

시간영역에서의 빔형성 방법을 이용한 주기적인 충격 소음의 위치추정 Periodic impulse train source localization by using beamforming method in time domain

서 대 훈† · 전 종 훈* · 박 춘 수** · 김 양 한***
Dae-Hoon Seo, Jong-Hoon Jeon, Choon-Su Park and Yang-Hann Kim

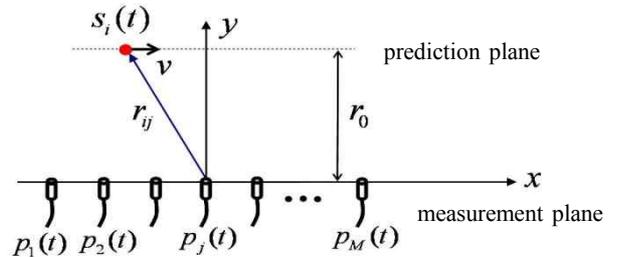
1. 서론

일정한 속도로 운동하고 있는 회전기계에 결함이 발생하면 주기적인 충격 소음을 발생시킨다. 이 주기적인 충격 신호는 기계의 결함을 판단할 수 있는 중요한 정보를 제공한다. 예를 들어 운전중인 베어링에 결함이 생기면 충격 소음을 발생시키고 이 충격 소음의 주기는 결함 위치에 대한 정보를 가지고 있다.⁽¹⁾ 이러한 결함은 운전을 거듭할 수록, 특히 부피가 크고 속도가 빠를수록, 결함 부위가 급속히 커져 사고를 유발할 수 있다. 따라서 이런 결함과 관련된 충격 소음의 위치를 추정함으로써 문제가 발생하는 기계를 사전에 진단하고 사고를 미연에 방지할 수 있다. 본 연구에서는 일정한 속도로 주행중인 차량에 대해서 시간영역에서의 지연-합(delay & sum) 빔형성 방법을 적용하여 주행중인 차량에서 발생하는 충격 소음원의 위치를 추정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 이동하는 음원의 위치 추정

2.1 지연-합 빔형성 방법의 적용

이동하는 음원의 경우에 시간영역에서 지연-합 빔형성 방법의 가장 큰 장점은 음원과 센서간의 상대 속도에 의한 도플러 효과 (Doppler's effect)를 제거할 수 있다. 왜냐하면, 지연-합 방법은 센서의 측정된 신호로부터 후보 음원에서의 위치를 예측하는 알고리즘이기 때문에 후보 음원에서의 빔 출력은 음원과 같은 속도 v 로 이동하면서 예측된 값이다. 따라서 음원과 센서간의 상대운동이 상쇄되므로 도플러 효과를 제거할 수 있는 이점이 있다. Fig. 1은 이동음원에 대한 마이크로폰 어레이의 좌표계를 나타낸다.



where $p_j(t)$: sound pressure at j -th microphone
 $s_i(t)$: sound pressure at unit distance from i -th point source
 r_{ij} : distance from i -th point source to j -th microphone
 M : number of microphones
 c : speed of sound

Fig. 1 마이크로폰 어레이와 이동 음원의 좌표계

Fig. 1과 같이 단극 음원으로 가정한 i 번째 음원이 x 축 방향으로 일정한 속력 v 로 이동하고 있을 경우 j 번째 마이크로폰에서 측정되는 음압은 다음과 같다.

$$p_j(t) = \frac{1}{r_{ij}} s_i(t - \frac{r_{ij}}{c}) \quad (1)$$

$$\text{where } r_{ij} = \sqrt{(x_i(0) - x_j + vt)^2 + r_0^2}$$

따라서 (1) 식에 구형파 전파 모델 지연-합 알고리즘을 적용하면, 예측면에서의 추정된 음압 값은 식 (2)와 같다.

$$s_i(t) \approx \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M r_{ij} p_j(t + \frac{r_{ij}}{c}) \quad (2)$$

식 (2)에 의해서 예측면 상의 각각의 후보 음원의 위치에서 빔 출력을 구하면 후보 음원의 위치가 실제 음원의 위치가 일치할 때, 빔출력의 값은 최대가 되며 이 값을 비교함으로써 음원의 위치를 추정할 수 있다.

2.2 충격 음원의 위치 추정

지연-합 빔형성을 적용한 결과 Fig.2 와 같이 예측면에 충격 음원이 위치한 곳에서는 시간영역에서의 빔출력의 최대값이 평균값보다 커서 이 경우 빔출력은 충격 음원과 유사한 형태로 재현된다. 반대

† 교신저자: 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터
E-mail : huny@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3065, Fax : (042) 350-8220

* 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터
** 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터
*** 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터

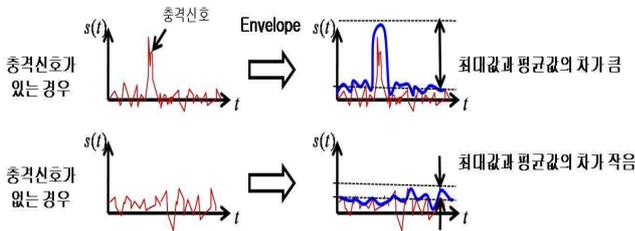


Fig. 2 충격 음원이 위치한 곳과 위치하지 않은 곳의 빔출력과 시간영역에서의 포락⁽²⁾

로 충격 음원이 위치하지 않은 곳에서는 각각의 마이크로폰으로부터 보상된 신호간의 상쇄 효과로 인해 시간영역에서의 빔출력의 최대값은 시간영역에서의 평균값과 거의 차이가 없다. 충격소음이 발생하는 곳과 발생하지 않는 두 곳의 빔 출력의 시간영역에서의 포락(envelop)을 구해보면 Fig. 2와 같다. 따라서 충격 음원의 위치를 나타내기 위해서 차량 각 위치에서 구해진 시간 영역의 빔 출력의 최대값과 평균값의 차이를 이용하겠다.

