

트럭의 가속주행소음 시험 방법에 따른 소음원의 기여도에 관한 연구

The Rate of Noise Contribution of the Pass-by Noise Test Method in Truck

김 정 락*, 최 명 선*, 장 호 경**
(Jung-Rag Kim, Myung-Sun Choi, Ho-Gyeong Chang)

*영남대학교 광전자물리학과, **경산대학교 전자물리학과
(접수일자: 2003년 6월 11일; 수정일자: 2004년 4월 7일; 채택일자: 2004년 5월 18일)

최근에 개발된 차량은 고성능 고회력 엔진을 탑재하는 경향에 따라, 주행 중 발생하는 외부소음에 대한 민원이 증가되고 있다. 본 시험에서는 법의 규제를 받는 차량 외부에서 발생하는 소음에 대한 소음원 규명을 위하여 납차음법 (lead wrapping method)을 사용하여 정의된 각각의 소음원을 하나씩 열어 가면서 가속주행 소음시험을 실시하여 소음원을 측정하고 기여도를 산출하였다. 시험의 결과를 이용하여 소음저감 대상순서를 설정하였으며, 효과적인 소음저감 대책에 대한 방안을 수립하였다.

핵심용어: 가속주행소음, 납차음법, 소음원 규명, 소음기여율
투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10.2)

Recent trend of installation of highly efficient and high power engine in vehicles has increased complaints about exterior noise being made while travelling. To examine the sources of outer noise of vehicles controlled by regulations, using lead wrapping method, pass-by noise tests have been conducted as opening each defined source one by one. The sources of outer noise have been found and the rate of noise contribution has been produced. The results of the tests have been applied to put noise-reducing objects in the order, and counter plans effective to reduce noise have been devised.

Keywords: Pass-by noise, Lead wrapping method, Identification of the noise source, Noise contribution
ASK subject classification: Noise and Aeroacoustics (10.2)

I. 서론

도로교통 소음은 증가되는 차량의 수에 비례하여 매년 급격히 증가하는 추세이다. 최근에 개발된 차량은 고성능 고회력 엔진을 탑재하는 경향을 띠고 있으며, 이에 흡기계 및 배기계의 공명기 (resonator)나 소음기의 용량도 증대되고 있다. 따라서 차량 주행 중 발생하는 외부소음은 점점 증대되고 있으며 소음에 대한 민원도 증가되고 있다. 따라서 차량 외부 소음에 대한 허용기준은 세계적으로 보다 강화되고 있는 추세이다.

T. Priede는 차량의 소음 진동에 관한 일반적인 문제들을 해결하기 위해[1], A. W. Walker 등은 가속주행소음 수준을 ISO 표면의 효과에 대하여 평가하였고[2], 김준배는 자동차 가속 주행소음 규제와 대책에 관해 연구하였으며[3], D. A. C. Otte는 가속 주행소음 측정기술 개발에 대해 논의하였다[4]. H. Drewitz와, M. Stiglmaier은 대형 차량의 엔진 캡슐화에 의한 소음저감을 연구하였고[5, 6], A. Rust와 F. K. Brandl은 차량 소음 저감을 위한 소음원의 해석 방법에 대해 연구하였다[7]. 이 희준 등은 소음원 규명을 위해 납차음법을 이용하여 대형 차량의 각 소음원의 기여도를 산출하여, 이를 바탕으로 소음저감 대상의 순서를 정하여 효과적으로 대응하는 연구를 하였다[8]. D. R.

Balcombe와 P. J. Crowther는 차량을 개발할 때 최적 해답에 이르기 위한 시험 데이터를 만들 수 있는 이용 방법을 증명하였다[9]. 조대승 등은 자동차의 음향과워 평가를 통하여 고속도로 교통 소음을 예측에 관하여 연구하였고[10], 정 경열 등은 고속전철의 주행소음을 연구 하였다[11].

본 시험에서는 법규의 규제를 받고 있는 차량 외부에서 발생하는 소음에 대한 소음원 규명을 위하여 납차음법 (lead wrapping method)을 사용하여 최적의 차량 상태를 만든 후, 정의된 각각의 소음원을 하나씩 열어 가면서 가속주행 소음시험을 실시하였다. 시험은 20m의 측정 구간을 엑셀페달을 급가속 (wide open throttle)으로 진입하여 탈출지점까지 속도를 증가시키며 소음을 발생시킨다. 시험 구간을 통과할 때 측정 구간의 중앙으로부터 차량 중심에서 7.5m 떨어진 거리에 1.2m 높이에 소음계를 설치하여 각 소음원을 측정하고 기여도를 산출하였다. 차량에서 발생하는 각 소음원의 기여도를 기초로 하여 소음 저감 대상과 순서를 설정하였으며, 효과적인 소음저감 대책에 대한 방안을 수립하였다. 그리고 점차 강화되는 소음 규제에 대비하여 국제 규격인 ISO 362 규정과 EEC 70/157에 의한 시험 방법을 적용하여 진행하였다.

