

능동형 방음벽 개발을 위한 에러센서 위치 연구

차상곤*, 김동환*, 안드레이 트로신*, 최장철*, 신은우*

*능동소음제어시스템 기술개발 연구단, SQ엔지니어링(주)

A Study of Sound Pressure Characteristics of Error Sensors by Position in Active Noise Barrier Development

Sang-Gon Cha*, Dong-Hwan Kim*, Andrey Troshinun*, Jang Cheol Choi*, Eun-Woo Shin*

*ANC System Technology Developing Association, SQ Engineering co., ltd, Seoul, Korea

Abstract - 본 논문에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 3차원 폐공간(반무향실)에서의 순음(125Hz)을 이용하여 부 음원과 에러센서의 위치 변화에 따른 소음저감 정도를 분석하였으며, 이 결과를 바탕으로 능동형 방음벽의 구현의 기초자료로 활용하고자 하였다. 부음원(제어스피커, 이하 부음원)과 에러센서간 거리차는 0.5m, 1.5m, 2.5m를 대상으로 실험을 실시하였으며 그 중 거리차가 1.5m 지점의 경우, 125Hz부근에서는 최대 18.3dB, Overall(80Hz~200Hz)값은 18.2dB(A)의 소음저감 효과가 있는 것으로 나타나, 가장 효과적인 부음원과 에러센서간의 거리차인 것으로 평가되었다.

1. 서 론

국내의 좁은 국토상황에서 도심지에서는 24시간 동안 항상 도로소음의 영향을 받는다고 하여도 과장된 말이 아니다. 도로에서 발생하는 소음을 줄이기 위해서는 다양한 대책이 있지만, 이동경로 대책인 소음의 전달경로를 길게 하는 방음벽 등의 수동시스템의 설치가 일반적인 방법이 될 수 있다. 최근에는 2차 음원을 발생시켜 소음을 상쇄시키는 능동소음제어(Active Noise Control) 시스템이 500Hz 이하의 저주파 소음에 대한 성능의 한계가 있는 방음벽 등 수동소음제어 시스템의 한계성을 극복하기 위한 대안으로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 능동소음제어 기법은 소음원과 크기는 같고 위상이 반대인 또 다른 소음을 이용하여 원래의 소음을 상쇄시키는 방법으로 제어 필터와 적응제어 알고리즘으로 구성된다. 제어필터로는 구조가 단순하고 안정적인 FIR(Finite Impulse Response)필터 구조가, 필터계수 추정 적응알고리즘으로 FXLMS(Filtered-X Least Mean Square) 알고리즘이 주로 적용되어 왔다. 본 논문에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 3차원 폐공간(반무향실)에서 순음(125Hz)을 발생시켜 부 음원과 에러센서간 위치 변화에 따른 음압레벨 변화를 분석하였으며, 이 결과를 바탕으로 향후 연구될 능동형 방음벽의 구현의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 소형 능동형 방음벽 시스템의 특징

도로교통소음의 발생은 음원-음전달-수음자의 순으로 전달되며, 여기서 수동방음벽은 음 전달에 영향을 미치고 능동형 방음벽은 상쇄음(Anti-Noise)을 발생시켜 관찰자가 위치한 지역의 소음을 최소화하는 원리이다. 능동형 방음벽의 제어시스템의 원리는 외벽에 위치한 센서는 오차 신호를 측정하는데 이는 제어시스템에 의해 최소화되지만, 원거리 관찰 구역에 위치한 센서의 경우는 이와 다른 특성을 나타낼 수 있다. 능동형 방음벽 근처에 센서를 설치함으로써 센서를 설치하기가 지나치게 멀거나 어려운 위치에서의 방음효과를 거둘 수 있다. 그러나 근거리 음압을 최소화하더라도 반드시 원거리 음압이 감소하는 것만은 아니다. 근거리 음압에 따른 원거리 음압의 변화를 정확히 파악하기 위해서는 "지면의 특성과 바람의 방향" 등에 따라 변화하는 음 전달 경로를 분석해야 한다. 실험실 시스템인 소형 능동형 방음벽의 장점 중의 하나는

