고속철도 실내소음 저감을 위한 다중채널 ANC 시스템 모델링

Multi-channel ANC System Modeling for Reducing KTX Interior Noise

장 현 석* · 김 새 한** · 이 태 오*** · 구 경 완§ · 이 권 순†

(Hyeon Seok Jang · Sae Han Kim · Tae Oh Lee · Kyung Wan Koo · Kwon Soon Lee)

Abstract - We use largely two methods, how to control the noise of the KTX, they are the passive noise control method and the active noise control method. The passive noise control has been used in a variety of ways since the KTX opening day, but lately it has shown the technical limitations by being dropped sharply. So, it is getting important to conduct the research about ANC that is able to reduce the ambient noise when the environmental-factor changes and be installed easily. To reduce a three-dimensional closed-space sound field like a car of a high-speed rail is hard to do using single channel ANC control system. Therefore we have to model the paths of the noise exactly for reducing the noise. And the control speakers and the error mics should be designed for optimal position. In this paper, we designed the transfer functions for modeling the noise paths under the influence of the distance between control speakers & error mics and primary noise speaker in TEST-BED where there is modeled as actual interior of KTX. We have made the modeling and the simulations of interior environment of KTX car by using three frequency bands of 120Hz, 280Hz, 360Hz. After the modeling, we compared the performance of active noise control and also we analyzed what to affect with difference in distance. After comparing of the performance using Pure Tone 120Hz, 280Hz, 360Hz at each modeling and then we simulated ANC for KTX's interior noise which we measured really and analyzed.

Key Words : KTX, Active noise control, ANC, Modeling

1. 서 론

국내의 KTX를 이용하는 고객들이 질적인 서비스 향상을 추구하면서 KTX가 운행 중에 발생하는 소음을 줄이는 문제가 중요한 요소로 대두하고 있다. KTX의 실내소음을 제어하는 방법에는 크게 수동소음제어 방법과 능동소음제어 방법이 있다.

중 모양의 터널 출입구와 차체의 유선형 전두부 형상으로 공기의 흐름을 원활하게 하거나, 집전장치의 개선으로 스파크 소음 감소, 관절 대차와 장대레일을 이용하여 레일로부터의 진동소음을 획기적으로 감소시키는 방법 등의 수동소음제어 방법은 KTX 개통 이후 KTX 실내소음을 줄이는 주요 역할을 해왔으나 최근에는 이러한 수동소음제어방법으로 개선된 소음 저감률이 급격히 떨어져 기술 수준이 포화상태에 도달했음을 보여주고 있다. 또한, 수동소음제어 방법은 차량의 무게 증가, 비용 증가 등으로 열차 차량에 직접 적용하는 것에 한계가 있기 때문에, 스피커, 마이크, 제어장비만으로 적용 가능한 능동소음제어방법에 대한 연구가 주목받고 있다.

능동소음제어기술은 덕트와 같은 1차원 음장과 고속철도 차량 실내와 같은 3차원 폐공간 음장, 2가지로 구분된다.

KTX와 같은 3차원 폐공간 음장은 소음원이 명확하지 않고, 다양한 원인이 소음을 만들어낸다. 따라서 고속철도차량의 실내소음을 제어하기 위해서는, 이러한 비정상적인 환경소음의 경로를 모델링 하여야 하며 많은 수의 제어스피커와 에러마이크를 활용하여 제어 구간을 확장해야 한다. 그리고 소음원과 제어스피커 및 에러마이크 위치에 따른 제어성능을 분석하여 각 장비의 최적화된 위치 설계가 요구된다.

