

설비형 소음제어 (Active Noise Control)

기법

이정호 / 연구개발부 차장

제작일자	제작장소	제작자명	제작자연번
088.0	0.1 + X88.0 = Y	180.0	
888.0	0.1 - X88.0 = Y	280.0	
88.0	0.1 + X88.0 = Y	380.0	
08.0	0.1 - X88.0 = Y	480.0	

그림 9) 관체밀역에 대한 측정자료

소

음을 제어하는 방법에는 음의 투과손실을 이용하는 차음, 음의 투과저항을 이용하는 흡음 등의 자연형기법(Passive Techniques)과 음의 위상차를 이용하는 설비형기법(능동형기법 또는 Active Techniques) 등이 있다.

현재 자연형기법은 차음벽에서 소음엘보나 Sound Trap 등에 이르기 까지 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이들 기법들은 고주파대역의 소음(騷音)을 소음(消音)하는 데는 비교적 효과가 있는 반면, 저주파대역의 소음에는 그 효과가 매우 미미한 것으로 나타나고 있다.

특히, 건물공조에서 발생하는 소음은 500Hz 이하 대역에 소음 에너지가 집중되어 있어, 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다. 따라서 본고에서는 기존에 개발되어 있는 제품들을 중심으로, 저주파 대역의 소음을 소음(消音)시킬 수 있는 방안을 소개하고자 한다.

소음처리기법 현황

1. 건물소음의 종류

1) 구조체 투과음

구조체 투과음이란 소리가 전달되는 과정에서 구조체를 직접 투과하여 전달되는 소리로서, 구조체의 면밀도(단위 면적당 중량) 및 음의 주파수에 비례한다.

$$TLo = 20\log f^*m - 43 \text{ (dB)}$$

이를 차음에 관한 질량법칙이라 하며, 고주파 영역에서 투과음의 예상 정도가 보다 명확해진다. 즉, 구조체의 중량이나 주파수가 2배 정도 증가할 경우, 투과음의 투과손실량은 6dB 정도 증가한다.

2) 구조체 진동음

일반적으로 구조체는 유한한 면적과 여러가지 경계조건을 갖는다. 특히 바닥 구조체는 저주파수 대역인 기본 공진주파수에서 판진동에 의해 소리를 전달한다. 이를 구조체 투과음과 구분하여 상충격음이라 규정하고 있다.

주변을 지지하는 장방형 간격의 기본 공진주파수는 다음과 같이 구한다.

$$Fr = 0.45 * v1 * b / ((1/L)2 + (1/H)2)$$

b = 벽의 두께 (m), L = 벽의 길이 (m).

H = 벽의 높이 (m), v_1 = 간벽내 종파의 속도 (m/s)
구조체 진동은 특히 공동주택에서 시급히 해결해야 할 문제로 제기되고 있다.

현재 이 문제를 해결하기 위한 방안으로 구조체의 절연 등이 제시되고는 있지만, 현실적으로 시공상의 어려움 및 경제성 악화 등으로 아직까지는 완벽한 해결책이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

3) 기계 진동

건물분야에서 일반적으로 발생하는 기계진동은 모터류가 가동되면서 발생하는 회전체에 의한 진동 및 이로인해 파생되는 저주파소음을 총칭한다. 이중 공조소음은 서론에서 언급한 바와 같이, 500Hz 이하의 주파수대역에 소음에너지가 집중되고 있는 반면, 풍량이나 풍속별로 어느 정도 일정한 패턴의 진폭을 갖는 음이 발생하는 특징이 있다.

더욱이 이를 음은 비정기적으로 발생하는 건축소음과 달리 지속적이며, 일정한 주기를 가지며, 건축환경에 상대적으로 협소한 공간을 구성하고 있는 관계로, 이를 특성을 최대한 활용하여 소음(騷音)을 소음(消音)시키고자 개발한 방안이 바로 본고에서 소개하는 설비형 소음제어기법 즉, Active Noise Control 기법이다.

2. 기존의 소음처리기법 및 특성

기존의 소음처리 기법은 흡음, 차음 및 방진으로 구분되며, 목적에 따라 각각의 기능에 적합한 재료의 선택이 요구된다.

먼저 차음재를 사용하는 경우는, 건물 외부로 부터의 소음이나 인접실로 부터 전달되는 소음을 방지하기 위하여 밀실한 구조체를 사용함으로써 구조체에 의한 음의 투과손실량을 극대화시키는 기법이다. 차음재료의 밀도에 비례하여 차음성이 좋아진다.

