

## 풍속변화 민감도를 활용한 차실 바람소리 모델링

### Modeling of Vehicle Interior Wind Noise By Using Sensitivity to Variation of Wind Speed

국형석† · 이동건\* · 박상현\* · 이강덕\* · 김무상\*

H.-S. Kook, D.-G. Lee, S.-H. Park, K.-D. Ih and M.-S. Kim

#### 1. 서 론

주행 중 실내소음에 가장 큰 영향을 미치는 소음원은 노면소음(road noise)과 바람소리이다. 저속에서는 노면소음의 레벨이 바람소리에 비하여 큰 편이나, 바람소리의 음압 에너지는 풍속도의 대략 5.5승에 비례하여 커지기 때문에, 대부분의 차량에서 140km/h 이상의 주행속도 이상에서는 바람소리가 실내소음의 대부분을 차지하는 것으로 알려져 있다.

바람소리 개발을 위하여 음향 풍동을 이용할 수 있다. 그러나 풍동시험에서 측정된 실내음은 노면소음을 비롯한 기타 소음을 재현하기 힘들기 때문에, 도로 주행환경에서 경험하는 바람소리 느낌과는 차이가 발생할 수 있어, 바람소리에 대한 합리적 개발 목표를 설정하기 어려운 단점이 있다. 반면에 도로 주행시험은 전체적인 소음 수준을 평가하는데 유용한 시험이지만, 주행속도, 풍속, 풍향과 같은 주행조건의 일관성과 반복성이 떨어지고, 바람소리의 기여도를 분리해서 평가하기 쉽지 않은 단점이 있다.

도로 주행 시 발생하는 실내소음에서 바람소리의 기여 성분을 추정하는 것은 의미 있고 중요하나, 널리 사용되는 신뢰성 있는 방법은 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 도로 주행시험에서 얻은 실내소음에서 바람소리와 기타소음(주로 노면소음) 성분의 기여도를 비교적 간단하게 계산하는 방법을 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 종래의 실도로 바람소리 기여도 계산방법

Romberg 와 Lajoie(1977)는 정속 주행시험을 여러 차례 실시하며 측정된 실내소음의 음압 레벨이 최대 5dB 정도까지 차이가 나는 것에 주목하고, 이

러한 차이가 시험 당일 대기 풍속의 변화에 기인하는 것이라고 보았다. 실내소음을 크게 바람소리의 기여성분과 바람소리와 비상관된 기타소음의 에너지 합으로 보고 다음과 같이 모델링 하였다.

$$\bar{p}^2 = Kq^{2.75} + \bar{p}_{misc}^2 \quad (1)$$

여기서,  $K$  는 비례상수이며  $q$  는 동압으로, 바람소리 에너지가 동압의 2.75 승(즉, 풍속의 5.5 승)에 비례하여 증가하는 것으로 보았다. 이러한 관계는 실내소음의 옥타브 밴드(또는 1/3 옥타브 밴드)에도 적용 가능하다고 판단하였다. 실내소음의 에너지  $\bar{p}^2$  를 그래프의 세로축에 표시하고  $q^{2.75}$  를 가로축에 표시하면 식(1)은 직선으로 표시되며, 기울기는 비례상수  $K$  이고, 세로축 절편이 기타소음  $\bar{p}_{misc}^2$  이 됨을 알 수 있다.

이 방법을 적용하기 위해서는 주행속도를 적절히 선택하여 바람소리와 기타소음의 레벨이 비슷한 수준이어서 어느 쪽도 지배적이지 않아야 한다는 조건이 필요하다. 왜냐하면, 만약 기타소음이 지배적이라면 풍속의 변화에 의한 실내소음의 변화는 거의 없어 비례상수  $K$  를 정확히 추정할 수 없기 때문이다. 반대로 고속 정속 주행시험에서는 기타 노면소음의 추정에 오차가 많아지게 된다. 또한 비례 상수  $K$  의 계산이 데이터의 산포와 주행 속도 변화에 대하여 민감하여 Romberg 와 Lajoie 의 바람소리 추정 방법의 유용성은 떨어지는 것으로 보인다.

##### 2.2 개선된 실도로 바람소리 기여도 계산방법

본 연구에서 제안하는 방법은 Romberg 와 Lajoie 의 방법을 개선한 것이며, 실내 소음에너지를 다음과 같이 모델링 하였다.

$$\bar{p}^2 = K_1 V_{wind}^\alpha + K_2 V_{road}^\beta + \bar{p}_{bgn}^2 \quad (2)$$

여기서,  $K_1, K_2$  는 각각 바람소리와 노면소음 에너지의 비례상수이며,  $V_{wind}, V_{road}$  는 풍속과 주행속도,  $\alpha$

† 교신저자; 국민대학교 자동차공학과

E-mail : kook@kookmin.ac.kr

Tel : (02) 910-4832, Fax : (02) 910-4832

\* 현대.기아 연구개발총괄본부 기능시험 1 팀

와  $\beta$  는 바람소리와 노면소음의 승수, 그리고  $\bar{p}_{bgn}^2$  은 배경소음이다. 식(1)과 비교하여 식(2)가 가지는 특징은 다음과 같다.