본 논문에서는 능동소음제어방법으로 KTX의 실내소음 줄이기 위하여 KTX와 환경이 유사한 1/3 크기의 Test-bed를 구축하고, Test-bed 내의 소음전달경로에 대한 모델링을 수행하였다. 또한, 모델링 된 전달함수를 바탕으로 Pure tone과 KTX의 실내소음을 이용한 능동소음제어 소음 저감 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 소음원과 제어스피커&에러마이크의 거리에 따라 2가지 경우로 나누었으며, 소음원과 제어스피커&에러마이크의 거리가 능동소음제어에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

그림 1 KTX 실내소음 제어를 위한 ANC 시스템
Fig. 1 ANC system for reducing KTX's interior noise

† 교신저자, 시니어회원 : 동아대 공대 전기공학과 교수·공박
E-mail : kslee@dau.ac.kr

* 준 회원 : 동아대 공대 전기공학과 석사과정

** 정 회원 : (주)현대자동차 남양연구소 연구원

*** 정 회원 : (주)보강하이텍 연구원

§ 정 회원 : 호서대 공대 국방과학기술학과 교수

접수일자 : 2011년 12월 14일

최종완료 : 2012년 6월 26일

2. 다중채널 ANC 시스템

고속철도 KTX의 내부의 실내소음원은 특정한 위치가 아닌 다양한 위치에 분포하게 된다. 따라서 이러한 소음들을 능동소음제어하기 위하여 그림 2와 같이 많은 제어스피커와 에러마이크를 가지는 다중채널 구조로 제어영역을 확장함으로써 시스템의 제어 가능성과 안정성을 높인다.

그림 2 본 논문에서 제안하는 다중채널 ANC 시스템 구조
Fig. 2 Multi-channel ANC system proposed in this paper

본 논문에서는 KTX의 실내소음 저감 시뮬레이션을 수행하기 위해 그림 2와 같이 고속철도 KTX와 실내 환경이 유사한 1/3로 축소된 크기의 Test-bed를 구축하였다. 그리고 고속철도 KTX의 실내소음을 제어스피커 2개, 에러마이크 2개를 이용한 1×2×2의 다중채널 ANC 시스템을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다.

3. KTX 실내소음

본 논문에서는 시뮬레이션에 사용된 실제 KTX 소음을 측정하고 그 소음을 분석하였다. 본 연구에서는 다양한 소음 종류를 중점으로 두지 않고 Test-bed 내의 소음원과 제어스피커&에러마이크의 위치 관계에 따른 제어 성능 비교를 중점으로 한다. 다양하게 측정된 소음원은 향후 구간별 소음 조건에 따른 제어 성능의 비교/분석용으로 사용될 것이다.

3.1 KTX 실내소음 측정

순수한 KTX 소음을 측정하기 위하여 승객이 없는 조건에서 총 8개의 마이크를 이용하여 KTX의 출입문 방향 좌석에서 130cm/30cm 위치에서 소음을 측정하였다. 측정속도는 80Km(고속)에서 280Km(저속)로 터널구간과 개활지구간을 구별하여 측정하였다. 그림 3은 측정 마이크로폰의 위치를 나타내는 사진이다.

그림 3 마이크로폰의 높이 130cm / 30cm
Fig. 3 The height of microphones (30cm/130cm)

3.2 KTX 실내소음 분석

본 논문은 위에서 측정한 실제 KTX 실내 소음을 분석하였다. 그림 4는 FFT 분석을 Waterfall로 나타낸 그래프이다. 개활지구간과 터널구간 모두 저주파소음을 다량 함유하고 있었으며, 그림 5에서 터널소음이 개활지소음보다 전체적으로 크다는 것을 알 수 있다. 이는 빠른 속도로 KTX가 달릴 때 차체 주위의 공기 흐름이 빨라져서 공기압이 낮아지게 되고, 차체의 틈새를 통해 상대적으로 압력이 높은 차안의 공기가 밖으로 빠져나가 객실 내의 공기 압력과 밀도가 떨어지게 된다. 특히 터널 주행 시 공기 압력과 밀도가 더욱더 떨어지게 되는데 이러한 현상으로 음이 더욱더 증폭되거나 혹은 이 때문에 승객에게는 이명 현상이 발생할 수도 있다.

