

DSP를 이용한 능동소음 제어시스템의 개발

김홍섭\*, 신준\*, 박호\*\*, 오재응\*\*\*

Development of Active Noise Control System using DSP

Heung-Seob Kim\*, Joon Shin\*, Ho Park\*\*, Jae-Eung Oh\*\*\*

ABSTRACT

Active noise control technique has superior performance in low frequency ranges(50~400Hz) to the conventional passive noise control technique. For the feasibility of active noise control, it is required to develop a controller which can implement control algorithm on real-time. In this study, therefore, real-time controller is developed using TMS320c25, high speed digital processor. Unlike conventional DSP board of complete ADD ON type, it is possible for the developed controller to interface with the other computer system easily by series communication for the convenience of program development. Furthermore it is designed to be separated readily as a control device. Active noise control of duct system is implemented to evaluate a performance of developed device. Active noise control of duct system is implemented to evaluate a performance of developed controller using filtered-x LMS algorithm.

**Key Words** : Active noise control(능동소음제어), Realtime controller(실시간 제어기), Source speaker(음원 스피커), Control speaker(제어 스피커), Detect microphone(탐지 마이크로폰), Error microphone(오차 마이크로폰)

1. 서론

현대 문명의 발달로 인류는 갖가지 문화적 혜택을 누리며 살아가고 있으며 경제 여건과 생활수준의 향상으로 소음과 진동등 주변환경 개선에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 산업현장에서 공기조화 덕트의 소음과 진동, 사무실 내의 각종 사무기기 및 냉난방 시설에 의한 소음 그리고 가정에서의 가전제품의 소음의 개선에 대한 요구가 증가되고 있으며 환경보전 측면에서 철로변에 방음벽을 설치한다든지 공항의 비행기 소음에 대한

대책 마련 그리고 자동차 소음에 대한 규제등 각종 노력을 기울이고 있다.

소음과 진동을 제어하기 위한 종래의 방법은 발생된 소음과 진동을 소음기의 부착이나 구조물의 설계 변경을 저감시키는 수동적인 방법이었다. 그러나 이러한 수동적인 방법은 저주파 영역에서 비효율적이며 소음기 및 부착물에 의한 부피의 증가 그리고 구조물의 특성상 구조물의 설계 변경에 따르는 비용과 시간 소모가 많기 때문에 이를 극복하기 위한 대안이 절실하게 요구되고 있다. (1) 따라서 이러한 기존에 사용되어 왔던 수동적 방

\* 한양대학교 정밀기계공학과

\*\* 국방과학연구소 선임연구원

\*\*\* 한양대학교 자동차공학과

법에 비해 우수한 성능특성을 갖는 능동소음제어의 개념을 도입하게 되었으며 이러한 능동적인 제어의 가능성에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 능동적인 제어를 수행하기 위해서는 복잡한 능동제어 알고리즘을 실시간으로 처리할 수 있는 고속의 연산장치가 필요로 한다. 전자산업이 고도로 발달함에 따라 이러한 복잡한 제어 알고리즘을 빠르게 수행할 수 있는 연산장치를 쉽게 구할 수 있게 되어 능동제어의 실시간 처리가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 고속연산 소자중 TI사의 디지털 신호처리 전용 소자인 TMS320c25를 사용하여 제어 알고리즘을 실시간 처리할 수 있는 제어장치를 개발하였다. 개발된 제어장치는 기존의 완전한 ADD ON 보드 방식의 DSP 보드와는 다르게 프로그램 개발의 편의성을 위하여 직렬통신 방법으로 손쉽게 다른 컴퓨터 시스템과 인터페이스가 가능하고 또한 제어장치 자체만으로서 쉽게 독립시킬 수 있도록 설계되었다. 개발된 제어장치의 성능을 평가하기 위하여 filtered-x LMS 알고리즘을 이용하여 실제 덕트 구조물의 능동소음제어를 수행함으로써 본 제어장치를 이용한 능동소음제어의 가능성을 확인하였다.