- ① 노면소음이 주행속도의 일정 승수에 비례함(바람소리 모델링과 유사)
- ② 상수가 아니고 매개변수로 모델링 된 승수
- ③ 배경소음 항의 추가

중심주파수 160 Hz 이상의 중고주파 1/3 옥타브 밴드에 대하여 노면소음 레벨은 위의 첫 번째 조건을 대략적으로 만족하는 것으로 판명되었다. 또한 분석결과 풍속에 대한 바람소리 승수가 옥타브밴드 별로 차이가 있어 Romberg 와 Lajoie 의 상수 승수 모델에 비하여 더 정확하다고 할 수 있다.

### 3. 시험 및 결과 분석

#### 3.1 시험 방법

고속 주회로에서 40 km/h 에서 130 km/h 까지 5 km/h 간격으로 주행속도를 증가시키며, 정속으로 주행시험을 하였으며 고속 주회로의 반대편 직선 구간에서 각각 시험하여 한번은 순풍, 다른 한번은 역풍 조건이 되도록 하였다. 루프에 풍향 풍속계를 달아 주행 중 변화하는 풍향과 풍속을 측정하였고, GPS 와 펄스 타코메터를 이용하여 주행속도와 엔진 RPM 을 각각 측정하였다. 실내소음은 운전자 귀 위치에서 측정하였으며, 한 주행속도에서 최소 27 초 길이의 데이터를 측정하였다.

#### 3.2 결과 분석

매 순간 바뀌는 풍속에 대한 실내소음의 변화를 보기 위하여 전체 데이터를 50% 중첩을 두어 1 초 길이의 데이터로 나누었다. 나뉘어진 각각의 데이터 조각에서 평균 실내 음압과 평균풍속의 구하여 그림 1 에 표시하였다. 그림에서 명목상 다른 주행속도에 속하는 데이터는 색깔과 패턴을 다르게 표시하여 구분할 수 있도록 하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 명목상 동일한 주행속도라 하더라도 순풍과 역풍의 주행 조건에 따라 데이터가 크게 두 그룹으로 나뉘고, 같은 풍향 조건하에서도 풍속의 변화에 따라 풍속이 넓게 분포함을 관찰할 수 있다.

그림 1 의 데이터를 이용하여 식 (2)의 다섯 개의 매개변수를 최적화 할 수 있고, 그 결과를 그림 1 에 실선으로 보였다. 그리고, 식(2)의 첫째 항과 둘째 항에서 바람소리 성분과 노면소음 성분의 음압 레벨을 따로 구할 수 있다는 것을 알 수 있는데, 그 결과를 그림 2 에 점선으로 보였다. 계산된 바람소리 성분의 기여도와 노면소음의 기여도의 정확성을 확

인하기 위하여 풍동시험을 통해 실내소음을 측정한 결과를 그림 2 에 같이 표시하였다(청색원). 적색원으로 표시된 데이터는 노면소음을 추정한 것이다. 본 연구에서 제시한 방법으로 예측한 바람소리 기여 성분이 별도의 풍동시험에서 얻은 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

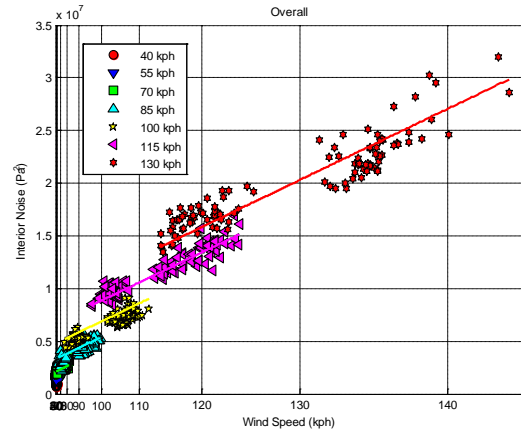


Figure 1. Data for overall noise levels for short time period(one second) and fitted lines by using equation (2). X-axis is a power of the wind speed.

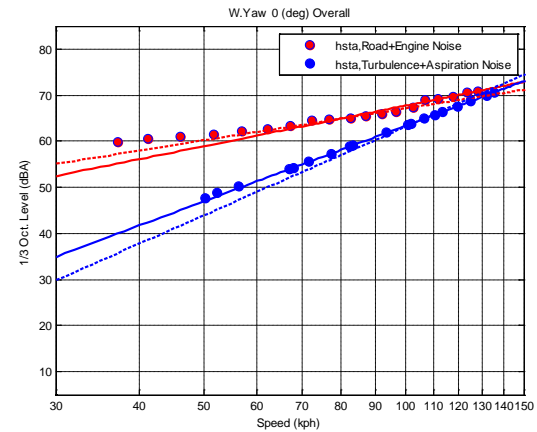


Figure 2. Curves for wind(blue lines) and road (red lines) noise; dashed lines, the method proposed in the present work; solid lines, curve fit to the data obtained in the wind tunnel (blue circles) and to the estimated road noise (red circles).

### 4. 결론

본 연구에서 제안된 방법이 도로 주행시험에서 얻은 실내소음 데이터에서 바람소리 및 기타소음 성분의 기여도를 계산하는데 유용함을 보였다. 기존의 방법과는 달리 저속에서 고속에 이르는 정속주행 시험 결과를 모두 사용하여 계산 결과의 정확성을 향상시킬 수 있었다. 본 방법은 전체 소음 레벨뿐만 아니라 각 옥타브 밴드 별로 바람소리의 기여도를 확인하는 데에도 사용할 수 있다.