그림 4 KTX 실내소음 FFT/Waterfall 분석(개활지구간/터널구간)
Fig. 4 FFT/Waterfall analysis for KTX's interior noise(open space / tunnel)

그림 5 KTX 실내소음 DB 분석(개활지구간/터널구간)
Fig. 5 DB analysis for KTX interior noise(open space / tunnel)

4. Test-bed의 3차원 음장 모델링

KTX와 유사한 환경의 Test-bed에서 소음저감 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 Test-bed 내의 소음전달 경로에 대한 모델링이 필요하다. 그림 6의 Test-bed 내부 모델링을 위해서 그림 6과 같이 1×2×2의 다중채널 시스템에 대한 Test-bed 내부의 소음전달 경로를 정하고, 각 경로의 전달 함수를 구하기 위해 적응 필터 방식으로 $P_1(z) \sim S_{22}(z)$ 의 모델링을 실시하였다.

모델링에 필요한 데이터를 얻기 위해서 그림 6의 S_p 에서 소음신호 Pure-tone 또는 KTX 실내 소음을 출력하고, 그림

7의 NI 9234 장비와 연결된 에러마이크 M_0, M_1, M_2 의 마이크로 그 소음을 측정하여 입출력 관계 데이터를 취득하였다. 마찬가지로 제어스피커 S_1 과 S_2 에서도 소음을 출력하여 에러마이크 M_0, M_1, M_2 에서 입출력 관계 데이터를 취득하였다.

그림 6 KTX 모델링 단면도

Fig. 6 KTX Modeling sectional view

그림 7 Test-bed 입출력 데이터 취득 장치

Fig. 7 input-output data acquisition equipment at Test-bed

표 1은 각 경로 전달함수를 정의한다. 이와 같이 정의된 전달함수를 FIR 필터 구조로 P1~P4, S11~S14, S21~S24, S31~S34, S41~S44까지 모델링 한다.

표 1 각 경로의 전달함수 정의

Table 1 Transfer function definition of each paths

경로	전달함수	경로	전달함수
M0 → M1	P1	M0 → M2	P2
M0 → M3	P3	M0 → M4	P4
S1 → M1	S11	S1 → M2	S22
S2 → M1	S21	S2 → M2	S22
S1 → M3	S13	S1 → M4	S14
S2 → M3	S23	S2 → M4	S24
S3 → M1	S31	S3 → M2	S32
S3 → M3	S33	S3 → M4	S34
S4 → M1	S41	S4 → M2	S42
S4 → M3	S43	S4 → M4	S44

사용된 필터 차수는 32차수이며, 추정 오차가 충분히 작아졌을 때를 각 경로의 모델링 전달함수로 사용하였다. 그

림 8은 대표적으로 120Hz에서 P1~P4까지의 전달함수 추정을 나타낸다.

그림 8 Test-bed에서 120Hz의 P1~P4의 경로 모델링

Fig. 8 Modeling of P1~P4 for 120Hz in Test-bed

5. 능동소음제어 시뮬레이션

그림 9는 Test-bed 내부의 주요 장치들의 배치도를 보인 것으로 소음원과 제어스피커&에러마이크의 거리 차이에 따른 제어성능의 특성을 분석하기 위하여 ①번 위치와 ②번 위치의 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 9 Test-bed 내의 주요 장치 배치도

Fig. 9 Major position for speaker and Mic in Test-bed

5.1 Pure Tone 소음제어 시뮬레이션

능동소음제어방법으로 줄이고자 하는 주요 주파수 영역은 500Hz 미만이다. 따라서 Test-bed에서 소음저감 시뮬레이션을 수행하기 위해 Pure tone 120Hz, 280Hz, 360Hz를 이용하여 그림 6의 소음 전달 경로에 대한 전달함수를 구하는 것은 충분한 타당성이 있다고 판단된다. 또한, 소음원과 제어

그림 10 120Hz Pure tone 파형

Fig. 10 120Hz signal

스피커의 위치에 따른 제어성능을 비교하고, 실제 소음을 이용한 시뮬레이션 결과의 가설을 정립하기 위하여 각각의 Pure tone을 이용해 그림 9의 ①번 위치와 ②번 위치의 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 11 120Hz Pure tone 능동소음제어
(에러마이크2 - 왼쪽 ①번 위치 / 오른쪽 ②번 위치)
Fig. 11 ANC results for 120Hz
(Error Mic2 - left ① / right ②)