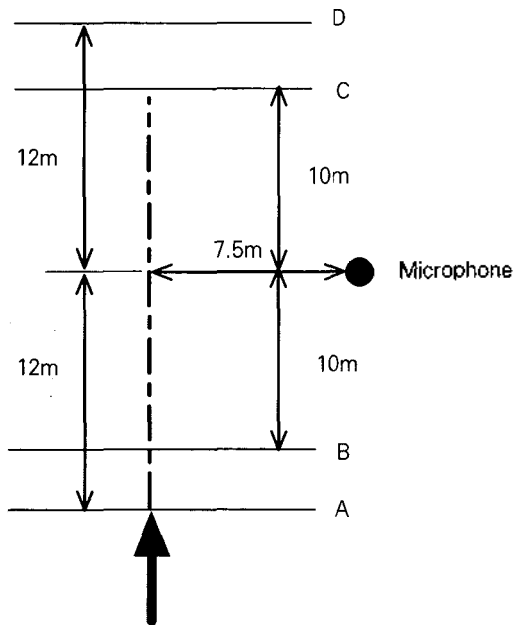


그림 1. 가속주행 소음시험 측정 장치도
Fig. 1 Measurement set up for accelerated pass-by noise test

II. 이론

2-1. 가속주행 소음 법규 및 시험 차량

Fig.1은 국내 법규에 따른 가속주행 소음시험 개략도를 나타낸 것이다. 가속주행 소음의 시험방법은 마이크로폰을 Fig.1에서와 같이 시험구간의 차량 중심으로부터 7.5m 떨어져 지상에서 1.2m 높이에 설치하고, 차량 진행 방향의 우측방향에 지면과 평행하게 설치한다. 차량의 중심과 시험구간의 중심선이 일치된 상태에서 변속기어는 오버런 (over run)이 발생하지 않는 기어단수로 50km/h 또는 최대 출력의 75%에 해당하는 엔진회전수의 속도 중 작은 값으로 진입하여, 가속페달을 완전히 밟아 트로틀 밸브를 모두 연 상태로 20m의 시험 구간을 통과하면 된다. 본 시험 차량의 사용 기어는 3단, 진입 속도는 50km/h 이며 속도 오차는 ± 1.5 km/h 이다. 시험 결과는 2회를 실시하여 최고치 값을 선택한다.

Fig.2는 국제적으로 사용되는 ISO 362나 EEC 70/157 규정에서 사용되는 시험 구간을 표시한 것이다. 측정 지점은 차량 진행 방향의 오른쪽과 왼쪽에서 데이터

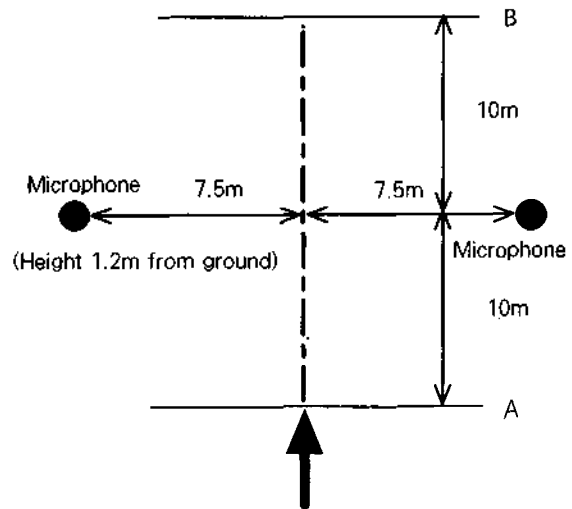


그림 2 ISO 362 가속주행 소음시험 측정 장치도
Fig. 2 ISO 362 measurement set up for accelerated pass-by noise test

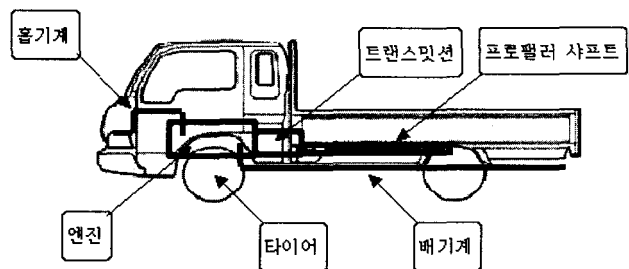


그림 3. 주요 소음원의 배치도
Fig. 3 Layout of main noise source

를 추출하고, 측정구간 진입시 사용하는 기어는 2단과 3단으로 나누어 모두 시험을 진행하고 있다. 진입 속도는 국내 법규와 동일하나 진입 속도 오차는 $\pm 1.5\text{km/h}$ 에서 $\pm 1\text{km/h}$ 로 강화되어 있다. ISO 362는 2단과 3단 기어로 시험 구간을 진입하여 양방향에서 2회 측정된 데이터의 평균치중 높은값을 취하고, EEC 70/157 규정의 시험 결과는 2단과 3단 기어로 시험 구간을 진입하여 양방향에서 2회 측정된 시험 데이터의 최고치중 2단과 3단 평균치에서 1dB(A)를 감해주고 있다. 본 시험에서는 국내법규가 2000년 이후 더욱 강화되는 규제에 대비하기 위해 ISO 362 규정이나 EEC 70/157의 시험 방법 중 진입 속도에 따른 오차를 강화시키고, 측정지점 또한 양방향에 마이크로폰을 설치하여 데이터를 추출하였다.

