

빔 형성 방법을 이용한 실린더 소음의 음압 레벨 예측에 관한 연구

Sound Pressure Level Estimation for the 2-D Cylinder Noise by Using Beamforming Method.

고영주* · 이재형* · 박인철* · 김병수** · 최중수†

Yeong-Ju Go, Jaehyung Lee, Inchul Park, Byoungsoo Kim and Jong-Soo Choi

1. 서 론

본 연구에서는 대표적인 이중극자 소음원인 실린더 소음의 표면 음압 레벨을 빔 형성 방법으로 예측하는 방법을 제시하였다. 유동장에 있는 물체의 표면에 작용하는 변동 압력에 대한 정보는 원음장 예측에 필요하다. 그러나 실제 압력센서를 관심 위치에 설치하는 것은 물리적으로나 경제적으로 많은 제약이 따르게 되므로 본 연구에서는 마이크로폰 어레이를 이용한 빔 형성 방법을 제안한다.

빔 형성은 마이크로폰 어레이로 측정된 음압 신호와 위치 정보의 상관 관계에 의하여 소음원의 위치를 알아내는 방법이다. 빔 형성 방법을 이용한 실험 검증 대상으로 유동장에 놓인 이차원 원형 실린더를 선택하였다. 실린더에서 발생하는 유동소음은 비정상 유동 현상에 기인한 변동 압력에 의하여 발생하며 이중극자 방사 특성의 순음 소음원을 갖게 된다.

한편, 일반적인 빔 형성 방법은 소음원을 단극자로 가정하므로 이중극자 형태의 소음원 보정에 필요한 알고리즘을 활용하였다. 이후 표면 압력 센서를 이용한 측정값과 이론적 예측값을 어레이 결과와 비교하여 언급하도록 한다.

2. 본 론

2.1 빔 형성 알고리즘의 이중극자 소음원 모델

단극자 소음원의 경우 N개의 마이크로폰에서 측정되는 음압 신호를 식 (1)과 같이 나타내며 식 (2)의 상호 파워(cross power)를 계산한다.

$$p = [p_1(f), p_2(f), \dots, p_N(f)] \quad (1)$$

$$c = \frac{1}{2} \overline{pp^*} \quad (2)$$

마이크로폰의 위치와 계산 지점에 대한 위치 정보로부터 전달 벡터(transfer vector)를 계산한다. 식 (3)은 단극자 소음원인 경우이며 이중극자 소음원에 대한 보정⁽¹⁾은 식 (4)를 이용하여 계산한다. Δt_e 는 소음원에 대한 전파 지연 시간이다.

$$g_n = \frac{-e^{-i\omega\Delta t_e}}{4\pi\sqrt{(M\cdot r)^2 + \beta^2|r|^2}} \quad (3)$$

$$g_n = \frac{-e^{-i\omega\Delta t_e} DPL}{4\pi r a l} \quad (4)$$

$$DPL = -i\omega l \cdot \nabla(\Delta t_e) \quad (5)$$

이중극자 소음원에 대한 빔 파워는 다음과 같이 정리된다.

$$A = \frac{1}{2} |a|^2 = \frac{\overline{g^* p} \left(\frac{g^* p}{|g|^2} \right)^*}{2 |g|^2 |g|^2} = \frac{g^* c g}{|g|^4} \quad (6)$$

2.2 예측식을 이용한 빔 형성 결과와의 비교

실린더 소음은 실린더의 상관길이, 실린더에 작용하는 양력의 측정으로 원거리 음압 레벨을 예측하는 방법⁽²⁾이 알려져 있다. 본 연구에서는 과거 수행되었던 실험 결과⁽³⁾를 이용하여 원거리 음압 예측값을 빔 형성 방법으로 측정된 결과와 비교하는데 이용하였다.

2. 측정 방법 및 결과 고찰

실린더 소음의 측정은 300mm×300mm의 시험부를 갖는 충남대학교 항공우주공학과와 개방형 소형 무향 풍동에서 수행되었다. 직경 20mm인 실린더를