## 2. 하드웨어 개발 (2. 3. 4. 5)

### 2.1 하드웨어 계통도

본 연구에서 개발한 하드웨어는 크게 2부분으로 구분

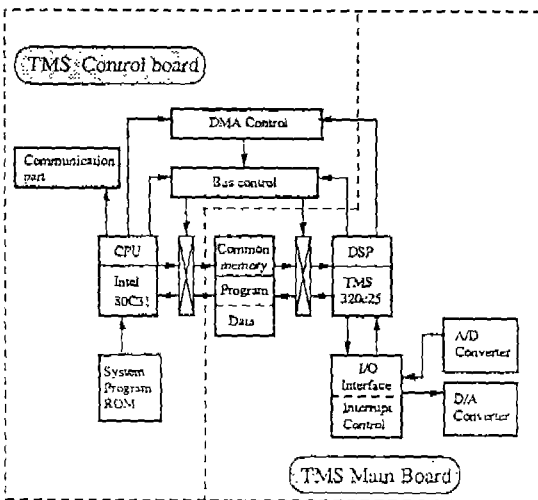


Fig.1 Block diagram of hardware structure

되며 각각은 TMS Control Board, TMS Main Board로 명명하였다. Fig.1의 하드웨어 구조에서 TMS Control Board는 좌측 상단의 점선으로 나누어진 부분이며, TMS Main Board는 우측 하단의 점선으로 나누어진 부분이다. 실제로 이 두 부분은 각각 다른 기판에 구성되어 있으며 서로 96핀의 커넥터로 연결되어 있다.

### 2.2 TMS Control Board 회로

TMS Control Board는 실제 제어 알고리즘을 수행하는 하드웨어는 아니다. 이 보드는 실제 알고리즘을 개발시 작성과 수정을 용이하게 하는데 도움을 주는 것이다. 실제 제어 알고리즘, 즉 TMS320c25에서 수행되어야 할 알고리즘을 IBM-PC에서 어셈블리로 작성하여 크로스 어셈블러(cross assembler)로 컴파일하면 ASCII로 된 16진수 코드(hexadecimal code)가 생성된다. 이것을 2진수 코드(binary code)로 바꾸어 직렬 포트(RS-232C)로 통신하여 TMS Main Board에 있는 프로그램 영역의 에스램(SRAM)에 저장시켜야 한다. 이 과정에서 TMS Main Board의 TMS320c25가 에스램을 액세스(access)하면 TMS Control Board와 어드레스 버스(address bus) 충돌을 일으키므로 그동안 TMS320c25를 일시 동작을 멈추게 하기 위하여 TMS320c25를 홀드(HOLD)시켜야 한다. 그리고 TMS Control Board가 TMS320c25가 수행할 알고리즘을 모두 전송받아 에스램에 저장이 완료되면 TMS320c25의 홀드를 해제하여 TMS320c25가 제어 알고리즘을 수행할 수 있도록 해주어야 한다. 이러한 일련의 과정을 TMS Control Board가 맡는데 이를 위하여 본 연구에서는 Intel의 80C31 8비트 마이크로프로세서를 사용하여 처리

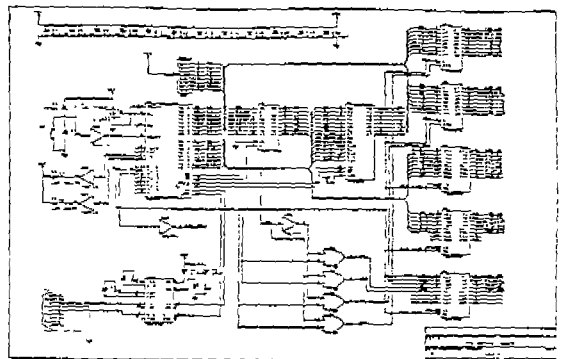


Fig.2 Circuit of TMS control board

하였다. 사용된 주요 소자로는 롬(ROM)은 INTEL 27C256, 직렬 포트의 레벨 컨버터(level converter)는 MAX232를 사용하였다. TMS Control Board 주요 회로는 Fig. 2와 같다.

### 2.3 TMS Main Board 회로

TMS Main Board는 능동제어에 필요한 알고리즘 프로그램을 실시간으로 수행하는 보드로서 제어 알고리즘의 실시간 처리를 위하여 TI사 DSP 소자인 TMS320c25를 사용하였으며, 빠른 TMS320c25의 액세스 타임을 맞추기 위해 에스램은 액세스 타임이 25 nsec인 65764H-25를 사용하였다. A/D와 D/A 컨버터는 각각 Analog Device 사의 AD7872JN와 AD7840JN을 사용하였다. 이 A/D와 D/A 컨버터는 각각 14 bit의 해상도를 가지고 있다. 본 연구에서 제작된 TMS Main Board의 회로 구성은 Fig. 3과 같다.