본 시험에 사용된 차량은 싱글캡 사양이며 총 중량(GVW)이 3055kg이다. 배기량이 2633cc인 MD30 엔진을 사용하였으며, 수동 5단 트랜스미션이 장착된 상태이다.

2-2. 납차음 시험법

Fig.3은 본 실험의 주요 소음원의 배치도를 나타낸 것으로 주행 중 차량에서 발생하는 소음을 엔진, 트랜스미션 (transmission), 배기계 (exhaust system), 흡기계 (intake system) 및 프로펠러 샤프트 (propeller

shaft) 등으로 흡차음 대책을 적용하여 차량의 음원을 완전히 차폐 (shielding)한 다음 한 부분씩 제거하면서 소음을 측정하였다. 각 소음원의 차폐를 제거한 경우 소음 레벨과 기여율은 다음 식들로 계산하였다.

(1)식에서 L은 음원의 소음 레벨, L0는 모든 부분을 차폐한 상태에서 소음 레벨, L1은 구하는 음원의 차폐를 제거한 상태에서 소음 레벨이다.

$$L = 10 \log_{10} (10^{\frac{L_1}{10}} - 10^{\frac{L_0}{10}}) \quad (1)$$

(2)식은 소음 기여율이며, L_i는 초기 상태의 소음 레벨, L_n은 각 요소의 소음 레벨이다.

$$\text{소음 기여율 (\%)} = \frac{10^{\frac{L_i}{10}}}{10^{\frac{L_n}{10}}} \times 100 \quad (2)$$

소음 기여율이 높은 순서로 해당 부분을 차폐하여 목적하는 소음 수준을 얻을 수 있다.

흡차음 구조물이 적용되지 않는 상태의 초기 가속주행 소음시험을 실시하여 차량의 상태를 평가하고, 다음으로 엔진, 흡기계, 배기계, 구동계인 트랜스미션, 프로펠러 샤프트 등에 흡차음 대책을 적용하고 타이어의 효과도 고려되도록 하여 소음 측정을 한 이것을 기본상태, 즉 베이스 라인 (base line)이라 하였다.

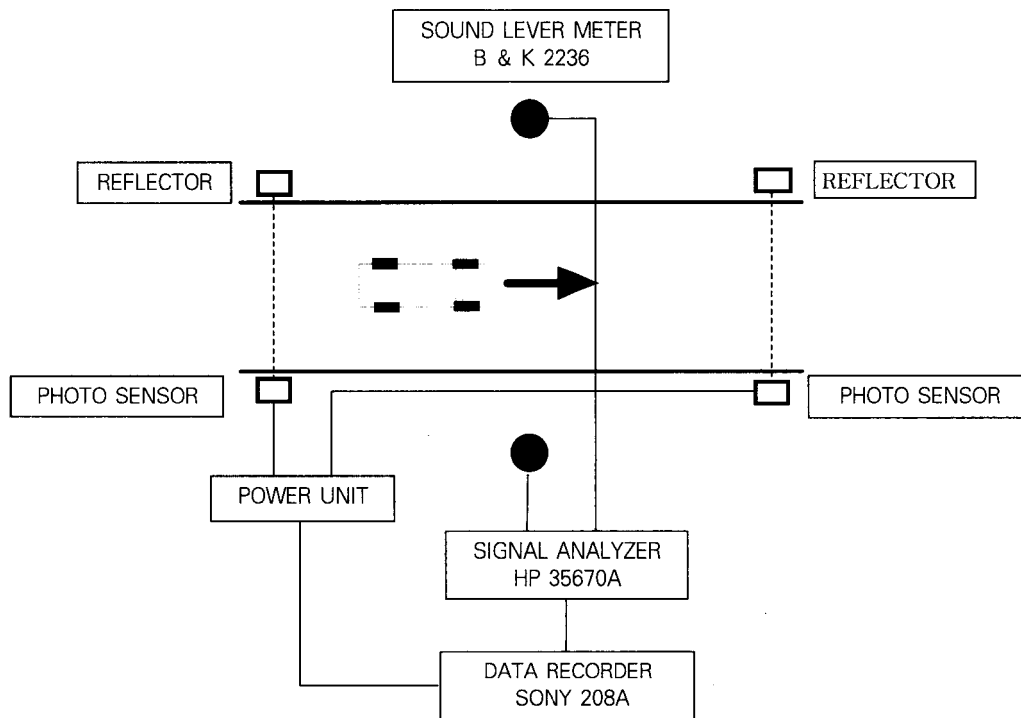


그림 4. 가속주행 소음시험 장치도
Fig. 4 Layout pass-by noise test

III. 실험방법

본 시험에서는 법의 규제를 받고 있는 차량 외부에서 발생하는 소음에 대한 규명을 위하여 납 차음법을 사용하여 최적의 차량 상태를 만든 후, 정의된 각각의 소음원을 하나씩 열어 가면서 각 소음원의 기여도를 산출하였다. 그리고 차량에서 발생하는 각 소음원의 기여도를 기초로 하여 소음 저감대상과 순서를 설정하였다.

