

고속철도 실내소음 저감을 위한 다중채널 능동소음제어 시스템의 위치에 따른 제어 성능 비교 분석

Control Performance Analysis on the Different Position of the Multi-Channel Active Noise Control System for Reducing Interior Noise of KTX

김영민* · 박성원** · 박지호*** · 이권순† · 신은우****

Young Min Kim, Sung Won Park, Ji Ho Park, Kwon Soon Lee and Eun Woo Shin

1. 서 론

국내 KTX는 기술적인 면에서 속도와 안정성이 선진국 수준에 도달하였으나 실내소음저감 부분에서는 아직 기술개발이 필요한 상황이다.

KTX 실내소음의 경우 수동소음제어를 적용한 차량 설계로 어느 정도 환경 기준치를 만족하는 객실 실내소음 수준을 달성하고 있으나, 탑승자들의 불만 사항 2위에 꼽을 정도로 탑승자들의 쾌적한 승차 환경을 위한 실내소음 수준을 만족하지 못하고 있다. 또한 실내소음저감을 위해 수동소음제어 방식은 차량의 무게증가, 비용증가 등으로 한계가 있으므로 능동소음제어의 연구가 절실한 상황이다⁽¹⁾.

본 논문에서는 다중채널 ANC 시스템을 이용하여 Test-bed에서 제어스피커와 에러마이크의 위치에 따른 능동소음제어 기법의 성능을 비교하기로 한다.

2. 다중채널 ANC 시스템^{(2)~(4)}

능동소음제어는 음파의 간섭 원리를 이용한 것으로 제어용 음원을 사용하여 제어 신호를 발생시킴으로써 소음원에서 발생한 소음 신호를 상쇄시키는 것이 기본 원리이다.

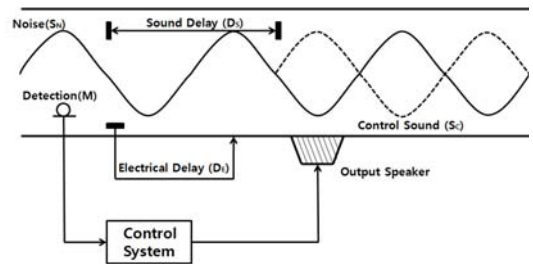


Figure 1 The basic principles of ANC

그림 1은 ANC의 기본원리를 나타내었다. 소음원에서 발생한 소음 S_N 은 덕트를 따라서 전파되어 마이크 M 에 의해 감지된다. 이 감지된 소음은 전기신호로 바뀌며, 제어 시스템을 이용하여 위상을 변화시키고 크기를 증폭하여 출력 스피커로 상쇄파를 내보낸다.

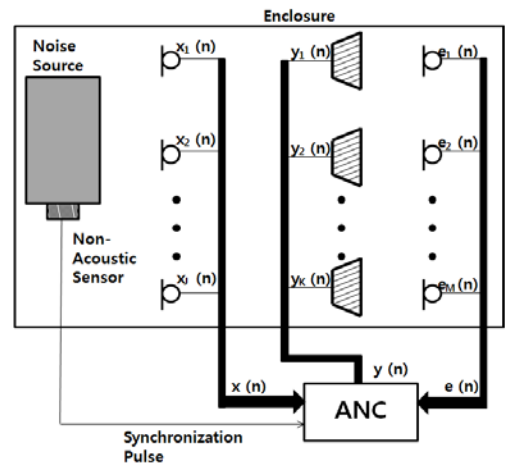


Figure 2 The structure of multi-channel ANC system

† 교신저자; 정회원, 동아대학교 전기공학과
E-mail: kslee@dau.ac.kr
Tel : (051) 200-7739

* 정회원, 동아대학교 전기공학과

** (주) 보강하이텍

*** 한국전기연구원

**** SQ엔지니어링(주)

덕트에서와는 달리 KTX는 소음원이 다양하게 분포하기 때문에 기존의 단일채널 ANC 시스템 보다는 다중채널의 ANC 시스템이 적용 되어야 한다. 그림 2는 다중채널 ANC 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 본 논문에서는 1*2*2(소음원 스피커 1개, 제어용 스피커 2개, 에러마이크 2개)의 다중채널 ANC 시스템을 사용하였으며, 2개의 1차 경로 전달함수와 4개의 2차 경로 전달함수, 4개의 2차 경로 추정 전달함수를 가지고 있다.