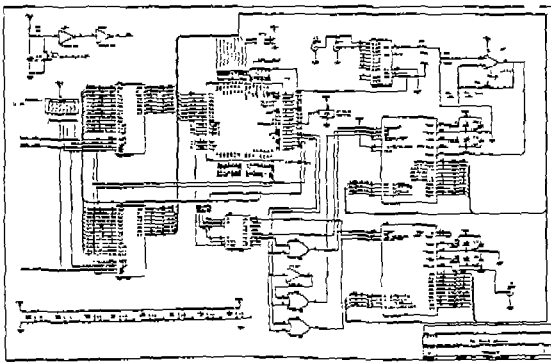


Fig. 3 Circuit of TMS main board

## 3. 소프트웨어 개발(2)

능동제어용 제어장치에는 크게 두 가지 시스템 소프트웨어가 있다. 그 첫째는 TMS320c25가 수행할 제어 알고리즘을 IBM-PC로부터 제어장치로 전송할 IBM-PC 상의 프로그램이고 둘째는 IBM-PC로부터 제어 알고리즘을 전송받아 프로그램 영역의 에스램에 저장하고 그 동안 TMS320c25를 제어할 시스템 프로그램이다.

### 3.1 TMS Program Upload Software 개발

TMS Program Upload 소프트웨어 프로그램의 순서도는 Fig. 4와 같다. 먼저 사용 변수와 IBM-PC의 직렬

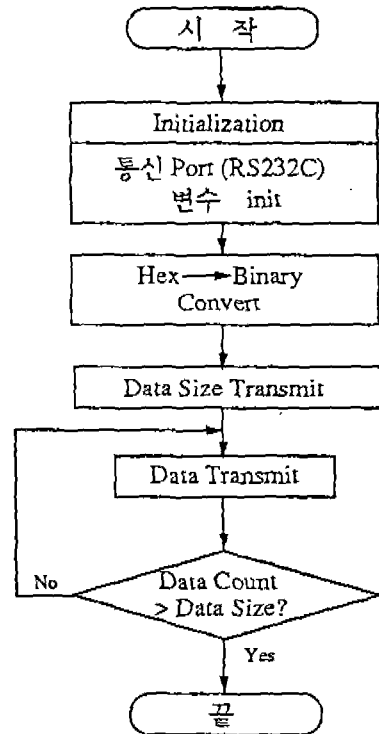


Fig. 4 Flow chart of TMS program upload software

통신 포트를 초기화한다. 그리고 크로스 어셈블러에서 컴파일된 TMS320c25의 명령어 코드 파일을 읽어 16진수 ASCII 형태의 코드를 2진수 코드로 변환한 후 전체 코드의 크기를 계산한다. 그 다음 2진수 코드를 순서대로 모두 전송한다. 프로그램의 전송 속도는 1200 baud rate이며, 데이터는 8 bit이다.

### 3.2 TMS Control Board System Software 개발

TMS Control Board 시스템 소프트웨어의 순서도는 Fig. 5와 같다. 먼저 TMS Control Board의 마이크로 프로세서인 80c31을 초기화하고 TMS320c25의 프로그램을 전송받기 전에 변수 데이터 카운트(data counter)와 어드레스를 초기화한다. TMS320c25의 동작을 중지시키기 위해서 TMS320c25를 홀드하고 TMS320c25의 프로그램을 전송받아 프로그램 영역의 에스램에 저장한다. 완전히 저장이 완료됨을 발광 다이오드(LED)를 이용하여 표시하고 TMS320c25가 알고리즘을 수행할 수 있도록 TMS320c25의 홀드를 해제한다.