Fig.4는 시험 장치도를 나타내고 있으며, 가속주행 소음시험 중 분석을 위해 필요한 데이터는 시험 구간 내에서의 차량 위치와 진입속도, 엔진 회전수처럼 시험 차량에 관한 것과 시간에 따라 변화하여 발생하는 소음의 크기와 진입, 탈출 지점의 트리거(trigger) 신호처럼 차량 외부의 정해진 위치에서 얻을 수 있는 것이 있다.

본 시험에서 소음원 정의는 소음저감의 주된 방법이 소음원 차폐라고 간주하여 차폐 설계가 가능한 부분을 중심으로 하여 엔진, 흡기계, 배기계, 타이어 및 구동계(트랜스미션과 프로펠러 샤프트)로 분류하였다.

엔진과 트랜스미션 부위는 기존 흡차음재로 사용된 아랫쪽 덮개(under cover)와 흡음재로 사용된 유리섬유를 모두 탈거하고 납차음을 실시하였다. 두께 1.0t의 얇은 납 판(lead sheet) 및 두께 50mm 유리섬유를 주재료로 사용하였다.

배기계의 기류음(orifice noise)을 제거하기 위해 기존 머플러(muffler) 체적의 2배가 되고, 두께 2t인 추가 소음기 2개를 제작하여 기존의 최종 파이프(tail-pipe)에 연결하여 적재함(deck) 뒷쪽에 올려 고정시켰다. 배기계 방사음(shell noise) 제거를 위해 소

음기(silencer)를 유리섬유로 흡음 처리를 하여 밴드 클립으로 고정 시켰다.

흡기계는 공기청정기관(air cleaner duct)으로 공기가 흡입될 때 발생하는 공기 흐름의 소음저감을 위해 흡기 다기관(intake manifold)을 탈착하고 5m 길이의 호스를 연결하여 적재함 뒷쪽으로 올려 고정하였다.

프로펠러 샤프트의 처리를 위해 1.4t 제진 강판을 사용하였고, 전용 흡차음 구조물 바깥 부분에 유리섬유로 얇게 흡음 처리한 뒤 납 차음을 실시했다.

라디에이터(radiator)는 탈거하여 적재함 왼쪽 측면에 부착하였다. 이것은 소음 측정구간 통과할 때 팬(fan) 소음 영향을 없애기 위해서였다. 냉각 팬의 소음을 제거하지 않으면 실험 오차가 더욱 커지게 되므로, 실험 차량의 라디에이터와 팬을 제거하고 2000cc급 승용차의 전동 모터가 부착된 냉각시스템을 실험 차량의 적재함 좌측 부분에 별도로 설치하였다.

IV. 결과 및 고찰

Fig.5는 각 소음원이 실험 측정구간을 통과할 때 차량의 위치에 따른 음압 레벨의 최대 오버올(maximum overall) 값을 오른쪽과 왼쪽으로 구분하여 나타낸 것으로, 가속주행소음 측정 구간에서 마이크로폰 측정 지점을 지난 4~5(m)에서 최대 음압이 나타나는 것은 움직이는 소음원에 대한 도플러효과로 판단되며 왼쪽보다 오른쪽에서의 음압이 높게 나오고 있으므로 이 지점에서의 음압 레벨을 저감해야 한다.

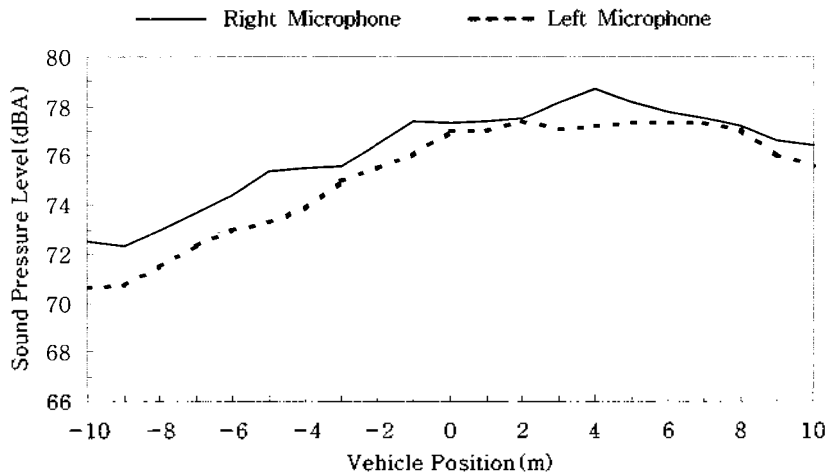
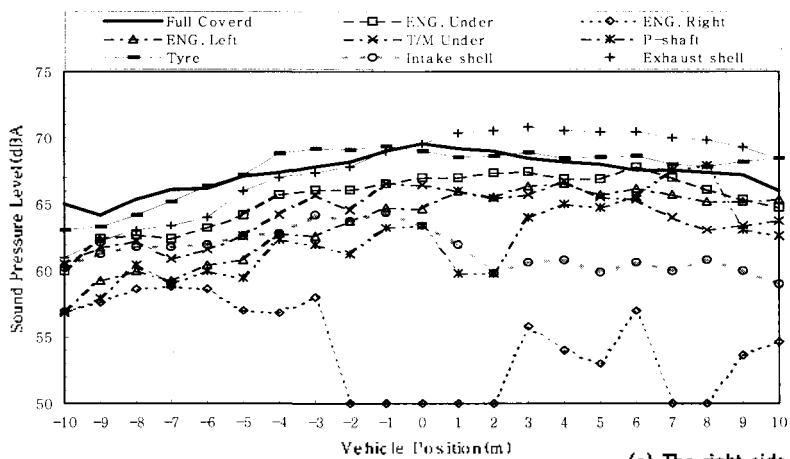


