원들의 각 방향에서 음파의 전달과 종합적인 지향특성의 새로운 방법에 대해 연구 하였다[6, 7]. A. W. Walker는 도로표면과 차량소음의 마이크론 배열에 관한 연구를[8, 9] Felice E. Corcione 등은 정지 상태 조건 아래의 T.C.D.I (Turbo charged direct injection) 디젤 엔진으로 부터 음향 인텐시티 소음 방사를 측정하였다 [10]. 양 관섭 등은 엔진 및 배기계 부위를 중심으로 음향 인텐시티 측정법을 이용하여 차량의 소음 방사특성에 관한 실험적 연구를 실시하였다[11]. 김재청 등은 고속철도와 에어컨 실내기에서 방사되는 소음에 관해 연구하였다[12, 13].

본 연구에서는 가속주행소음 (pass-by noise) 저감

책임저자: 김 정 략 (nvh@naver.com)
365-842 충청북도 진천군 덕산면 인산리
서한기술연구소
(전화: 043-530-3161; 팩스: 043-530-3109)

을 위해 그 선행연구로 차량 각 부분의 소음 기여율을 연구하였으며, 정지 상태의 차량에서 발생하는 소음방사 특성을 평가하였고, 그 결과를 이용하여 소음 저감을 위한 적절한 대책을 수립하고자 하였다. 가속주행소음 측정 위치에서 시험 차량의 각 부분으로부터 발생하는 소음원 중 엔진 및 배기계의 기여도가 가장 크게 나타나는 현상에 기초를 두고, 시험 차량이 가속주행소음 측정 구간을 통과할 때의 엔진 회전수 대역인 2,800 rpm과 3,200 rpm으로 구분하여 좌우 측면의 엔진 및 흡·배기계의 근접 방사 음의 세기 (sound intensity) 를 조사하였다. 그리고 가속주행소음 시험의 마이크로폰 측정 지점인 차량중심의 중앙으로부터 7.5m 떨어진 거리에서 주파수별 소음 방사 특성을 측정하였다. 그리고 음원의 방사 소음 주파수에 따른 스펙트럼 (spectrum) 을 연구하였다.

II. 정지차량의 방사소음

정지상태의 차량에서 발생하는 소음원은 흡기계, 배기계 및 엔진으로 구성되어 지고, 각 부분 에서 방사된 음은 음원으로부터 불규칙한 형태로 각 방향에서 Fig.1 과 같은 관측점들 사이에서 경로차가 생긴다. 주파수가 높아져서 음파의 1/2 파장이 이 경로 차와 같게 되면 서로 상쇄하고 음파의 파장이 짧은 고음역에서는 방향에 따라서 음의 방사하는 세기가 다르므로 지향성이 생긴다.

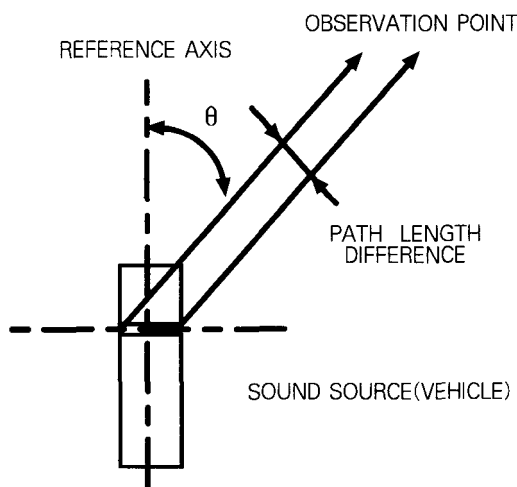


그림 1. 차량의 소음 방사특성 유도에 사용되어진 기하모델
Fig. 1 Geometry used in deriving the noise radiation characteristic of the vehicle

두 개의 근접한 마이크로폰을 사용하여 소음원으로부터 방사되는 소리의 에너지 흐름을 측정 하는 음향 인텐시티는 단위 면적당 에너지의 시간 평균된 유동율로 정의되며, 음압과 입자속도의 곱의 시간 평균이다. 입자속도는 2개의 마이크로폰 사이인 탐침자의 음향적 중심에서 계산되어 지고, 음압은 두 마이크로폰의 평균 음압을 취하므로 이 점에서의 근사값으로 계산된다. 음압과 입자 속도를 서로 곱한 후 시간 평균하여 인텐시티를 얻는다.