또한 입사음의 대부분이 차음재의 배후로 나가지 못하기 때문에, 차음판의 전면에는 커다란 반사파가 존재한다.

흡음재의 경우는, 재료가 음을 투과시킬 때, 재료 내부의 투과저항을 이용하여 소리에너지를 열로 변환시키는 메카니즘을 이용하는 방법이다. 이 방법은 소음방법의 특성상 재료의 밀도를 최대한 낮추기 때문에, 상대적으로 음의 감

쇄량은 적다. 방진은 기계 등의 대상물체에서 발생하는 진동을 구조체에 전달시키지 못하도록 하는 방법으로, 스프링이나, 방진고무 또는 방진펠트 등을 사용한다.

그러나 이 가운데, 흡음재나 차음재를 이용하여 소음을 제어하는 기존의 방법들은 소음이 Airbone Sound 등 500Hz 이상의 고주파 영역일 경우에는 효과가 우수하지만, 진동 등 500Hz 이하의 저주파 영역일 경우에는 효과가 미미한 것으로 나타나고 있다.

저주파 소음은 소리의 전달 메커니즘이 투과에 의한 전달이 아니라 진동에 의한 전달이 주를 이루고 있기 때문에, 500Hz 이하의 소음을 그대로 방치할 경우, 각종 구조물에 진동을 야기시켜 정밀작업이 요구되는 환경을 파괴하고, 심지어는 구조물에 손상을 입힐 수도 있다.

미국 시애틀에서 1940년 7월 Tacoma Bridge를 파괴한 근본적인 손상원인이 바로 저주파 진동이다.

특히, 저주파 소음은 사람의 심리를 불안하게 하여 일의 효율을 떨어뜨릴 뿐 아니라, 청력장애도 유발하는 등 반드시 해결되어야 할 환경공해 중의 하나이다.

더욱이, 기존의 흡음재는 섬유질이기 때문에, 사용년수 경과에 따라 공기 중에 분진으로 떠돌다 거주자의 호흡기 질환을 유발하는 SBS(Sick Building Syndrome, 병든 건물 증후군) 현상의 직접적인 원인이 되는 등, 이에 대한 개선도 시급한 상황이다.

ANC 이론의 고찰

1. ANC 기법의 개요

냉난방 공조 시스템에 사용되는 덕트는 Wave Guide를 형성함으로써, Fan이나 Blower에서 발생된 소음을 건물 각 부분에 전달하는 구조를 이루고 있다. 따라서 기존의 소음챔버, 소음엘보 또는 사운드 트랩 등의 흡음 설비로는 이를 덕트설비에서 발생한 소음의 근본원인을 해결하기가 어려웠다.

ANC 기법은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 흡음재료를 이용하는 자연형기법 대신, 소음(消音)시키고자 하는 소음(騷音)과 유사한 패턴 및 동일한 진폭을 가지는 음파를 인위적으로 발생시킨 후, 소음(消音)시키고자 하는 소음

(騒音)에 180° 의 위상차를 부가시킨 인공 부가음을 방사시켜 소음(騒音)을 상쇄시키는 기법이다. ANC 기법은 일반적으로 사무소 건물에 설치되는 공조시스템에 적용되는 기술로서, 공조기에서 발생하는 저주파 소음을 소리의 간섭 현상으로 제어하는 최첨단 기술의 하나이다.

2. ANC 관련 국내외 기술현황

ANC의 개념은 1936년 Paul Lueg가 출원한 미국특허(U.S. Patent No.2043.416 "Process of Silencing Sound Oscillations")에 의해 처음 소개되었다. Paul Lueg은 그의 특허에서 ANC의 두 가지 방안을 제시하고 있는데, 첫번째는 덕트 내로 전달되는 평면파 제어이고, 두 번째는 Open Space에서의 국부적 소음제어이다. 그러나 1930년대의 전자기술로는 제안된 설비형 소음제어 기법의 실험적 확인이 불가능하였다.

ANC가 실험에 의해 최초로 확인된 것은 1953년 Harry Olson에 의해서이며, 50년대 중반 William Conover도 Transformer Noise 제어에 적용하여 제한된 성과를 유도하였다.