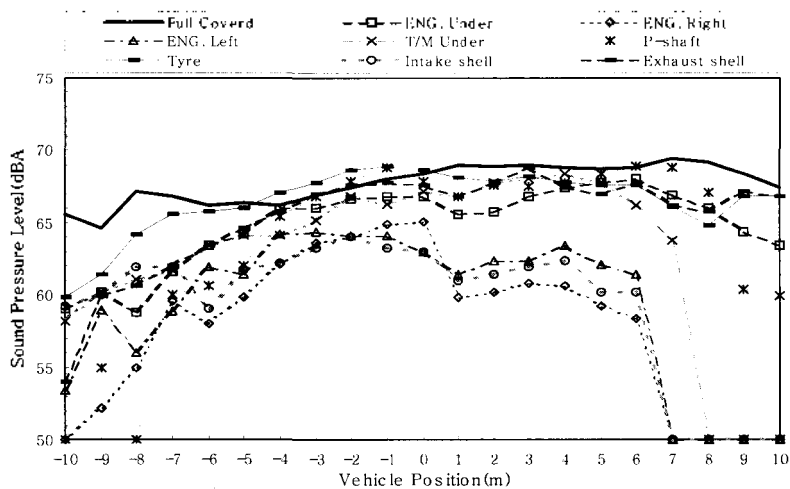
그림 5. 음압 수준과 거리 함수로 오버올 데이터
Fig. 5 Overall sound pressure level & distance as a function

Fig.6의 (a),(b)는 모든 음원을 차단한 상태 (best condition)를 포함한 모든 음원과 그 각각의 음원 값을 모두 합하여 계산한 값 (calculated) 그리고 납 차음을 완전히 제거한 상태 (full open state)의 음압 수치를 나타내고 있다. 모든 음원을 차단한 상태는 오른쪽과 왼쪽 모두 납 차음을 완전히 제거한 상태보다 9dB(A) 정도 낮은 값을 나타내고 있으므로 납 차음을 완전히 제거한 상태의 음압 레벨에 대하여 암소음으로 간주할 수 있고, 각 소음원의 음압 레벨 산술 합산 시에 중복되는 암소음을 제거하여 계산하였다. 계산치와 납 차음을 완전히 제거한 상태의 음압 레벨과는 최고치 지점인 마이크로폰을 지난 4~5(m) 지점에서 약 1dB(A)오차가 발생하고 있다. 이 오차는 납 차음 실험에서 발생하는 부수적인 현상으로서, 납을 사용함으로써 진동 소음원의 질량증가 원인이 되었다. 5cm 두께의 흡음재로 소음원을 감싸면서 차실 및 차체와의 간극을 좁히게 되어 각

소음원 측정 시에 측정대상 소음원을 차폐시키는 역할을 하고, 납차음에 의한 엔진의 온도 상승으로 인하여 흡기 온도도 상승을 초래하여 엔진 연소소음 특성도 상당히 변하게 된다. 배기계의 구조기인 소음 (structure bone noise)은 프로펠러 샤프트의 납 차음 부위에 가려지게 되어 오른쪽에서 측정된 값은 실제 음원 크기보다 작게 측정된다. 이러한 원인은 소음원들의 합을 납 차음을 완전히 제거한 상태보다도 작게되는 원인이 된다. 그 반대로 음원 측정시마다 개폐하는 음원의 면적을 정확히 할 수 있는 재현성의 부족으로 경험에 의해 시행하고 있는 문제로 각각 측정된 음원면적 합이 실제음원 표면적보다 커지게 되어 음원들의 합이 납 차음을 완전히 제거한 상태 음압 레벨 보다 커지게 되는 원인이 된다. Fig.6의 소음 기여도가 가장 큰 것은 배기계이고, 그 중에서도 배기계 구조인 소음이 대부분을 차지하고 있다. 시험 차량의 배기계는 왼쪽으로 치우쳐 있고, 프



(a) The right side



(b) The left side

그림 6. 최대소음 방사 위치에서의 소음원 기여도
(a) 오른쪽 (b) 왼쪽

Fig. 6 Source ranking in maximum noise radiation position
(a) The right side (b) The left side