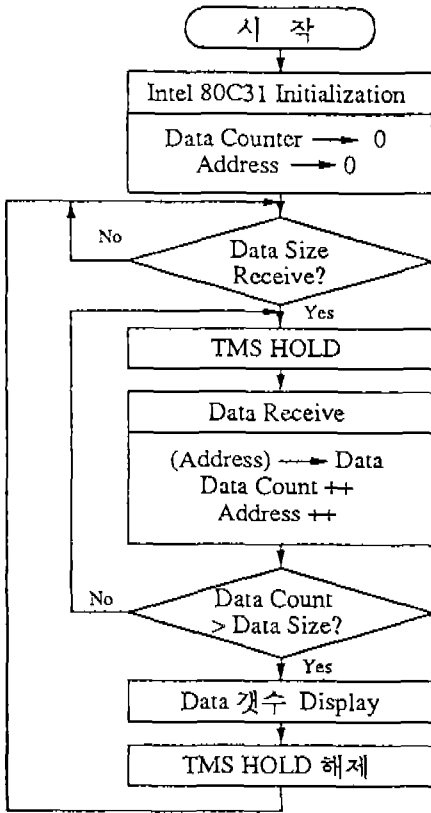


Fig.5 Flow chart of TMS control board system software

4. 성능 평가를 위한 실험장치 및 실험방법

실험의 대상이 되는 덕트는 건축물의 실내공기 조화용으로 사용되는 덕트이다. 일반적으로 공조 덕트에는 팬이 가동되면서 회전수에 관계된 주기 성분과 랜덤한 성분이 합쳐진 저주파 소음이 발생되는데 이러한 덕트에서 소음제어 실험을 수행하기 위하여 Fig.6과 같은 실험용 덕트를 제작하였다.

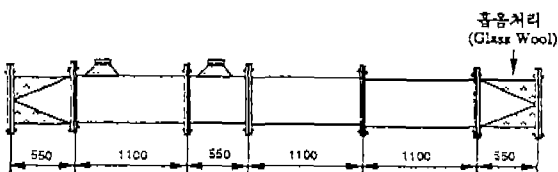


Fig.6 Dimension of duct system

실험에 사용된 덕트는 길이 4.95m이며 단면이 180×180mm인 정사각형이다. 재질은 투명한 아크릴이며 두께가 10mm인 것을 사용하였다. 덕트의 양끝에는 덕트의 길이를 무한대로 가정할 수 있도록 유리솜을 채기 형으로 설치하였다. 팬의 주기 성분과 랜덤 성분을 대신할 수 있는 음원 스피커(source speaker)를 설치하였으며, 여기에서 소음이 발생하면 이 소음은 감지 마이크로폰(detect microphone)에서 측정되어 능동소음 제어계로 보내진다. filtered-x 알고리즘<sup>[6-8]</sup>에 의해 발생한 제어 신호는 제어 스피커(control speaker)에서 덕트로 가해지며 오차 마이크로폰(error microphone)에서 남아있는 소음을 다시 능동소음제어계로 보내어 제어계의 가중치를 적응시키도록 되어 있다.

여기서 실험장치의 계통도를 보면 신호 발생기(LEADER LFG-1300)를 사용하여 소음을 발생시켰고 두개의 마이크로폰(B & K TYPE 4130)을 각각 탐지와 에러 마이크로폰으로 사용하였다. 제어장치로는 본 연구에서 개발된 능동제어장치를 사용하였고 저역 통과 필터(KROHMHTE model 3550)를 사용하여 D/A 출력의 고주파 성분을 제거하였다. 그리고 제어 결과를 디지털 오실로스코프(HP 54503A)와 스펙트럼 분석기(SD-375)로 확인하였다.