그림 12 280Hz Pure tone 파형
Fig. 12 280Hz signal

그림 13 280Hz Pure tone 능동소음제어
(에러마이크2 - 왼쪽 ①번 위치 / 오른쪽 ②번 위치)
Fig. 13 ANC results for 280Hz
(Error Mic2 - left ① / right ②)

그림 14 360Hz Pure tone 파형
Fig. 14 360Hz signal

그림 15 360Hz Pure tone 능동소음제어
(에러마이크2 - 왼쪽 ①번 위치 / 오른쪽 ②번 위치)
Fig. 15 ANC results for 360Hz
(Error Mic2 - left ① / right ②)

120Hz, 280Hz, 360Hz 세 경우 모두 ①번 위치와 비교하여 ②번 위치의 ANC on 그래프에서 전체적으로 아래쪽으로 더욱 내려간 것으로 ②번 위치의 저감성능이 더 우수한 것으로 판단된다.

표 2 Pure tone 시뮬레이션 결과

Table 2 Simulation results for Pure tone

모델링 &소음 주파수	Case	평균 감소량[dB]		전체 평균 감소량 [dB]
		Err 1	Err 2	
120Hz	①	61.2	52.7	58.6
		평균 : 56.9		
	②	61.4	59.3	
		평균 : 60.3		
280Hz	①	42.6	40.8	43.8
		평균 : 41.7		
	②	37.3	54.6	
		평균 : 45.9		
360Hz	①	47.9	23.7	39.9
		평균 : 35.8		
	②	42.9	45.2	
		평균 : 44.0		

전체 시뮬레이션을 수행한 결과 표 1에서와 같이 120Hz ①번의 경우 평균 56.9dB, ②번의 경우 평균 60.3dB 감소하였으며, 280Hz는 ①번의 경우 41.7dB, ②번의 경우 45.9dB, 360Hz는 ①번의 경우 35.8dB, ②번의 경우 44.0dB 정도 감소하는 효과를 볼 수 있었다.

Pure tone 실험의 결과를 분석하면, 전반에 걸쳐 ②번 위치의 저감 성능이 ①번 위치보다 좋다는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 바탕으로 ①번 위치와 ②번 위치로 120Hz, 280Hz, 360Hz 모델링 공간에서 KTX 실내소음으로 시뮬레이션하여 Pure tone 시뮬레이션 결과와 비교해볼 것이다.

5.2 KTX 실내 소음제어 시뮬레이션

3.1장에서 설명하였듯이 본 논문에서는 KTX의 실내소음 저감 시뮬레이션을 수행하기 위해 개활지 구간과 터널 구간을 지날 때 발생하는 실내소음을 측정하였다. 소음분석결과 100Hz 주변 및 미만의 소음의 주요 주파수대입과 Pure Tone을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 120Hz가 소음 저감효과가 가장 좋았던 점을 고려하여 대표적인 그래프는 120Hz 모델링에서의 시뮬레이션 결과를 표시한다. 그리고 제어스피커와 에러마이크의 위치에 따른 제어 성능을 확인하기 위해 그림 9의 ①번과 ②번 위치에 대해 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션 결과와 주파수 영역에서 분석하기 위한 FFT 결과를 나타내었다.

그림 16은 시뮬레이션에 사용된 KTX 소음이다. 개활지 구간에서 속도가 200~250km/h이며 창 측, 높이 130cm 위치에서 측정한 KTX 실내소음이며, 터널구간에서 속도가 130~170km/h이며 창 측, 높이 30cm 위치에서 측정한 KTX 실내소음을 사용하였다.