시스템이 방음벽 상단부를 회절음으로 간주하여 다룰 수 있다는 것이다. 만약 부 음원으로 고려되면, 상쇄음원을 방음벽 상단에 위치시켜 음의 전달경로를 주 음원(기준신호 발생장치, 이하 주 음원)과 부 음원을 동일하게 간주할 수 있다. 이는 음 전달 경로에서 발생하는 변화에 대응하는 견고한 시스템을 구성할 수 있는 기초가 되며, 특히 바람이나 난류로 인한 변화에도 적절하게 대응 가능한 시스템이 될 수 있다. 방음벽 근처에 기준 센서를 설치하여 방음벽 위 지역을 주 음원 발생지역으로 다룰 수 있다. 이를 통해 기준 신호가 실제 음원(도로교통소음)의 변동성을 반영하도록 하는 이점이 있다. 또한, 기준 신호는 여러 음원과 방음벽 사이에서 변화하는 다양한 음 전달의 영향을 포함할 수 있다. 이러한 고려 사항들이 기준 센서, 반대음-부음원, 오차센서로 구성된 소형 시스템에 대한 연구가 필요한 이유이다. 즉, 능동 방음벽(Active Noise Barrier)은 센서를 이용하여 외부의 소음을 감지한 후, 적응필터를 통해 내부의 소음을 감쇄시키는 2차 음원을 내보내 소음을 상쇄시키는 방식이다. 본 실험에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 3차원 폐공간(반무향실)내에 능동방음벽을 구현하고, 연구를 위하여 제작된 고속 DSP(TMS320C6713)보드를 이용하였다. 또한 소형 능동형 방음벽 시스템은 좀 더 정확한 에러센서의 민감도 및 소음측정 분석을 위하여 센스장치를 천장에 부착하여 이동 가능하도록 제작하였으며, 부 음원의 간격 조절에 의한 소음도 변화특성을 분석하기 위해 부 음원 역시 이동 가능토록 제작되었다.



<그림 1> 소형 능동형 방음벽 및 기준센스 위치

3. 실험 및 검토

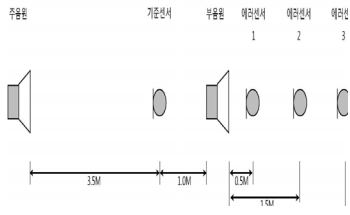
3.1 능동방음벽 테스트 설계

부음원만을 장착한 소형 능동형 방음벽의 구현을 대상으로 실험을 실시하였으며, 테스트 설계는 다음과 같다.

- ① 125Hz 주파수로 순음(Pure Tone)을 발생하는 독립적인 주 음원
- ② 주 음원으로부터 3.5m 떨어져 설치된 1개의 기준센서
- ③ 주 음원으로부터 4.5m 소형 방음벽 1.5m 지점에 떨어져 설치된 1개의 부음원
- ④ 주 음원으로부터 5m, 부음원으로부터 0.5m, 1.5m, 2.5m 떨어져 설치된 이동 가능한 1개의 오차센서
- ⑤ 부음원으로부터 0.5m, 1.5m, 2.5m 떨어져 설치된 1개의 정밀 소음 측정기

샘플링 주파수는 $f_s=2$ kHz, 제어기 상수는 가장 안정적으로 판단되는 32차로 설정하였다. 이를 바탕으로 제어시스템의 성능을 향상시키는데 있어 오차 센서의 위치 선정이 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구를 실

시하였다. 본 실험에서는 2차 경로 전달함수가 변하지 않는다고 가정하고 사전에 오프라인으로 추정하여 적용하였다.