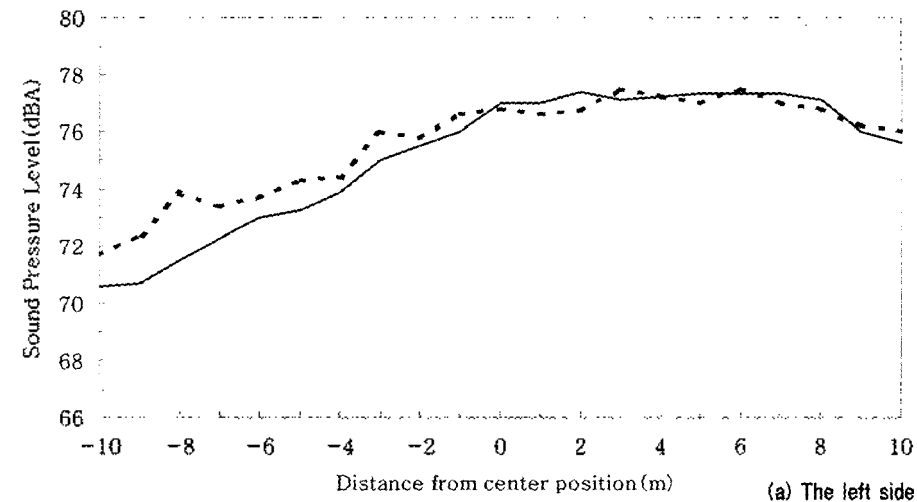
로벨러 샤프트, 엔진, 트랜스미션의 중심부를 납 차음했을 때 왼쪽에 대한 소음원 차폐 역할을 하므로 오른쪽의 음압 레벨이 작을 수밖에 없다. 그리고 엔진의 왼쪽 부분도 엔진 윗부분과 뒷부분을 통해서 전달되는 소음이 차단되므로 크기가 작게 나타난다. 납 차음으로 인한 차량의 무게증가와 엔진 과열효과를 고려하여 모든 음원의 크기를 증가시키기 위해 음원을 차단한 상태 값을 0.4dB(A) 감소시키고, 배기계 방사음 크기를 0.5dB(A) 증가시켰다. 증가시킨 양의 합은 시행오차 방법 (trial and error)으로 경험적 보정치를 바탕으로 최대치에서의 데이터를 보정하였다.

Fig. 7의 (a)는 왼쪽에서 측정한 소음원의 음압수치를 나타내고 있다. 계산된 값과 납차음을 완전히 제거한 상태 값의 오차가 0.2dB(A) 정도로서 매우 정확한 실험 값처럼 나타나 있지만, Fig. 7의 (b)에서 보면 오른쪽에

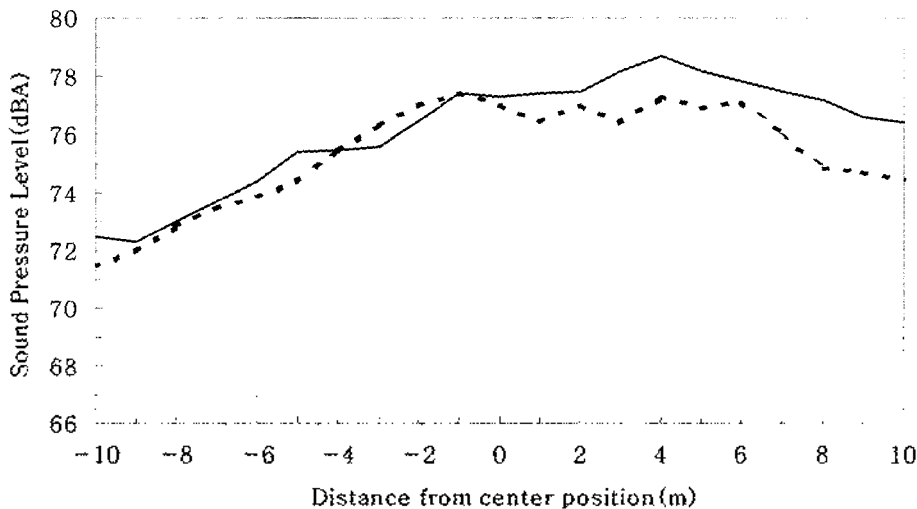
서 측정한 경우 측정구간 내에서는 오차의 폭이 작지만 0(m) 이후의 측정치는 음원 합산치가 약 1dB(A) 작은 분포를 나타낸다.

Fig. 8은 시험차량이 소음 측정 구간을 통과할 때 오른쪽과 왼쪽에서 측정된 각 음원의 기여도를 나타내고 있다. 엔진은 전체 소음 중에서 오른쪽, 왼쪽 모두 27%를 차지하며, 엔진의 경우 오른쪽과 왼쪽 그리고 아래쪽에서의 소음이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 엔진의 왼쪽이 오른쪽보다 소음 기여도 수준이 약간 크게 나타나는데, 이러한 원인은 엔진 자체

의 특성과 시험 차량의 흡차음 구조적 특성으로 나타나며, 차음성능이 우수하고 경제성이 뛰어난 플라스틱 재질 및 다공질 형의 구조를 가진 흡차음재의 사용으로 소음을 저감시킬 수 있다. 엔진 아래쪽은 오른쪽과 왼쪽이 10%로 동일하며, 이는 주로 엔진 하부에 위치한