그림 16 개활지/터널구간 KTX 실내소음
Fig. 16 KTX's interior noise(open space/tunnel)

5.2.1 ①번 위치 시뮬레이션 결과(개활지/터널)

그림 16의 개활지 구간의 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링에 그림 9의 ①번의 위치에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

(a) 에러마이크 1 (b) 에러마이크 2

(c) 에러마이크 1 FFT (d) 에러마이크 2 FFT

그림 17 개활지구간 KTX 실내소음 시뮬레이션 결과 / FFT 분석(①번 위치)

Fig. 17 ANC results and FFT analysis for KTX's noise (open space / position ①)

시뮬레이션 결과 에러마이크 1번에서 평균 18.8dB, 2번에서 15.8dB 정도 감소하였으며 평균 17.3dB 정도 감소하였다. 그림 16의 터널구간의 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링에 그림 9의 ①번의 위치에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

(a) 에러마이크 1 (b) 에러마이크 2

(c) 에러마이크 1 FFT (d) 에러마이크 2 FFT

그림 18 터널구간 KTX 실내소음 시뮬레이션 결과 / FFT 분석(①번 위치)

Fig. 18 ANC results and FFT analysis for KTX's noise (tunnel / position ①)

터널구간의 창 측에서 측정한 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링을 이용하여 ①번의 위치에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 에러마이크 1번에서 평균 20.3dB, 2번에서 23.3dB 정도 감소하는 것을 알 수 있었으며 평균 21.8dB 정도 감소하였다.

5.2.2 ②번 위치 시뮬레이션 결과(개활지/터널)

그림 16의 개활지 구간의 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링에 그림 9의 ②번의 위치에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 19 개활지구간 KTX 실내소음 시뮬레이션 결과 / FFT 분석(②번 위치)

Fig. 19 ANC results and FFT analysis for KTX's noise (open space / position ②)

개활지 구간의 창 측에서 측정된 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링을 이용하여 ②번의 위치에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 에러마이크 1번에서 평균 14.1dB, 2번에서 21.0dB 정도 감소하였으며 평균 17.5dB 정도 감소하였다.

그림 16의 터널구간의 KTX 실내소음을 120Hz의 모델링에 그림 9의 ②번의 위치에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 20 터널구간 KTX 실내소음 시뮬레이션 결과 / FFT 분석(②번 위치)

Fig. 20 ANC results and FFT analysis for KTX's noise (tunnel / position ②)

시뮬레이션 결과 에러마이크 1번에서 평균 18.7dB, 2번에서 25.1dB 정도 감소하였으며 평균 21.9dB 정도 감소하였다.

모든 FFT 분석에서 500Hz이하에서 균등한 저감률을 보이며 ANC 성능을 입증하였다. 하지만 공통적으로 50Hz이하 주파수의 저감률이 다른 주파수 대역보다 낮았다.

표 3 KTX 실내소음 시뮬레이션 결과

Table 3 Simulation results for KTX's interior noise

모델링 주파수	측정 구간	Case	평균감소량 [dB]		전체 평균 감소량 [dB]
			Err1	Err2	
120Hz	Open space	①	18.8	15.8	17.3
		②	14.1	21.0	17.5
	Tunnel	①	20.3	23.3	21.8
		②	18.7	25.1	21.9
280Hz	Open space	①	23.4	21.3	22.3
		②	40.3	17.7	29.0
	Tunnel	①	23.4	17.7	20.5
		②	24.6	20.1	22.3
360Hz	Open space	①	11.7	4.3	8.0
		②	12.7	11.1	11.9
	Tunnel	①	7.3	12.1	9.7
		②	19.3	25.4	22.3

120Hz, 280Hz, 360Hz 모델링에서 개활지, 터널소음 모두 ②번 위치에서 ①번 위치에서보다 좋은 소음 저감 성능을 보였다. 다만 120Hz는 성능 차이가 거의 없어, 전체 평균 감소량이 비슷함을 확인할 수 있다

6. 결 론

본 논문은 고속철도 KTX의 실내 환경을 구현한 Test-bed 내부의 제어스피커와 에러마이크의 위치에 따른 소음전달 경로를 모델링하기 위하여 Pure Tone 120Hz, 280Hz, 360Hz를 이용하여 경로별 전달함수를 추정하였다. 모델링 과정을 수행한 후, 소음원과 제어스피커&에러마이크의 거리에 따른 능동소음제어의 성능을 비교/분석하였다. 구체적으로, Pure Tone 120Hz, 280Hz, 360Hz를 이용하여 각각의 모델링에서 소음저감성능을 비교한 후 KTX 실내소음을 이용하여 소음 제어 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 과정과 결과를 다음과 같이 정리한다.