$$u = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial P}{\partial r} dt \quad (1)$$

$$u = -\frac{1}{\rho} \int \frac{(P_B - P_A)}{\Delta r} dt \quad (2)$$

$$P = \frac{P_B + P_A}{2} \quad (3)$$

$$I_r = P \cdot U_r = -\frac{1}{2 \rho \Delta r} (P_A + P_B) \int (P_B - P_A) dt \quad (4)$$

가속주행 소음시험 측정 구간을 진입할 때의 속도는 배기량 2.7리터의 소형 트럭인 경우 변속기 3단을 사용하여 50 km로 진입하게 되어 있다. 이때의 엔진 회전수를 식(5)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$Velocity = \frac{2\pi r \times Max\ rpm \times 60}{Transmission\ ratio \times Rear\ Axle\ ratio \times 1000} \quad (5)$$

여기서 r은 동하중 반경으로 0.272 m, 엔진 최대회전수는 4,200 rpm, 변속비 (transmission ratio)는 3단으로 1이고, 차동기어비 (rear axle ratio)는 3.7이다.

가속주행 소음시험 측정 구간을 50 km로 진입해서 탈출지점의 속도가 56~57 km이므로 식 (5)에서 계산하면 진입시의 엔진 회전수와 탈출시의 엔진 회전수를 얻을 수 있다.

차량에서 발생하는 소음의 기여율 산정은 식 (6)에 의하여 계산된다.

$$소음기여율(\%) = \frac{10^{Li/10}}{10^{Ln/10}} \times 100 \quad (6)$$

여기서 Li 는 초기 상태의 소음 레벨, Ln 은 각 요소의 소음 레벨이며, 소음원의 기여율 산정은 추후 계속 연구할 예정이다.

III. 실험방법

본 실험은 정지 차량의 엔진 및 흡·배기계에서 발생하는 방사소음을 측정하여 주된 소음원의 음향 방사특성에 대해 연구하고, 향후 진행될 가속주행 소음시험의 기초 자료로 활용함에 목적이 있다. 그러므로 차량이 가속주행 소음시험 측정구간을 통과할 때 진입과 탈출 지점의 엔진 회전수 대역으로 구분하여 차량 진행 방향의 왼쪽과 오른쪽에서 음향 인텐시티를 측정하고, 정지 차량의 방사소음 지향성을 측정하여 가속주행 시험의 차량 측정위치에서 발생하는 주된 소음원의 선행 데이터를 추출할 수 있다.

Fig.2는 음향 인텐시티 시험에서 사용된 격자와 차량

의 개략도를 나타낸 것이다. 시험에 사용된 격자는 가로 4.5 m, 세로 1.2 m 이며, 한 메쉬의 크기는 0.3 m 간격으로 격자를 나누어 15 X 4 개의 지점에서 데이터를 인텐시티 탐침자를 이용하여 음압을 측정하였고, 이 데이터는 디지털 테이프 레코드에 기록하였다. 5,000 Hz까지를 관심 주파수로 잡았을 때 음원으로부터 측정점까지의 거리가 관심 주파수의 1/4 파장 보다 작은 크기 이므로 문제가 되지는 않는다. 차량의 옆면에서 격자까지의 거리는 0.5 m 였고, 계측은 1/4 인치

콘덴스 마이크로폰을 사용하였고 마이크로폰의 간격(space)은 6 mm로 하여 주파수 한계는 10 kHz이다.