3. Lab 기반 Test-bed 모의 실험 환경

다중채널 능동 소음제어시스템의 Test-bed는 그림 3과 같으며 실제 KTX 객차(일반실) 제원(길이 1870cm, 넓이 290cm, 높이 348cm)에 비하여 길이만 1/3로 줄어들었으며 넓이와 높이는 거의 유사한(길이 572cm, 넓이 290cm, 높이 246cm)크기로 제작하였다.

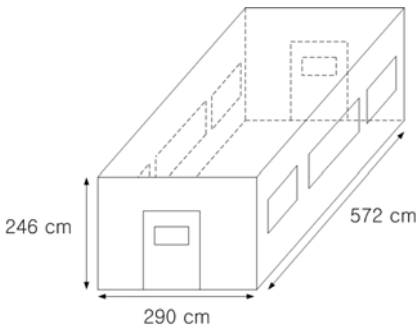


Figure 3 Specification of Test-bed

그림 4는 ANC 시스템의 장치이다. 그림 4(a)의 ANC hardware platform은 FPGA를 이용하여 A/D, D/A 변환을 수행하며, 16bit/8ch의 A/D, D/A 채널 중에 Microphone은 A/D 채널에, 그림 5의 AMP는 D/A 채널에 연결하였다. 그림 4(b)의 Function Generator를 통해 만들어진 Pure-tone을 원소음으로 사용하며, Test-bed 내부에 1*2*2의 다중채널 시스템을 구축하여 제어스피커와 에러마이크의 위치에 따라 어떠한 ANC 성능을 보이는지 관찰하였다.



(a) ANC hardware platform (b) Function generator (TMS320C6713)

Figure 4 Devices of ANC system



Figure 5 Speaker/Microphone AMP

그림 6은 Test-bed 내부에 제어스피커와 에러마이크를 두는 경우의 수를 나타낸 것이다. 제어스피커와 에러마이크의 거리는 0.5m로 고정하고, 에러마이크는 지면으로부터 0.41m 높이에 위치하였다. ①번 위치에서 시작하여 소음원 스피커로부터 0.5m씩 거리를 늘리며 실험을 진행하였으며, 그림 관계상 ②, ④번은 생략하였다.

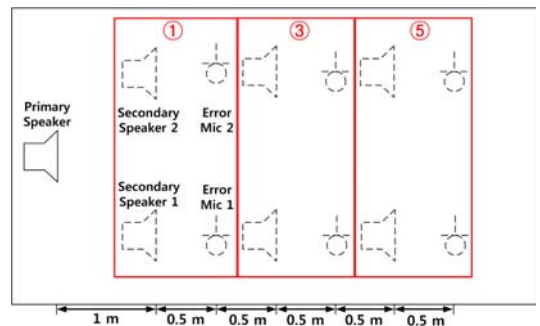


Figure 6 Position of control speakers & error microphones

4. Lab 기반 Test-bed 모의실험 결과

그림 7은 Test-bed에서 그림 6의 ①번 위치 모습이다. 사진과 같이 1*2*2의 다중채널 ANC 시스템을 구성하였으며, 제어스피커와 에러마이크의 위치에 따라 다섯 가지로 구분하여 Pure-tone 120Hz, 260Hz, 360Hz의 주파수로 실험을 진행하였다.



Figure 7 ANC system in Test-bed

표 1 ~3은 각각 ①, ③, ⑤번 위치에서 주파수 별 파형을 나타내었다. 각 그림에서 가장 위의 파형은 원소음이며, 2번째 파형은 에러마이크 1번, 3번째 파형은 에러마이크 2번의 파형이다.

Table 1 Experimental waveform of position ①
(The distance between Primary Speaker and Secondary Speaker : 1.0m)

Frequency	120Hz	260Hz	360Hz
Before ANC			
After ANC			

Table 2 Experimental waveform of position ③
(The distance between Primary Speaker and Secondary Speaker : 2.0m)

Frequency	120Hz	260Hz	360Hz
Before ANC			
After ANC			

Table 3 Experimental waveform of position ⑤
(The distance between Primary Speaker and Secondary Speaker : 3.0m)

Frequency	120Hz	260Hz	360Hz
Before ANC			
After ANC			

표 4에는 120Hz의 Pure-tone을 이용하여 제어스피커와 에러마이크를 옮기며 실험한 결과값을 나타내었다. 120Hz Pure-tone은 ③번(소음원-제어스피커 거리 1.5m)위치에서 가장 좋은 성능을 나타내었으며 평균 -7.06[dB]의 감쇄효과를 보였다.