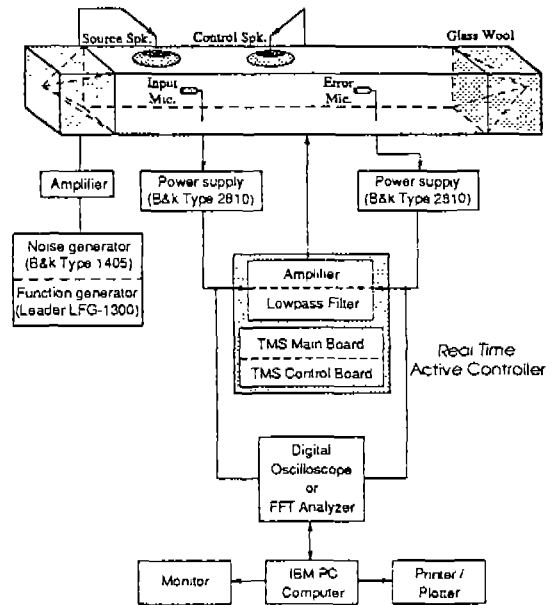


Fig.7 Schematic diagram of active noise control experiment in a duct system

실험방법은 filtered-x LMS 알고리즘을 TMS320c25 의 크로스 어셈블러로 컴파일한 후 TMS upload Program을 이용하여 IBM-PC로부터 TMS Control Board로 전송한다. 전송이 모두 끝나면 TMS Control Board에서 프로그램의 크기를 표시하는데 이것이 전송된 프로그램의 크기와 일치하면 전송이 정확하게 된 것이다. 전송이 완료되고 TMS Main Board의 리셋(reset) 스위치를 누르면 TMS Main Board가 제어 알고리즘을 수행한다. 실제 실험에서는 신호 발생기에서 발생된 200Hz의 정현파(pure tone)과 150~250Hz의 주파수 대역을 갖는 백색 잡음(white noise) 신호를 사용하였다.

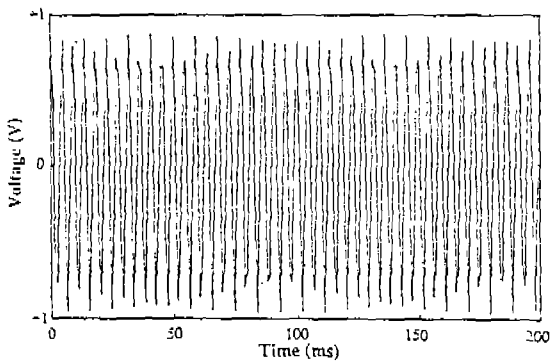
### 5. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 개발된 능동소음제어 시스템의 성능을

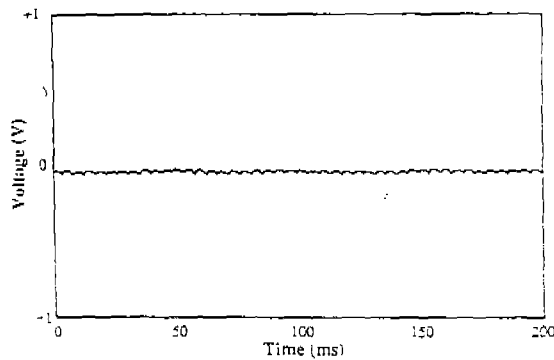
파악하기 위하여 제작된 덕트에서 각각 소음과 랜덤 소음에 대하여 실험을 한 결과 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

200Hz의 순음에 대한 능동소음제어 결과 20dB 정도의 소음이 저감됨을 알 수 있었다. 감쇠하는데 걸리는 시간은 200ms 정도로 짧으며, 주파수 성분이 바뀌어도 적응하여 제어함을 알 수 있다.

백색 잡음에 대한 능동소음제어 결과 3~5dB 정도의 소음이 감쇠하는 것을 알 수 있었다. 150Hz 이하의 저주파에서는 제어 스피커의 성능이 떨어지는 이유로 제어후에 소음이 증가하는 결과를 나타내는데 제어 대상이 되는 주파수 범위를 더욱 낮추기 위해서는 저주파에서도 좋은 성능을 가지는 스피커를 사용하여야만 한다. 300Hz 이상의 주파수에서는 제어 효과가 나타나지 않는데 이것은 제어 스피커에서 제어 신호를 방사할 때 음향학적 고차 모드의 영향으로 300Hz 이상의 제어음은