첫째, 우리는 KTX와 유사한 3차원 폐공간인 TEST-BED를 구축하여 공간 내의 120Hz, 280Hz, 360Hz 소음원의 경로를 데이터 취득장비를 이용하여 취득하였다. 이 데이터를 이용하여 주파수별 ANC 시스템의 전달함수를 추정하였으며 이 과정을 ANC 시스템의 모델링이라 정의하였다.

둘째, 소음원과 제어스피커&에러마이크의 거리에 따라 2가지 경우(①번 위치/②번 위치)로 구분하여 Pure tone(120Hz, 280Hz, 360Hz)으로 각각 자신의 주파수별로 모델링 된 전달함수에 맞게 ANC 시뮬레이션하여 그 성능을 비교하였다. 비교결과, ②번 위치의 소음저감성능이 ①번 위치보다 미세하게 높음을 확인할 수 있었으며 전체적인 소음의 저감률은 120Hz가 가장 컸다.

셋째, Pure tone 실험으로 비교된 결과를 바탕으로 실제

측정한 순수한 KTX 소음(개활지/터널)을 대상으로 각 모델링(120Hz, 280Hz, 360Hz)에서 Pure tone 시물레이션과 같이 소음원과 제어스피커&에러마이크 거리에 따라 어떠한 성능/특성을 보이는지 실험 및 그 결과를 비교하였다. 결과는 전반에 걸쳐 ②번 위치의 소음저감성능이 ①번 위치보다 뛰어난 것을 확인하였다. 다만 120Hz 모델링에서 실제 소음의 저감성능이 크게 차이를 보이지 않았는데 이는 120Hz와 그 주변의 주파수가 소음의 주요 주파수대역이기 때문에 줄일 수 있는 소음원의 주파수대역이 넓어 그 성능에서 별반 차이가 없다고 판단되며, 280Hz, 360Hz의 실험 결과에서는 ②번 위치의 제어시스템이 ①번 위치보다 확연히 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 그리고 280Hz보다 360Hz가 더 큰 저감률을 보였다.

종합적으로 Pure tone과 실제 소음 모두 ②번 위치에서 더 좋은 성능을 보이는 이유는 소음원과 에러마이크의 위치가 너무 가까우면 제어 음이 소음을 실시간으로 추정하는데 어려움을 가질 것이다. 따라서 소음의 추정시간이 확보된 ②번의 위치에서 더 좋은 저감성능을 보였으리라 분석한다.

추가로, 실제 소음 시물레이션의 FFT 분석에서 50Hz 이하의 저감률이 다른 주파수 대역보다 공통적으로 낮았다. 상대적으로 소음 대부분을 차지하고 있는 50Hz 또는 100Hz 이하의 대역이 다른 대역들과 마찬가지로 균등하게 감소하였다면 훨씬 좋은 성능을 낼 것이다. 정리하면, 전체 주파수와 비교하여 상대적으로 주요 주파수 대역은 ANC 성능이 뚜렷하기가 어려운 것으로 해석된다. 앞서 언급하였듯이 120Hz 주변의 소음의 물리적인 양이 많아 제어(저감)할 대상은 많으나, 그만큼 소음의 주요 주파수 대역 전체를 제어(저감)하기는 어려운 것이다. 그러므로 이러한 소음 대부분을 차지하는 주요 주파수 대역을 감소시킨다면 획기적인 소음 저감성능을 얻어낼 수 있을 것이다. 다양한 알고리즘과 시스템의 발전을 통해 앞으로 중점적으로 연구할 필요성이 보인다.