† 교신저자; 충남대학교 항공우주공학과

E-mail : jchoi@cnu.ac.kr

Tel : (042) 821-6683, Fax : (042) 825-9225

* 충남대학교 항공우주공학과 대학원

** 충남대학교 항공우주공학과

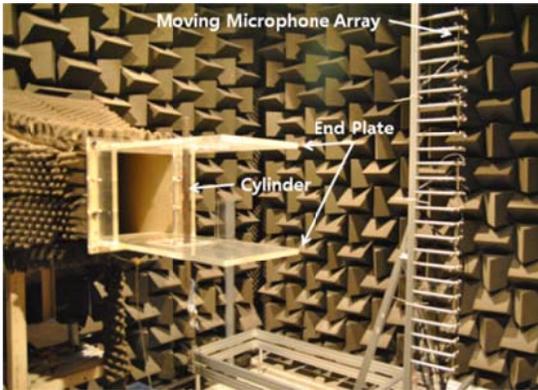


Fig. 1 Configuration of measurement

유동에 수직인 방향으로 끝판에 고정하였다. 빔 형성 방법을 위한 마이크로폰 어레이는 Fig. 2와 같이 31개의 마이크로폰으로 구성된 선형 어레이를 좌우로 움직여 측정하는 이동식 어레이 기법⁽⁴⁾을 실험에 적용하였다. 그리고 실린더 중앙에 유동의 90도 방향으로 위치한 압력 센서를 부착하여 실린더 표면의 변동 압력을 어레이와 함께 동시에 측정 하였으며 하나의 마이크로폰으로 원거리 소음을 측정하였다. 마이크로폰과 표면 압력 센서의 신호는 NI사의 PXI-4472를 이용하여 데이터를 취득하였다.

빔 형성 방법으로 실린더 표면 압력을 예측한 결과 실린더의 표면 압력에서 측정된 음압 레벨과 약 2dB의 오차를 확인하였다. 하나의 마이크로폰으로 측정된 원거리 소음의 음압 레벨은 이론적 예측값과 잘 맞았다. 하지만 이론적 음압 예측식을 이용하

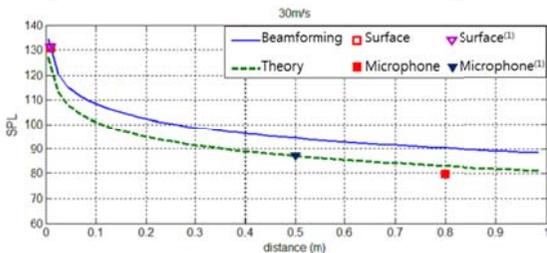


Fig. 2 Comparison of estimated and prediction SPL at 30m/s

Table 1 SPL(dB, ref=20μPa) at mid-span surface

| | distance (m) | | |
|---------------------------|--------------|------|------|
| | 0.01 | 0.5 | 0.8 |
| Beamforming | 128.4 | 94.4 | 90.3 |
| Theory | 121.0 | 87.0 | 82.9 |
| surface | 130.7 | | |
| Surface ⁽¹⁾ | 131 | | |
| Microphone | | | 79.5 |
| Microphone ⁽¹⁾ | | 87 | |

여 거리에 따른 음압 감소 경향을 적용하여 측정된 표면의 음압 레벨과 비교하였고 약 10dB의 오차가 있음을 확인하였다. 따라서 원거리에서 적용되는 음압의 감소 경향이 실린더 표면 근처의 음압 레벨 변화에 적용되지 않는다는 것을 확인하였다.

3. 결 론

빔 형성 방법을 이용하여 실린더 표면으로부터 변하는 음압 레벨을 예측하는데 적용하여 거리에 따른 감소 경향을 비교하여 보았다. 그리고 측정 결과 실린더 표면과 원거리에서의 음압이 이론적 경향과 차이가 있음을 확인하였다.

실제 실린더 표면 근처의 음압 레벨의 측정은 실험적인 방법은 센서의 간섭에 의한 신호의 왜곡 현상 때문에 어려움이 있다. 따라서 CFD 해석 기법과 같은 간접적인 방법이 필요하다고 판단되며 표면 근처의 감소 특징을 확인할 수 있다면 빔 형성 방법으로 거리에 따른 음압 변화를 예측 할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0014978).”

참고문헌

- (1) Liu, Y., Quayle, A. R., Dowling, A. P., and Sijtsma, P., 2008, Beamforming correction for dipole measurement using two-dimensional microphone arrays, *J. Acoust. Soc. Am.* 124(1), pp. 182–191.
- (2) Blake, W. K., 1986, *Mechanics of flow-induced sound and vibration, Vol.1 General concepts and elementary sources*, Academic Press INC., Orlando.
- (3) Hong, H. B., Choi, J. S., 1997, Experimental study on the vortex-shedding sound from a circular cylinder, *Proceeding of the 1997 KSASS Fall Conference*, pp. 473–480.
- (4) Hwang, E. S., Lee, J. H., Rhee, W., Choi, J. S., 2009, Study on 3D sound source visualization using frequency domain beamforming method, *KSNVE, Vol. 19, No. 9*, pp. 907–914.