Fig.3은 가속주행소음 시험 측정구간을 차량이 통과할 때와 같은 조건을 만들기 위해 마이크로폰의 측정

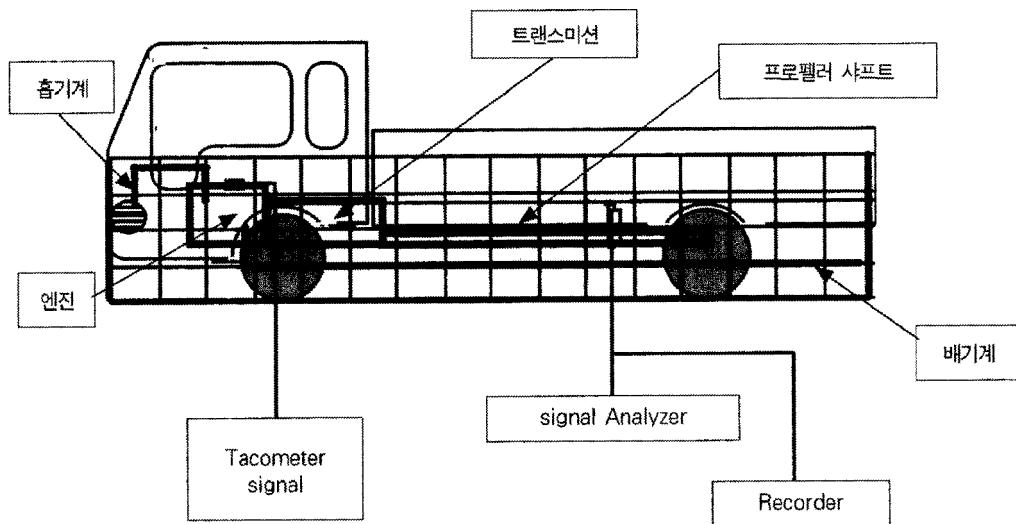


그림 2. 정지 상태의 옴의 새기 측정을 위한 개략도

Fig. 2 Schematic diagram for measurement of sound intensity in stationary vehicle.

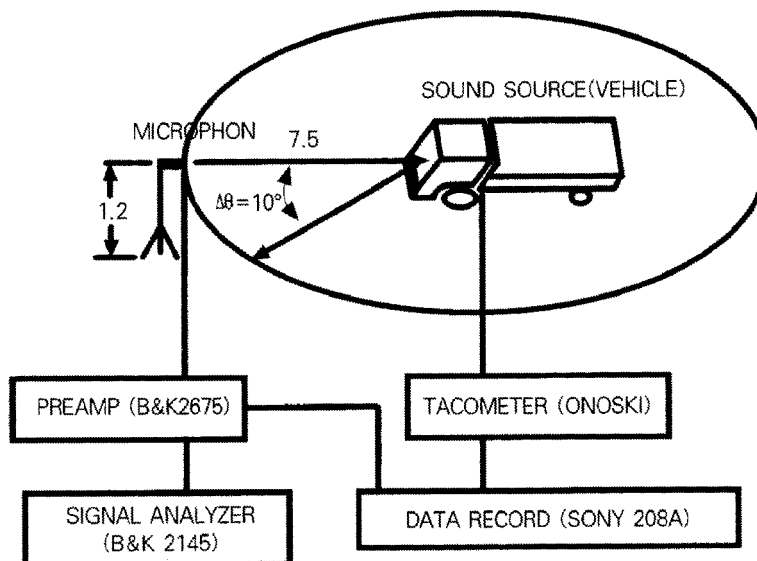


그림 3. 정지 차량에서 소음 방사 측정을 위한 개략도

Fig. 3 Schematic diagram for measurement of noise radiation in stationary vehicle.

위치를 차량 중앙에서 7.5 m 떨어지고, 지면과 1.2 m 높이에 설치하여 데이터를 추출하였다. 시험 차량은 공차상태로 측정 구간을 급가속 (wide open throttle)으로 통과하게 되어있으며, 본 시험은 차량은 정지시킨 아이들 회전수 (idle rpm) 상태에서부터 시험을 시작하여 가속주행소음 시험을 실시할 때 측정구간 진입시의 엔진의 회전 속도인 2,800 rpm과 최대 부하를 받고 있는 상태인 3,200 rpm 대역으로 나누어 측정하였다.

엔진 회전수 (engine rpm)는 회전계측기 (tachometer)를 이용하여 디지털레코드에 기록하여 실험실에서 분석기 (analyzer system)로 분석하였다. 측정점인 마이크로폰을 고정시키고 음원의 위치를 일정한 각도로 변화시키는 일반적인 방법은 음원이 큰 관계로 사용이 어려워 본 실험에서는 음원을 고정시킨 상태에서 마이크로폰의 위치를 10.씩 변경하여 시험을 진행하였다. 실험 중 측정 지점인 마이크로폰의 위치가 바깥에 따라

발생하는 오차를 줄이기 위해 마이크로폰 3개를 동시에 설치하여 12회에 걸쳐 36개 측정지점의 데이터를 취득하였다.