〈그림 2〉 실험 구성도



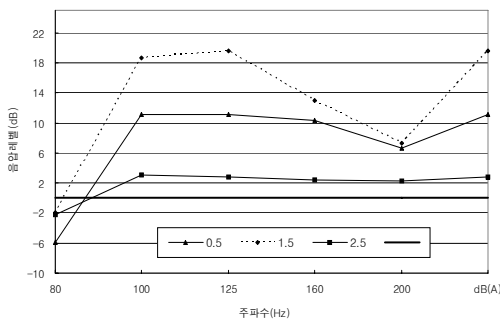
〈그림 3〉 능동소음제어 시스템 구성도



〈그림 4〉 오차 센서 및 수음점 위치

3.2 거리별 오차센서의 영향

부 음원 근처 마이크로폰에 가해지는 압력은 오차 신호로 사용된다. 부 음원-에러센서간 거리(0.5m, 1.5m, 2.5m)에 따른 주파수별(80Hz~200Hz) 음압특성 분석결과, 0.5m의 경우는 6.7~11.1dB 정도 제어전보다 제어후 소음이 저감되는 것으로 나타났으며, 1.5m 및 2.5m의 경우는 각각 7.3~19.7dB, 2.3~3.1dB 정도 소음효과가 나타나는 것으로 분석되었다. Overall(80Hz~200Hz)값은 0.5m, 1.5m, 2.5m 거리별 각각 11.1dB(A), 19.1dB(A), 2.8dB(A) 정도가 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 부음원과 에러센서간 거리차가 1.5m 지점의 경우는 다른 지점(0.5m, 2.5m)에 비해 대상음원인 125Hz부근에서는 최대 18.3dB, Overall(80Hz~200Hz)값은 18.2dB(A)의 소음이 저감되는 것으로 나타나, 가장 안정적인 부음원과 에러센서간의 거리차인 것으로 평가되었다.



〈그림 5〉 부음원-오차센서간 거리별 음압저감 특성

〈표 1〉 부음원-오차센서간 거리별 음압특성 분석결과 (1/3 Oct. 순음, 125Hz)

부음원-오차센서간 거리		주파수(1/3 OctaveBand)(Hz)					Overall (dB(A))
		80	100	125	160	200	
0.5m	제어전	19.8	59.7	84.5	54.9	46.8	77.5
	제어후	25.7	48.6	73.4	44.6	40.1	66.4
	저감치	-5.9	11.1	11.1	10.3	6.7	11.1
1.5m	제어전	21.8	56.0	80.7	50.9	43.0	73.7
	제어후	23.8	37.3	61.1	37.9	35.7	54.2
	저감치	-2.0	18.7	19.6	13.0	7.3	19.6
2.5m	제어전	22.9	60.2	84.7	54.6	46.9	77.7
	제어후	25.1	57.1	81.9	52.2	44.6	74.9
	저감치	-2.2	3.1	2.8	2.4	2.3	2.8

4. 결 론

본 논문에서는 FXLMS 알고리즘을 이용하여 3차원 폐공간(반무향실)내에 능동방음벽을 구현하고, 고속 DSP(TMS320C6713)보드를 이용하여 순음(125Hz)을 대상으로 부 음원과 에러센서의 거리 변화에 따른 음압레벨 변화를 분석하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

소형 능동형 방음벽에 대한 부 음원-에러센서간 거리(0.5m, 1.5m, 2.5m)에 따른 주파수별(80Hz~200Hz) 음압특성 분석결과, 0.5m는 6.7~11.1dB 정도 제어전보다 제어후 소음이 저감되는 것으로 나타났으며, 1.5m 및 2.5m는 각각 7.3~19.7dB, 2.3~3.1dB 정도, Overall(80Hz~200Hz)값은 0.5m, 1.5m, 2.5m 거리별 각각 11.1dB(A), 19.1dB(A), 2.8dB(A) 정도의 소음저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

특히, 부음원과 에러센서간 거리차가 1.5m 지점의 경우, 순음 125Hz 부근에서는 최대 18.3dB, Overall(80Hz~200Hz)값은 18.2dB(A)의 소음저감 효과가 있는 것으로 나타나, 가장 안정적인 부음원과 에러센서간의 거리차인 것으로 평가되었다.

따라서 소음원-부음원-에러센서 사이의 이득조절 등 세밀한 조정을 수행한다면 더 우수한 소음감쇄 효과가 기대되며 추후 능동소음제어 시스템 구현의 기초 자료로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 09기술혁신 E05)에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] P.A. Nelson and S.J. Elliott, "The minimum power output of a pair of free field monopole sources", J. of Sound and Vibration, Vol. 105, pp. 173-178, 1986.
 [2] J. Shao, J.Z. Sha and Z.L. Zhang, "The method of the minimum sum of squared acoustic pressures in an actively controlled noise barrier" J. of Sound and Vibration, Vol. 204, pp. 381-385, 1997.
 [3] 차상근 외4, 능동형 방음벽을 위한 소음분석과 음향H/W설계, 한국음향학회 추계학술발표논문집, 2010