Table 4 The result of 120Hz Pure-tone experiment

The position of experiment	①	②	③	④	⑤
Before ANC	94.3[dB]	92[dB]	95.7[dB]	97.2[dB]	92.7[dB]
After ANC	89.3[dB]	88[dB]	82[dB]	84.7[dB]	92.6[dB]
Reduction	-5[dB]	-4[dB]	-13.7[dB]	-12.5[dB]	-0.1[dB]

표 5는 260Hz의 Pure-tone 실험이며, ④번(소음원-제어스피커 거리 2.0m)위치에서 가장 좋은 성능을 나타내었으며, 평균 -3.84[dB]의 감쇄효과를 보였다.

Table 5 The result of 260Hz Pure-tone experiment

The position of experiment	①	②	③	④	⑤
Before ANC	87[dB]	92.4[dB]	82[dB]	87.8[dB]	92.3[dB]
After ANC	83[dB]	89.4[dB]	79.2[dB]	78.9[dB]	91[dB]
Reduction	-4[dB]	-3[dB]	-2[dB]	-8.9[dB]	-1.3[dB]

표 6의 360Hz Pure-tone 실험은 ①번(소음원-제어스피커 거리 1.0m)위치에서 가장 좋은 성능을 나타내었으며 평균 -2.62[dB]의 감쇄효과를 보였다. 360Hz는 다른 주파수에 비해 상대적인 고주파로 반사음으로 인해 소음감쇄 효과가 적은 것으로 사료된다.

Table 6 The result of 360Hz Pure-tone experiment

The position of experiment	①	②	③	④	⑤
Before ANC	90.5[dB]	93.8[dB]	93.2[dB]	84.5[dB]	87.7[dB]
After ANC	86.9[dB]	90.8[dB]	90.3[dB]	83.7[dB]	84.9[dB]
Reduction	-3.6[dB]	-3[dB]	-2.9[dB]	-0.8[dB]	-2.8[dB]

또한, 각 위치별 평균 감쇄 효과를 살펴보면 ①번 위치에서 -4.2[dB], ②번 위치에서 -3.33[dB], ③번 위치에서 -6.2[dB], ④번 위치에서 -7.4[dB], ⑤번 위치에서 -1.4[dB]로, ④번 위치에서 평균적으로 감쇄효과가 크게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 Test-bed에서 제어스피커와 에러

마이크의 위치를 가변하며 120Hz, 260Hz, 360Hz의 Pure-tone으로 다중채널 ANC 시스템의 성능을 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 세 가지의 주파수 중에서 120Hz가 평균 -7.06[dB]이 감소하여 가장 많은 감쇄를 보였으며, 각 위치 중에서는 ④번 위치에서 평균 -7.4[dB]로 감쇄효과가 가장 크게 나타났다.

둘째, 120Hz에서는 ③번, 260Hz에서는 ④번, 360Hz에서는 ①번 위치에서 소음감쇄가 가장 잘 되었으며, 주파수에 따라 소음감쇄 효과가 좋은 위치가 다르다는 것을 확인하였다.

따라서, 다양한 주파수 영역에서도 항상 뛰어난 소음감쇄 성능을 보이는 최적의 위치를 찾기 위해서 더욱 다양한 위치에서의 연구가 필요하며, 제어스피커와 에러마이크의 높이에 따른 소음감쇄 효과 또한 연구되어야 할 것으로 보인다.

향후에는 이번 실험을 진행하며 느꼈던 문제점과 위에서 언급했던 사항을 보완하여 더욱 명확한 결과를 얻을 수 있도록 실험을 진행할 예정이다.

후 기

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

참고 문헌

- [1] 여대연, “철도차량 실내소음저감을 위한 순환형 신경망 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p.2004-2005, 2010
- [2] 안동준, “능동 소음제어를 위한 적응필터의 설계” 단국대학교 박사학위 논문, 1995
- [3] 서성대, “안정성이 강화된 적응필터를 이용한 능동소음제어” 단국대학교 박사학위 논문, 2007
- [4] Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control System, Algorithms and DSP Implementations", John Wiley & Sons, New York, 1996