IV. 결과 및 분석

가속주행시 전체 소음 기여도의 50% 정도를 차지하는 엔진 및 배기계의 근접방사 소음을 음향 인텐시티 방법으로 측정하여 음원의 지향특성을 해석하고, 방사 소음 주파수에 따른 스펙트럼 (spectrum)을 분석하였다.

Fig.4는 소음방사 형태를 2차원 등고선 형태로 나타낸 결과이며, (a)는 정지 상태의 엔진 회전수가 2,800 rpm 일 때 차량의 왼쪽에서 측정한 소음방사를 나타내

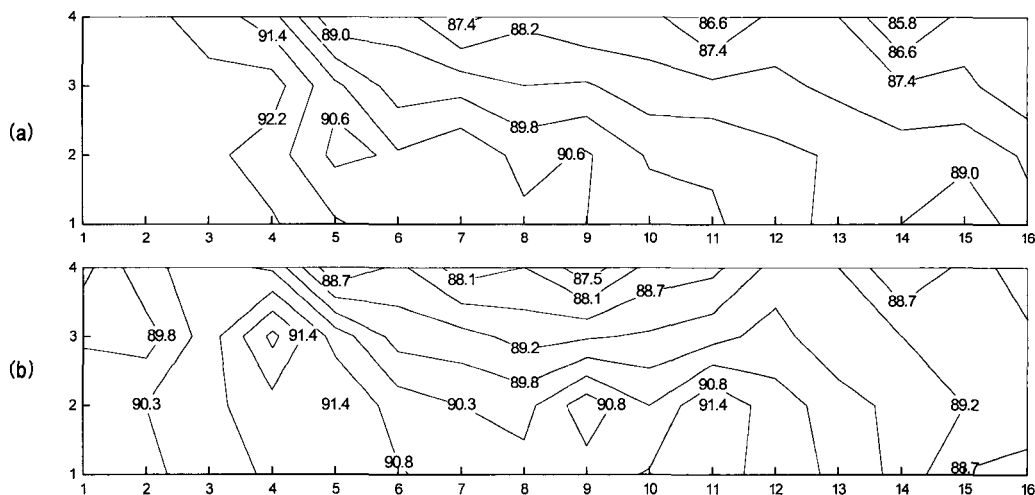


그림 4. 2,800 rpm에서 음압 수준 (a)왼쪽, (b)오른쪽
Fig. 4 Sound pressure level in 2,800 rpm (a) the left side, (b) the right side

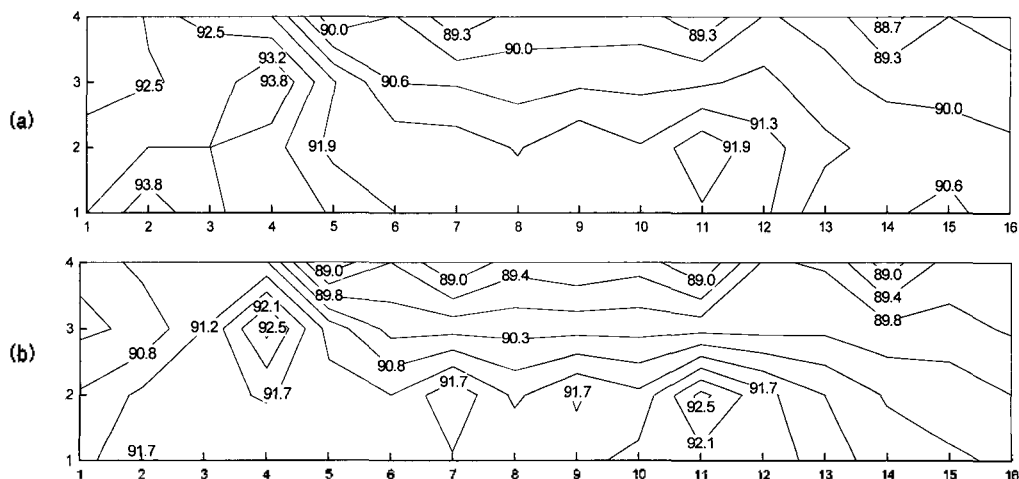


그림 5. 3,200rpm에서 음압 수준 (a) 왼쪽, (b)오른쪽
Fig. 5 Sound pressure level in 3,200 rpm (a) the left side, (b) the right side

고 있으며, 엔진 부위에서 많은 소음이 흘러나오고 있다. Fig. 4의 (b)는 오른쪽에서 근접 소음을 측정된 결과로 엔진 부위와 함께 배기 파이프에서도 소음의 방사가 크게 나타나고 있다.