(a) The left side



(a) The right side

그림 7. 차량 위치 대비 소음값의 그림
(a)왼쪽 (b)오른쪽

Fig. 7 Plot of noise level versus vehicle position
(a) The left side (b)The right side

오일 팬이 주 원인이라 할 수 있고, 오일 팬의 방사소음은 두 장의 강판사이에 점탄성 물질을 적용한 적층 강판 (laminated steel)이나 리브 (rib) 추가로 강성 보강으로 감소시킬 수 있다. 흡기계는 오른쪽이 7%, 왼쪽이 3%를 나타내어 비교적 기여도 수준이 작은 편이고, 시스템이 전반적으로 오른쪽 전면에 치우쳐 있고, 공기청정기 (air cleaner)가 조수석 밑에 있는 관계로 오른쪽의 기여도가 더 크게 나왔다. 이것을 좀더 상세하게 보면 흡기계의 기류음 기여도는 오른쪽이 3%, 왼쪽이 1%이고, 방사음은 오른쪽이 4%, 왼쪽이 2%로서 기류음보다

상대적으로 더 크고 공기청정기 구조기인 소음의 영향이다. 배기계에서는 오른쪽이 19%, 왼쪽이 29%의 기여도로 높은 기여도를 보이고 있어 개선이 필수적으로 필요하다. 배기계 방사음의 기여도는 오른쪽과 왼쪽이 각각 15%, 22%이며 왼쪽에서 발생하는 세부 음원별 기

여도 순위가 가장 높으므로 매우 심각한 상태이고, 배기 파이프 (exhaust pipe)의 두께 개선 및 소음기의 내부와 벽면에 내열성이 강하고 흡음율이 높은 흡음재 추가로 소음을 감소시킬 수 있다. 구동계는 트랜스미션과 프로펠러 샤프트로 정의하여 기여도를 산출하였다. 트랜스미션은 오른쪽이 19%, 왼쪽이 9%로서 오른쪽과 왼쪽이 비대칭 현상을 나타내고 있다. 트랜스미션 아래쪽에서 오른쪽이 12%, 왼쪽이 8%의 기여도를 나타내며, 윗쪽은 오른쪽이 7%, 왼쪽이 1%이다. 트랜스미션 윗쪽은 아래쪽보다 상대적으로 2dB (A) 정도 높게 나타나는 데 이러한 이유는 차량 형상에서 볼 때 적재함이 터널형 차폐 구조로 둘러싸는 역할을 하는 효과로서 윗부분의 면적이 차시 (chassis)에 가려져 있기 때문이다. 트랜스미션의 내부가 대칭이라 차체 구조의 비대칭을 통해서 좌, 우 차이점을 분석 할 수 있다. 프로펠러 샤프

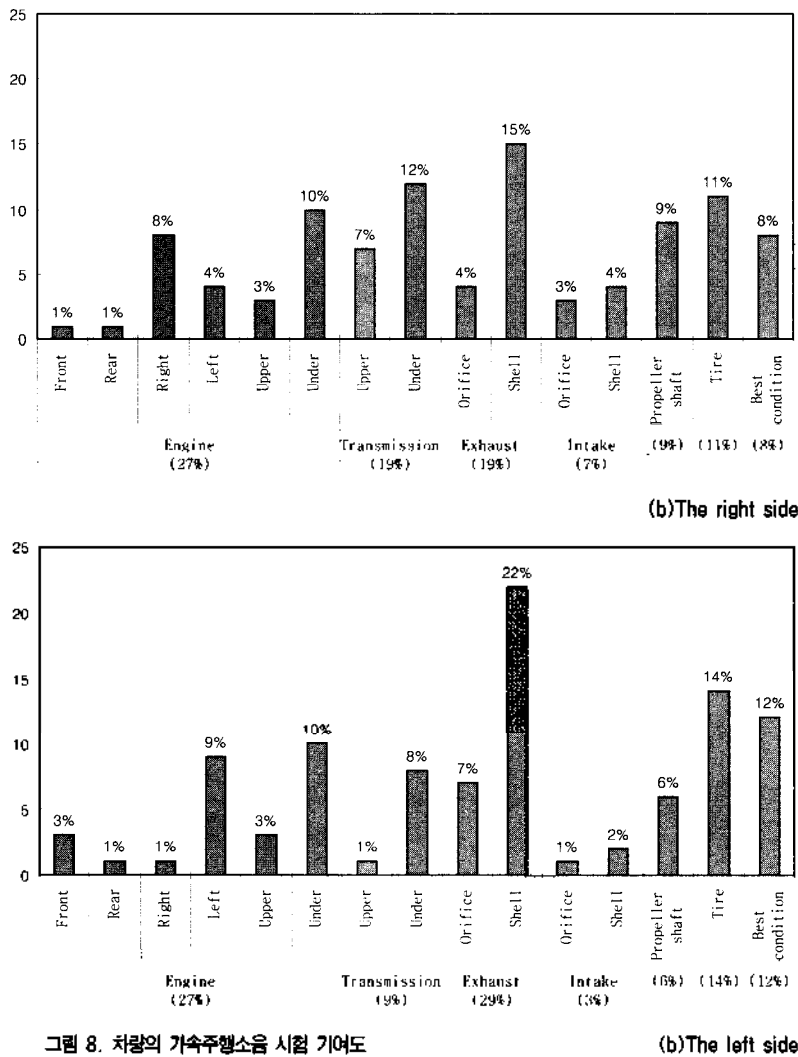


그림 8. 차량의 가속주행소음 시험 기여도 (a)오른쪽 (b)왼쪽

Fig.8 Contribution of different to pass-by noise test of a vehicle (a)The right side (b)The left side