향후, 복잡한 비선형성으로 현재 시스템에서 추정할 수 없었던 KTX 실내소음의 전달함수를 fuzzy와 neural network 등의 인공지능 알고리즘을 개발/적용하여 추정할 수 있도록 할 것이며, 본 논문에서 검증된 소음원과 제어스피커&에러마이크 거리에 따른 ANC 성능 특성을 바탕으로 실제 TEST-BED 실험에서의 제어스피커 및 에러마이크의 최적 위치를 설계할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2012학년도 동아대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Hyun Do Nam, "Active noise control in a one - dimensional sound field", KSNVE(Korea Society for Noise and Vibration Engineering), Vol. 5, No.4, page(s). 461~567,1995
- [2] Seong Ik Han, Dae Yon Rye, Sae Han Kim, Kwon Soon Lee, "Research on the Performance Improvement of the Active Noise Control System Using RFNN", 2010 KIEE Electrical Equipment Expert Committee Symposium, page(s). 473~476, 2010.4.
- [3] Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control System, Algorithms and DSP Implementations", John Wiley & Sons, New York, 1996.
- [4] HyeonSeok Jang, Young Min Kim, Tae Oh Lee, Kwon Soon Lee, "KTX Interior Noise Reduction Performance Comparison Using Multichannel Active Noise Control for Each Section", KIEE, Vol.61, No.1, pp. 179-185, 2012.1
- [5] Hyun Chul Jo, Kwon Soon Lee, Hyun Do Nam, "A Neural Multiple LMS Based ANC System for Reducing Acoustic Noise of High-Speed Trains" KIEE, vol. 58p, no 4, page(s). 369-643, 2009.
- [6] X. Yegui, A Ikuta, M. Liying, K. Khorasani, "Stochastic analysis of the FXLMS-Based narrowband active noise control system," IEEE Trans. On Audio, Speech, & Language Processing, vol. 16, no 5, pp.1000-1014, 2008.
- [7] S.J.Elliot and P.A.Nelson, "Active Noise Control," IEEE Sign. Process Mag., vol. 10, pp. 12-35, 1993.
- [8] Y.Maeda and T.Yoshida, "An Active Noise Control without Estimation of Secondary Path-ANC Using Simultaneous Perturbation," Active 1999, Florida, USA, pp. 985-994, 1999.
- [9] A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd Edition, New York: McGraw-Hill, 1991.

저 자 소 개

장 현 석 (張 炫 錫)

2011년 8월 동아대 전기공학과 졸업(학사), 2011년 9월~현재 동아대 대학원 전기공학과 제어 및 시스템 연구실 석사과정.

김 새 한 (金 塞 翰)

2010년 2월 동아대 전기공학과 졸업(학사), 2010년 3월~2012년 2월 동아대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2012년 3월 ~ 현재 (주)현대자동차 남양연구소 연구원.

이 태 오 (李 泰 吾)

1997년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(학사), 1999년 동대학/동학과 졸업(석사), 2003년 동대학/동학과 졸업(박사), 2000년~2009년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 전임강사, 2009년 6월~ 2012년 2월 동아대학교 전기공학과 BK21 연구교수, 2012년 3월~현재 (주)보강하이텍 연구원.

구 경 완 (丘 庚 完)

1983년 충남대학교 전자공학과졸업(학사), 1985년 동대학원 전자공학과졸업(석사), 1992년 동대학원 전자공학과 졸업(박사), 1987년~1989년 현대전자(주) 반도체연구소 선임연구원, 1989년~1994년 충청대학교 교수, 1994년~2005년 영동대학교 부교수, 2005년~현재 호서대학교 교수.

Tel : 041-540-9541

Fax : 041-540-9548

E-mail : alarmkoo@hoseo.edu

이 권 순 (李 權 純)

1977년 충남대학교 공업교육학과 졸업(학사), 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1990년 미국 오레곤주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph.D.), 1997년 Virginia Polytech 교환교수, 2003년~2008년 과학기술부지정 국가지정연구실(NRL), 관심분야: 지능시스템, 자동제어, 설비고장진단, 항만자동화 1982년~현재 동아대학교 전기공학과 교수.

Tel : 051-200-7739

Fex : 051-200-7743

E-mail : kslee@dau.ac.kr