Fig. 5의 (a), (b)는 엔진 회전수가 3,200 rpm 일 때 차량의 왼쪽과 오른쪽에서 측정된 소음 방사 등고선도로 엔진에서의 소음 방사가 주변의 소음 값과의 차이가 약 3 dB(A) 이상의 차이가 나타나고 있다. 이는 방사 소음의 에너지 밀도가 약 2배 이상 차이를 보이며 방사되고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 왼쪽의 소음 방사가 크게 나오고 있는데 이는 향후 진행될 가속주행소음 시험 에서도 왼쪽의 소음 크기가 크게 나올 것으로 추정된다.

Fig. 6은 정지 차량에서 방사되는 소음을 측정된 결과로 차량 기본 상태의 근접 방사 소음시험의 방향성은 정면을 0. 로 했을 때 0, 50, 140, 230, 320. 에서 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이로부터 근접소음 시험에서 상대적으로 크게 측정된 앞 타이어 (tire) 부분의 소음의 방향성은 50. 로 방사되는 양이 크고 엔진과 동력 전달계인 변속기 아랫부분의 소음 방향성은 뒷면 140. 로 방사되는 지향성을 보이고 있다. 앞쪽 부분에서 소음이 크게 발생하는 것은 양쪽 측면 소음을 측정하는 가속주행소음 측정에 크게 영향을 미치지 않으나, 앞 타이어 왼쪽 부위에서는 차음재의 추가 적용이 필요함을 알 수 있다. 가속주행소음에 크게 영향을 미치는 오른쪽의 140. 부분에서 의 소음이 다른 부위의 소음에 비해 상대적으로 크게 나타나고 있는데, 가속주행소음을 더 효과적으로 줄이기 위해서는 동력 전달계에 흡

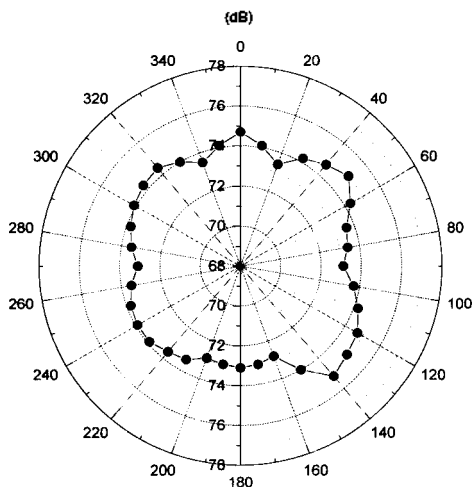
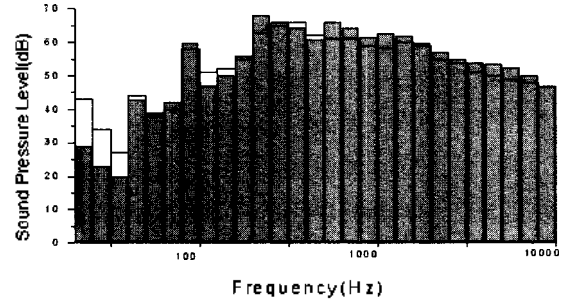
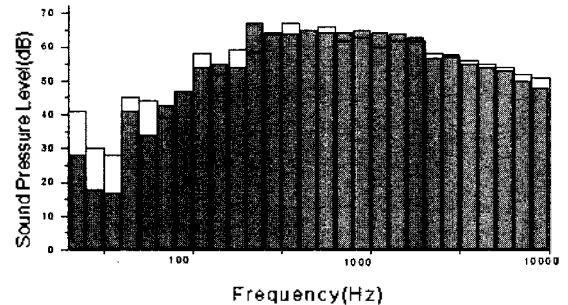


그림 6. 차량으로부터 방사된 음압의 방향성
Fig. 6 Directivity patterns of radiated sound pressure due to the vehicle (In the A-Weighted).

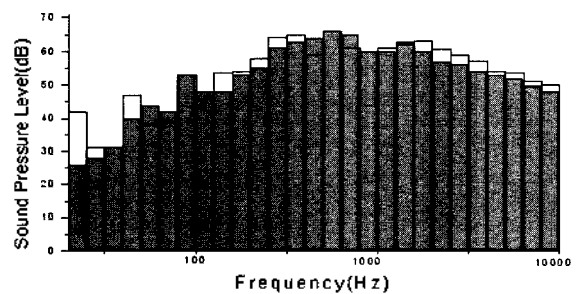
음재와 함께 차음재가 적절하게 설계 적용되어 방사 소음의 방향을 바꿀 필요가 있음을 알 수 있다.



