

# 차량의 주행 소음원 규명 위한 속도 재구성 방법

## The velocity reconstruction for identifying pass-by noise of a vehicle

박춘수\* · 김양한† · 김영기\*\*

Choon-Su Park, Yang-Hann Kim, and Young-Key Kim

### 1. 서론

이동하는 음원을 규명하고 음장을 가시적으로 재구성하는 방법에 대한 연구는 빔형성 방법과 이동 프레임 음향 홀로그래피 등 다양하게 발전되어 왔다. 예를 들어, 빔형성 방법은 고속 전철의 방사 소음 및 차량의 주행시에 발생하는 소음원의 위치를 가시화하기 위해 적용되었으며<sup>[1]</sup>, 음장을 재구성하는 음향 홀로그래피 방법에 이동 프레임 기술을 적용하여, 움직이는 차량에서 방사하는 소음을 가시화하는 연구도 수행되어 차량의 방사소음의 분포를 살펴볼 수 있다.<sup>[2]</sup>

이동 음원을 규명할 때, 중요한 것은 재구성된 음원면의 좌표와 차량 좌표의 동기화인데, 본 논문에서는 기존의 정속주행 장비에 추가 장치없이 가속주행 차량의 음원을 규명하기 위해 속도를 재구성하는 방법에 대해 제안하고 실험으로 검증하고자 한다.

### 2. 가속 주행에의 적용

빔형성 방법과 이동프레임 음향 홀로그래피 방법은 시간에 따른 음원의 위치만 알 수 있다면 음원면의 정보를 재구성할 수가 있다. ISO 362 주행 조건에서의 소음(pass-by noise)에 대해서 빔형성법<sup>[3]</sup>과 MFAH 방법을 사용하여 가시화를 한 연구는 있었다.<sup>[2]</sup> 이들 방법들은 가속 주행에 따른 차량의 위치를 직접 바퀴의 회전속도를 측정하여 계산을 하거나<sup>[2]</sup>, 평균속도를 계산한 뒤에 속도의 변화가 약 3km/h 정도임을 관찰하고, 51.5km/h의 정속으로 가정하여<sup>[3]</sup> 음원의 위치를 구하는 방법을 사용하였다.

차량의 속도를 알기 위해 바퀴의 회전속도(RPM) 신호를 측정하는 방법은 차량의 속도 정보를 정확히

알 수 있는 장점이 있으나, 차량의 신호를 측정할 때 부가적인 측정 채널이 필요한 단점이 있으며, 평균속도를 가정하여 차량의 위치를 추정하는 방법은 속도를 추정하는 일관적인 방법이 될 수 없다. 이에 추가 채널의 필요없이 2 개의 광센서를 이용한 기존의 주행 소음 측정 장비를 이용하여 관심 영역 내에서의 가속 주행시 차량의 속도(위치)를 추정하는 방법을 제안하고자 한다.

이러한 선형 보간은 참고문헌[4]에서의 결과를 근거로 한다. 참고문헌[4]에는 ISO 규정에 의해 주행했을 때의 속도변화가 마이크로폰을 지나가는 짧은 순간(약 0.5 초)동안에는 거의 선형적으로 변화한다는 것을 보여주고 있다. 이럴 경우에 어레이 전후로 속도 2 개만 측정을 통해 파악하면 선형 보간을 통하여 속도를 재구성할 수 있을 것이다.

하나의 속도를 얻기 위해서는 2 개의 위치와 시간이 필요하다. 이를 위해, 보통 3 개의 광센서가 사용되는데, 광센서의 특성을 이용하면 광센서 1 개에서 2 개의 속도를 얻을 수 있다. Fig.1은 차량이 직류형(DC type) 광센서를 지나갈 때 발생하는 전압신호를 측정할 것이다. 이 그림에서 차량이 광센서에 진입할 때와 빠져 나갈 때의 시간을 알 수 있고, 이를 통해 속도를 구할 수 있는 것이다.

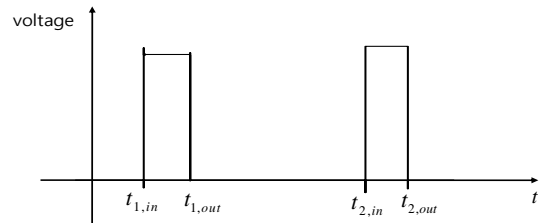


Fig. 1 Photo sensor signal when the vehicle passes from sensor 1 to sensor 2.  $t_{1,in}$  is the time when the front bumper passes the sensor 1 and  $t_{1,out}$  is the time for the rear bumper at sensor 1.  $t_{2,in}$  is the time for the front bumper at sensor 2 and  $t_{2,out}$  is the time for the rear bumper at the sensor 2.

### 3. 실험장치 및 조건

#### 3.1 측정 마이크로폰 어레이

빔형성법에서의 어레이 형상이 쓰이고 있으나, 성

† 교신저자; 한국과학기술원 기계공학과 소음 및 진동제어 연구센터

E-mail : yanghannkim@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3025, Fax : (042) 350-8220

\* 한국과학기술원 기계공학과 소음및진동제어 연구센터

\*\* ㈜ 에스엠 인스트루먼트

능과 제작의 편의성으로 나선형태(spiral type)의 어레이가 제안되어 쓰인다. 관심 주파수 영역이 800 ~ 2000Hz 이고, 빔형성결과의 3dB 밴드폭(1kHz 에서 약 0.5m)을 고려하여 에스엠 인스트루먼트의 30 채널 나선형 어레이를 사용하였다. [Fig.2(a)참조]

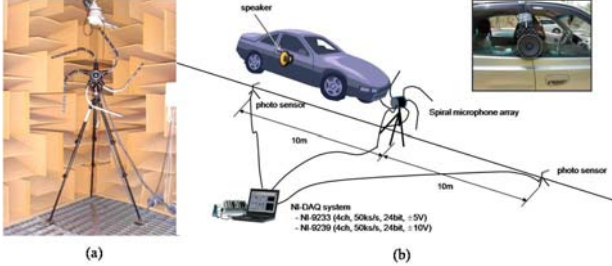


Fig. 2 (a) 30Ch. Spiral array. (SM Instruments Co., aperture size: 0.8m), (b) Measurement set-up [2 photo sensors, data acquisition system(50ks/sec, 24bit), and a speaker unit].