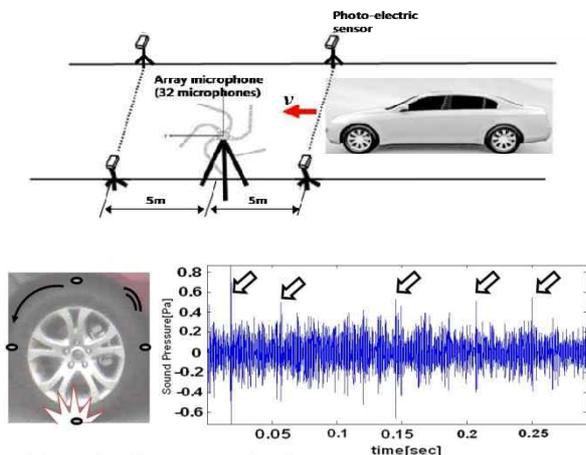
3. 이동하는 충격 소음원의 위치 추정 실험

3.1 실험 장치

어레이 마이크로폰은 반지름이 서로 다른 동심원 상에 같은 수의 마이크로폰을 배치한 스포크(spoke) 타입의 어레이를 사용하여 신호를 측정하였으며, 이때 차량의 속도는 $v=50\text{ km/h}$ 로 정속 주행이다. 차량에 주기적인 충격소음을 발생시키기 위해서 차량의 앞 바퀴에 Fig. 3과 같이 4개의 못을 붙여 타이어가 지면에서 구를 경우 주기적인 충격소음을 발생시키게 하였다.

3.2 실험 결과

Fig 4는 예측면의 각 지점을 2.2절에서 제안한 빔



-전면 타이어 표면 4군데에 못마리 설치
→지면과 충돌할 때 충격 소음 발생

Fig. 3 실험 장치

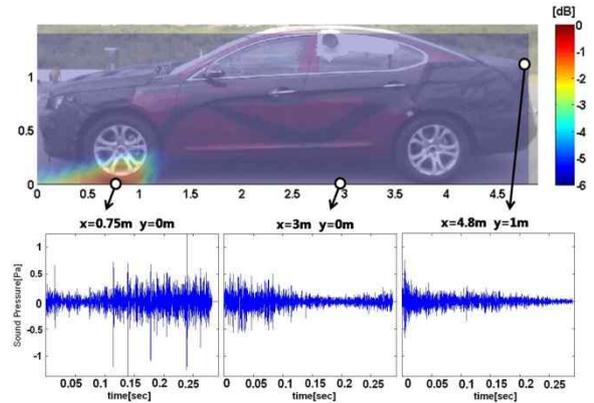


Fig. 4 충격소음의 위치 추정 실험 결과

출력의 최대값과 평균값의 차이를 데시벨(dB) 단위로 나타내었다. 예측면의 크기는 차량의 전장, 전고와 일치하며, 차량의 타이어와 지면이 접촉하는 곳은 $(x,y)=(0.75\text{m}, 0\text{m})$ 이다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 충격 소음이 발생하는 지점의 빔 출력은 실제 발생하는 충격 소음원의 신호와 유사한 반면에 다른 지점에서의 빔 출력은 전자와 다른 것을 알 수 있다. 또한 앞 타이어에 못을 부착하고 50 km/h 정속으로 주행한 결과 충격 소음원이 위치한 곳에서 약 6dB의 최대값과 평균값의 차이가 발생한다. 또한 최대값이 발생한 지점은 앞 타이어와 지면이 접촉하는 지점과 일치한다.

결론

이 논문에서는 이동하는 충격 음원의 위치를 추정하기 위하여 지연-합 빔형성 방법을 이용하여 이동 음원의 도플러 효과를 제거하고 동시에 예측면에서의 빔출력을 구하였다. 또한 충격 소음 신호의 특성을 이용하여 빔 출력의 최대값과 평균값의 차이를 구함으로써 충격 소음원의 위치를 추정하였으며, 실제 주행 차량에 충격 소음 발생 장치를 설치하여 충격 소음원의 위치 추정 가능성을 확인하였다.

후기

본 연구는 교육부의 두뇌 한국 21(BK21) 프로그램 및 (주)현대자동차, (주)에스엠인스트루먼트 그리고 한국철도기술연구원(KRRI)의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- (1) Tedric A. Harris 1991 *Rolling bearing analysis*. (John Wiley & sons, ch.4~6)
- (2) (주)SM Instruments '이음 측정 특허 기술'