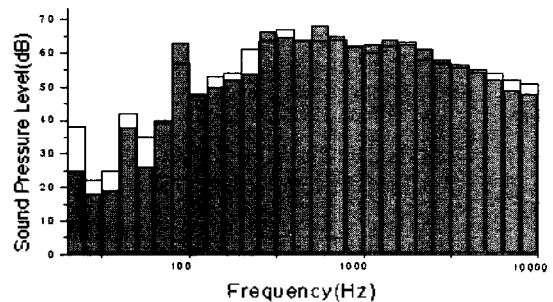
(a) 0° and 180°



(b) 45° and 315°



(c) 90° and 270°



(d) 135° and 225°

그림 7. 각 방향에서 음압의 주파수 특성
Fig. 7 Frequency characteristics of the sound pressure each direction.

(a) 0° and 180° (b) 45° and 315°
(c) 90° and 270° (d) 135° and 225°

Fig.7의 (a), (b), (c) 및 (d) 는 차량 기본 상태의 각 측정 지점에서 소음 방사 형태를 주파수 분석한 것으로 (a)의 0. 는 차량의 앞쪽 위치로 200 Hz에서 400 Hz 대역의 주파수 성분이 크게 나오고 있으며, 180. 는 차량의 뒤쪽으로 배기 파이프 끝 (exhaust tail pipe)에서 방사되는 소음 으로 400 Hz 주파수 성분은 있으나 측정지점의 마이크로폰의 음압에는 영향을 적게 미치고 있다. (b)는 차량 오른쪽과 왼쪽 앞 타이어 부근인 45. 와 315. 에서 측정한 데이터로 250 Hz에서 2,500 Hz 까지 광범위한 주파수 대역이 균일하게 지배하고 있으며, 엔진에서 방사되는 소음이 많은 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 45. 위치의 25 Hz에서 250 Hz까지의 저주파 성분은 흡기계가 위치 한 부분으로 공기가 흡입되며 발생한 소음의 영향으로 보인다. (c)는 차량 중심의 왼쪽과 오른쪽 위치로 400 Hz에서 800 Hz의 주파수 대역이 피크를 보이지만 Fig.6의 결과와 비교하면

소음 방사의 형태에서 보여주는 음압은 가장 작게 나타나고 있다. 이것은 가속 주행소음 측정지점의 위치가 차량의 방사 소음원인 엔진과 배기계의 중앙에 위치하여 크게 영향을 받지 않고 있기 때문이다. (d)는 뒤쪽 타이어 부근에서 측정한 데이터로 225°는 소음 측정지점 중에 최고의 음압을 나타내는 위치로 800 Hz 대역의 주파수가 최고값을 나타내고, 100 Hz 성분도 많은 기여를 하고 있다.

Fig.8의 (a)~(d)는 선택된 몇 개의 주파수의 방사 소음값을 보여주고 있다. 시험 차량을 평면도의 형태로 위에서 본 모습을 나타내고, 0° 위치가 차량의 앞 부분을 180. 위치는 차량의 뒷

부분을 나타내고 있다. (a)는 100 Hz에서 의 지향성을 나타내고 있으며, 전체적으로 각 방향의 음압은 크지 않으나 차량의 오른쪽 뒷부분인 140° 위치에서 상대적으로 큰 지향특성을 보이고 있다. (b)는 315 Hz 주파