### 3.2 실험장치 구성

실험장치는 Fig.2(b)와 같이 차량의 측면에 위치를 알고 있는 소리를 발생시키는 스피커를 설치하였으며, 마이크로폰 어레이 전/후의 속도를 재구성하기 위하여 어레이 전후로 각 10m 간격으로 광센서를 설치하였다. 이 광센서를 측정 신호와 동기화하여 측정 시간과 차량의 위치를 파악할 수 있다.

음압 신호 취득을 위해 NI-9233(4ch, 50ks/sec, 24bit,  $\pm 5V$ ) 7 개와 광센서 신호 취득을 위한 NI-9239(4ch, 50ks/sec, 24bit,  $\pm 10V$ ) 1 개를 사용하였으며, 마이크로폰은 BSWA 어레이 마이크로폰 (50mV/Pa, 100~10kHz,  $\pm 0.5dB$  error within 10kHz)을 사용하였다.

### 4. 실험 결과

실험은 ISO 362 에 따른 주행조건으로 Fig.2(b)의 사진과 같이 스피커 유닛을 장착한 뒤, 1kHz 의 순음을 발생시키고 수행하였다. Fig.3(a)는 참고문헌 [3]에서 제안한 것과 같이 속도를 51.5km/h 의 평균속도 가정하고, 빔형성 결과를 나타낸 것이다.

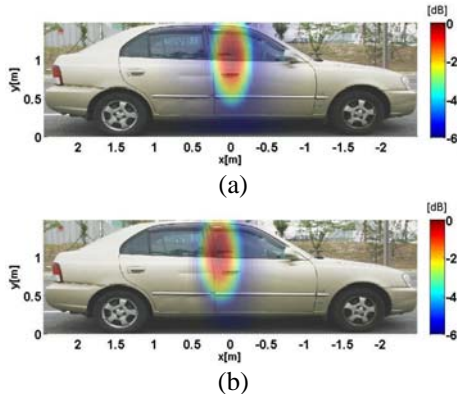


Fig. 3 Experimental results for 1kHz pure tone generated by a speaker. (a) using average velocity 51.5km/h, (b) using reconstructed velocity by proposed method.

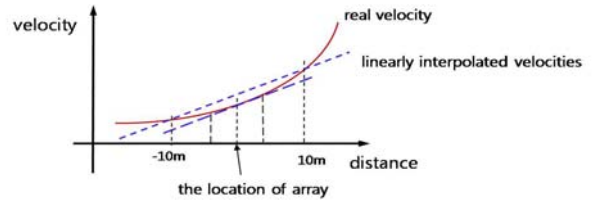


Fig. 4 Velocity reconstruction with respect to the distance from the array.

Fig.2(b)에 보이는 것처럼 차량의 창문 사이에 있는 스피커의 위치와 빔형성 결과가 약 25cm 정도의 차이가 있음을 관찰할 수 있다. 이에 비해 Fig.3(b)는 실제 스피커의 위치와 약 6cm 정도의 차이를 보이는 것을 볼 수 있는데, 이 결과는 2 절에서 제안한 방법, 즉, 2 개의 광센서로 속도를 재구성하여 구한 빔형성 결과이다. Fig.3(a)에 비해 작지만, 여전히 차이는 존재함을 알 수 있다.

### 5. 결론

제안한 방법으로 구한 빔형성 결과를 살펴보면, 약 6m 정도의 결과 오차가 여전히 있음을 볼 수 있다. 이것은 광센서를 어레이로부터 10m 떨어진 곳에 위치시켜 나타난 것으로 Fig.4 에 보이는 것과 같이 어레이에 좀 더 가까운 곳에 위치시키면 좀 더 실제 속도에 근접하는 값을 얻어 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이동 음향 홀로그래피도 이 방법이 적용될 수 있을 것이다.

### 후 기

본 논문은 교육인적자원부의 BK21 사업에 의한 연구 지원과 국방기초연구과제(ADD-07 -07-01)의 지원으로 진행되었음을 밝힙니다.

### 참 고 문 헌

- (1) B. Barskow, W.F. King, and E. Pfizenmaier, 1987, " Wheel/rail noise generated by a high-speed train investigated with a line array of microphones," J. Sound Vib. 118, pp.99-122.
- (2) S.-H. Park and Y.-H. Kim, 2001, " Visualization of pass-by noise by means of moving frame acoustic holography" , J. Acoust. Soc. Am. 110(5), pp.2326~2339.
- (3) W. D. fonseca, Samir N. Y. Gerges, Robert P. Dougherty, 2008, " Pass-by noise measurements using beamforming technique" , Inter noise 2008, in08-0935.
- (4) S.-H. Park, 2001, Visualization of noise generated by moving band-limited noise sources by means of an improved moving frame acoustic holography, Ph.D. dissertation, KAIST, ch.5.