트는 오른쪽이 9%, 왼쪽이 6%의 기여를 보이고 있다. 개별 소음원으로 볼 때 상대적으로 높은 기여를 보이거나 이것은 Fig. 6(a)에서와 같이 프로펠러 샤프트의 최대 소음 발생 위치는 마이크로폰 1(m) 전과 6(m) 후의 위치에서 나타나고 있다. 따라서 프로펠러 샤프트 소음은 심각한 수준은 아니며, 다른 소음원을 저감했을 때 상대적으로 소음 기여도가 증가할 대상이 된다. 타이어는 오른쪽이 11%, 왼쪽이 14%를 나타내고 있으나 업체의 고유 개발 특성과 성능 및 다른 부분과의 문제점 발생으로 추가 논의 없이 진행하였다.

V. 결론

점차 강화되는 국제 규격인 ISO 362 규정과 EEC 70/157에 의한 방법을 적용하여 차량에서 발생하는 소음원의 기여도를 납차음 법으로 실험을 실시하였다.

가속주행소음 측정 구간의 마이크로폰 측정 지점을 4~5m 지난 지점에서 최대 음압이 발생하고, 오른쪽에서 높게 나오고 있으며 이 부분의 결과를 주파수 분석하였다.

최대음압 방사 위치의 오른쪽에서 각 소음원 기여도는 배기계의 방사음, 엔진의 아래 부분과 프로펠러 샤프트가 주된 소음원으로 나타나고 있다. 측정 구간의 소음 최대치 구간인 4~5 m 구간에서 각 소음원의 기여도는 엔진이 오른쪽과 왼쪽 모두 27%를 나타내고 있으며, 이것은 일반적으로 엔진이 차지하는 40~50% 보다 낮은 수치이고, 배기계 방사음이나 엔진 아랫 부분에 소음 저감 대책을 적용하여야 할 것으로 판단되어진다. 시험의 정확성을 확인하기 위해 납차음을 완전히 제지한 상태와 각 소음원이 기여한 모든 소음값을 계산하여 합한 결과는 유사하며 큰 오차가 발생하지 않았다.

소음원의 가장 큰 기여를 가지고 있는 엔진과 배기계의 방사소음 대책으로 여러 가지가 있으며, 차음성능이 우수하고 경제성이 뛰어난 플라스틱 재질 및 다공질의 구조를 가진 흡 차음재의 사용과 배기 파이프(exhaust pipe)의 두께 개선, 소음기의 내부 및 벽면의 흡음재 추가는 가속주행소음의 저감대책으로 활용될 수 있다.

참고 문헌

1. T. Priede, "Noise and vibration problems in commercial vehicles," J. Sound Vib. 5(1), 129~154, 1967
2. A. W. Walker, "The effect of the ISO surface on noise pass-by level," SAE, 86~97, 1993
3. 김준배, "자동차 가속 주행 소음규제와 대책," 한국소음진동공학학회지 5(2), 158~162, 1995
4. P. J. G. Van del Linden, D. A. C. Otte, "Diagnosis of pass-by noise of road vehicle," SAE, 99~108, 1993
5. A. R. Cawthorne, J. W. Taler, "The transport and road research laboratory quite heavy vehicle project," SAE, 315~340, 1979
6. H. Drewitz, M. Stiglmaier, "Noise reduction on trucks of 6 to 10t gvw through engine encapsulation," SAE, 33(1), 1989
7. A. Rust, F. K. Bran0, "Proven strategies for vehicle noise reduction," SEA, 1~13, 1993
8. 이희준외 6명, "트럭 가속주행시 소음원 규명 및 저감," 한국자동차공학회, 춘계학술대회, 359~363, 1995
9. D. R. Balcombe, "Practical development problems in achieving 74 dB(A) for cars," SAE, 109~115, 1993
10. 조대승외, "고속도로 교통소음 예측-자동차 주행소음의 음향파워 평가," 한국소음진동공학학회지, 12(8) 581~589, 2002
11. 정경열외, "한국형 고속전철 차량소음 예측 및 부품 소음관리방안," 한국소음진동공학학회지, 12(10) 758~765, 2002

저자 약력

● 김 정 략 (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 선임연구원근무
 2001년8월~현재: 카스코 기술연구소 제동시험팀 선임연구원근무

● 최 명 선 (Myung-Sun Choi)

현재: 영남대학교 광전자물리학과 교수

● 장 호 경 (Ho-Gyeong Chang)

음향학회지 제 20권 제 5호 참조