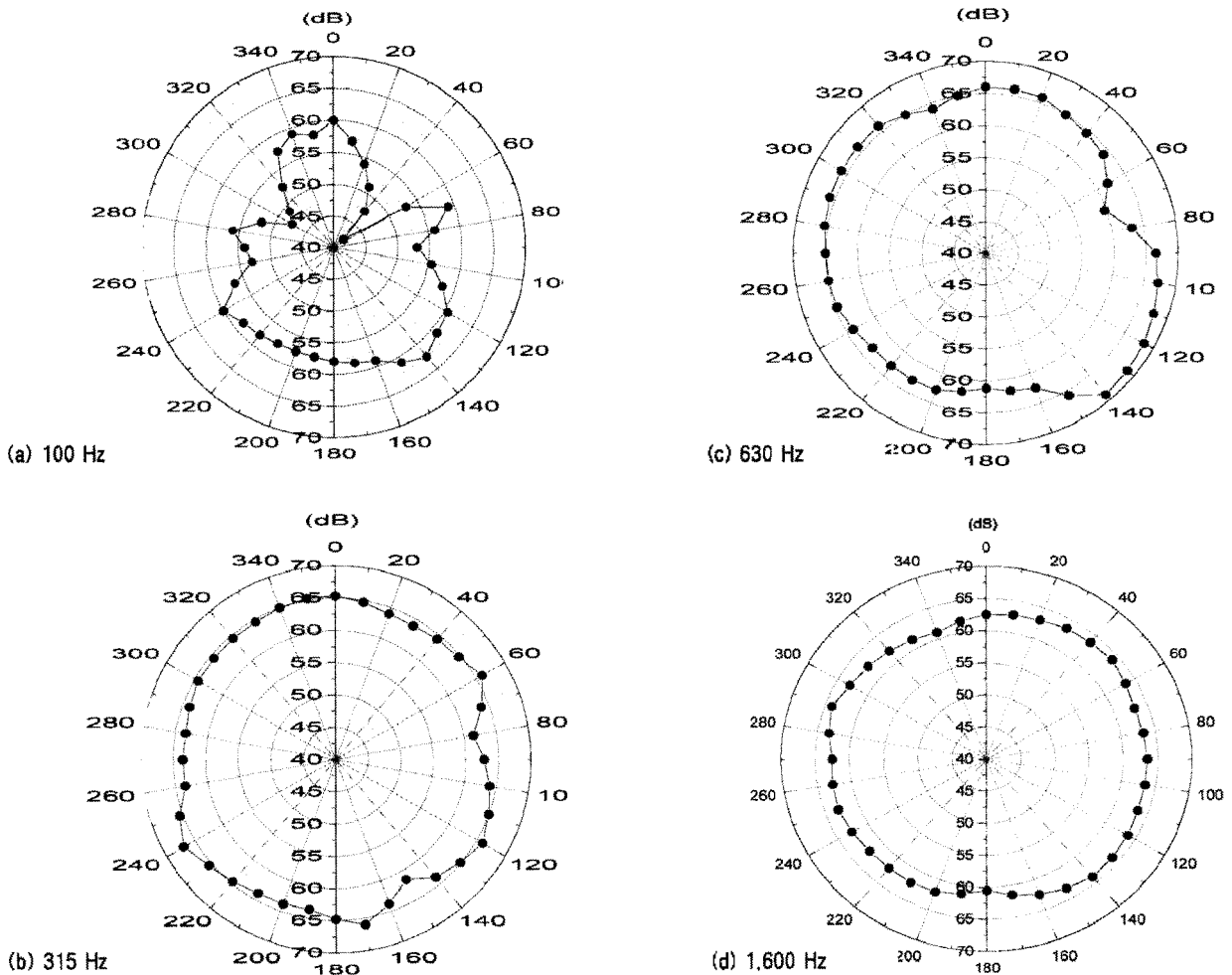


그림 8. 차량에서 방사된 음압의 지향특성

(a)100 Hz, (b)315 Hz, (c)630 Hz, (d)1,600 Hz

Fig. 8 Directivity patterns of radiated sound pressure due to road vehicle.

(a)100 Hz, (b)315 Hz, (c)630 Hz, (d)1,600 Hz

수 특성으로 전체적으로 균일한 음압이 방사되지만, 엔진 오른쪽 옆면인 60° 위치와 배기계의 뒷부분인 120°, 240° 위치에서 다소 높은 지향 특성을 보인다.

(c)는 630 Hz에서 지향 특성으로 배기계의 뒷부분인 100, ~ 140. 에서 높은 지향특성을 나타내고 있으며, 음압이 작은 위치와 10 dB의 차이를 보인다. (d)는 1,600 Hz의 지향특성을 나타내고 있으며, 전체적으로 균일한 방사를 보이고 있다.

V. 결론

가속주행소음 측정 위치에서 정지 차량에서 발생하는 방사소음을 측정하여 지향특성을 해석하였다.