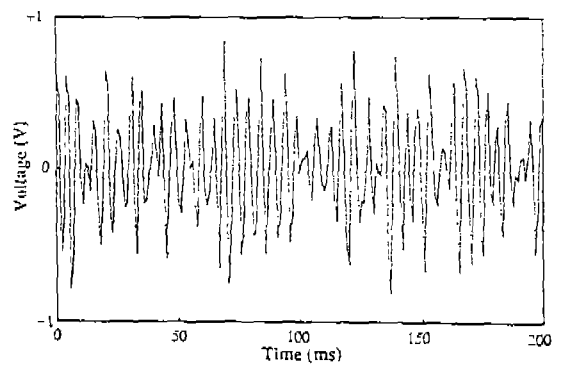


(a) Without control

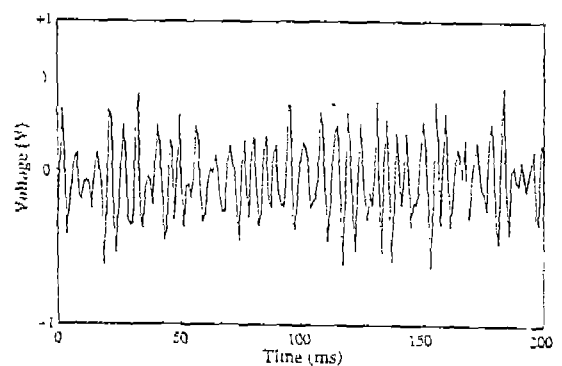


(b) With control

Fig.8 Results of experiment of puretone



(a) Without control



(b) With control

Fig.9 Results of experiment of white noise

오차 마이크로폰으로 전달되지 않기 때문이다. (8) 이 현상은 오차 마이크로폰의 위치를 제어 스피커의 위치에서 멀리 옮겨서 실험을 하면 없어진다. 그러나 이것은 고속프로세서에서 오차계에 대한 모델링시 실시간 처리의 한계로 인해 적용 필터의 차수를 무한히 늘릴 수 없으므로 모델링 오차를 발생시킨다.

## 6. 결 론

본 연구에서 실시간 처리 능동제어장치를 개발하여 능동소음제어에 적용한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 개발된 실시간 처리 능동소음제어장치의 하드웨어 시스템이 잘 구동됨을 알 수 있었다.
- (2) 개발된 실시간 처리 능동소음제어장치의 시스템 소프트웨어(upload, TMS320c25 HOLD, memory device control, A/D D/A control 등)이 잘 수행됨을 알 수 있었다.
- (3) 본 시스템을 실제 덕트에 적용하여 순음과 랜덤 소음에 대해서 각각 능동소음제어를 수행한 결과 잘 제어됨을 알 수 있었다.

향후 연구에서는 TMS main board의 TMS320c25 내부의 메모리의 데이터를 IBM-PC로 전송하는 Download program의 개발을 수행하고자 한다.

## 참고문헌

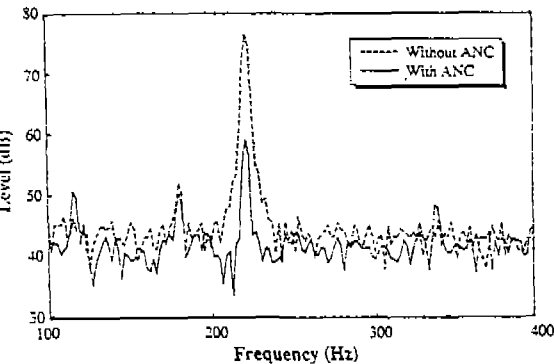


Fig.10 Result spectrum of experiment of puretone

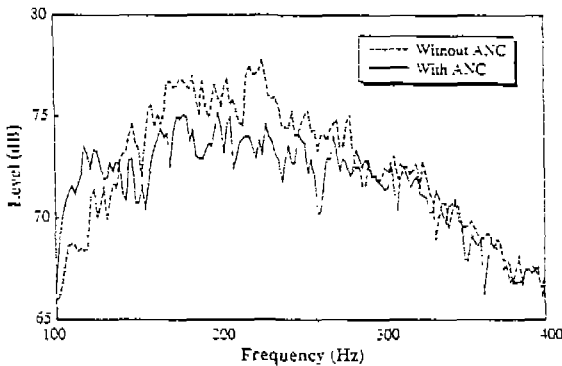


Fig.11 Result spectrum of experiment of white noise

1. R. R. Leitch and M. O. Tokhi, "Active noise control system", proc. IEEE, Vol. 134, Pt. A, No. 6, pp.525~546, 1987
2. Second-Generation TMS320 User's Guide, TEXAS INSTRUMENT, 1990
3. Embedded Controller handbook, INTEL, 1988
4. BiCMOS/CMOS DATABOOK, CYPRESS SEMICONDUCTOR, 1991
5. DATA CONVERSION PRODUCTS DATABOOK, ANALOG DEVICES, 1990
6. Bernard Widrow, Asmuel D. Stearns, 1985, Adaptive signal processing, Prentice-Hall, Inc., pp.15~29
7. 이태연, 김철호, 오재응, 1991, "적용신호처리기법을 이용한 능동소음제어에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 제15권 제3호, pp.809~823
8. 우재학, "Filtered-x LMS 알고리즘을 응용한 덕트 내 평면과 소음의 능동제어", KAIST 석사학위논문, 1992