소음방사 형태를 2차원 등고선 형태로 조사한 결과 2,800 rpm에서는 차량의 왼쪽 부위 엔진 부근에서 많은 소음 방사를 보이고, 오른쪽은 엔진 부위와 함께 배기계의 파이프에서도 높은 소음 방사가 발생하였다. 3,200 rpm에서는 엔진의 소음 방사가 주변보다 3 dB 이상 높은 소음 방사를 보였다.

정지 차량의 근접방사 소음의 조사결과 정지차량에서 45. 방향인 앞 타이어부근의 엔진과 135. 방향인 배기계에서 큰 소음방사 현상이 발생하였다. 정지된 차량으로부터 방사되는 음압의 지향특성은 630 Hz 대역은 오른쪽 뒷 타이어 부근에서, 고주파수인 1,600 Hz는 오른쪽 배기계에서 주로 발생하였다. 엔진의 방사소음은 엔진의 뒷부분인 변속기 아랫부분 덮개를 보강함으로 가속 주행소음 시험에서 발생하는 엔진의 소음을 상대적으로 많이 줄일 수 있다. 그리고 차량 기본 상태의 각 측정 지점에서 소음 방사 형태를 주파수 분석한 것으로 전체 모든 방향에서 동일하게 250Hz에서 2,000Hz 사이에서 크게 나타나고 있다.

본 연구의 정지 차량 소음방사 특성에 관한 분석 결과들은 가속주행소음 저감에 응용할 수 있다.

참고 문헌

1. T. Friede, "Noise and vibration problems in commercial vehicle", J. Sound Vib., 5(1), 129~154, 1967
2. Hiroshi Kanda, Minoru Okubo, Tohru Yonezawa, "Analysis of noise sources and transfer paths in diesel engines", SAE 900014, 34~41, 1990

3. H. Drewitz, M. Stiglmaier, "Noise reduction on trucks of 6 to 10t gw through engine encapsulation", Noise Control Engineering Journal, 33(1), 5~9, 1989
4. C. T. Molloy, "Calculation of the directivity index for various types of radiator", J. Acoust. Soc. AM., 20(4), 387~405, 1948
5. R. ZAHG and B. ZHU, "Normal mode sound field of a directional radiator", J. Sound Vib., 119(2), 207~213, 1987
6. A. V. Generalov, "Propagation of sound waves from direction sources near the ground", Sov. Phys. Acoust., 33(6), 581~583, 1987
7. Jun Lan, "A new method of directivity synthesis", J. Acoust. Soc. Am., 82(5), 1692~1695, 1987
8. A. W. Walker, "The effect of the ISO surface on noise pass-by levels", SAE, 85~94, 1990
9. 윤 종락, 배 민자, "차량소음의 동기소음 높이 측정을 위한 마이크로폰 배열 설계", 한국소음진동공학학회지, 5(2), 197~206, 1995
10. Felice E. Corcione, Mario G. Mattia, Rinaldo Paciucci, "Acoustic intensity measurement of noise emission from a light duty T.C.D.I. diesel engine", SAE 891130 49~61, 1989
11. 양 판설, 유 남구, 박 병진, 김 영환, "음향 인텐시티 측정법을 이용한 자동차의 소음방사 특성에 관한 실험적 연구(I)", 한국소음진동공학학회지, 6(6), 843~849, 1996
12. 김재철 등, "한국형 고속 철도에서 방사되는 소음분석", 한국소음진동공학학회지, 12(9), 668~673, 2002
13. 장서일 등, "에어컨 실내기의 방사소음과 실외기의 투과 소음에 의한 환경 소음예측", 한국소음진동공학학회지, 13(1), pp40~47, 2003

저자 약력

• **김 정 락 (Jung-Rag Kim)**

1988년 2월: 계명대학교 물리학과(이학사)
 1991년 2월: 영남대학교 대학원 물리학과(이학석사)
 1995년 8월~현재: 영남대학교 대학원 박사과정
 1991년 9월~1994년 4월: XEROX 기술연구소
 1994년 5월~2000년 12월: 삼성상용차 기술연구소 NVH팀 선임연구원급
 2001년8월~현재: 카스코 기술연구소 제동시험팀 선임연구원급

• **최 명 선 (Myung-Sun Choi)**

현재: 영남대학교 광전자물리학과 교수

• **장 호 경 (Ho-Gyeong Chang)**

음향학회지 제 20권 제 5호 참조