이들에 의해 ANC는 크게 발전하였으나, 소음감소의 구역이 극히 좁고 소음의 변화에 대한 대책이 없다는 단점으로 약 20년간 큰 발전이 없었다가, 80년대 Digital Electronic Technology의 급격한 발전과 더불어 ANC도 발전하였다. 특히 신호처리 및 제어기술의 발전에 따라 소음원 및 환경의 변화에 대처할 수 있는 Adaptive Controller의 개발은 ANC 실용화에 가장 큰 기여를 하였다.

현재까지 상품화에 성공한 공조덕트용 설비형 소음제어 장치는 크게 3가지 제

품으로 대별이 가능하며, 그 중요한 사례로는

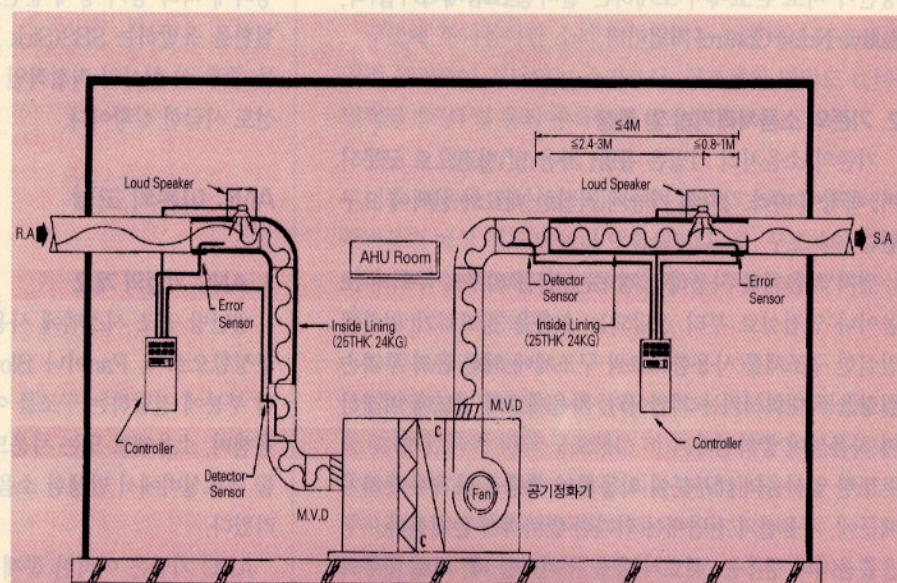
- 미국 Digisonix사의 Digital Sound Cancellation Systems
- 일본 Hitachi Plant 건설사의 전자소음(電子消音) 시스템
- 한국 ANC Technology사의 Active Silencer System 등이 있다.

이외에 기타 분야에서 상품화에 성공한 설비형 소음제어 장치로는 미국 Noise Cancellation Technologies 사의 자동차 소음 저감용 시스템 및 일본 도시바사(東芝社)의 냉장고 설비용 소음제어 시스템 등이 있다.

3. ANC 제 이론

1) ANC System의 구성 및 기능

- 중앙처리장치(Controller) : 입력되는 음의 특성을 파악하여 음파발생기로 180° 의 지상 또는 진상차를 부가하여 음을 방사하도록 제어하는 장치
- 음파발생기(Loudspeaker) : 중앙처리장치에서 입력되는 신호에 의거 소음(消音)하고자 하는 음의 특성 및 진폭



(그림 1) ANC 시스템의 구성도

대로 음을 방사

- 탐지 마이크(Input Microphone) : 공조기에서 일정 기준 이상의 소음이 발생할 경우, 그 음을 중앙처리장치로 전달

- 에러탐지 마이크(Error Microphone) : 인공부가음의 기음효과를 탐지하여 감쇠유무를 중앙처리장치로 피드백 시켜주는 장치. 음의 감쇠효과가 원활치 못할 경우, 중앙처리장치가 인공부가음을 수정할 수 있도록, 음파의 감쇠 자료를 제공

2) ANC관련 이론

① 시스템 해석을 위한 가정조건

- Duct의 길이는 무한하다.
- 소음의 주파수가 Duct 단면

의 Dimension 보다 매우 크다.

② 소음제어와 관련한 기본이론 정리

Fan이나 Blower 등 공조기에서 발생하는 Primary Sound Source의 소음특성은 일반적으로 일정한 규칙이 없는 사례가 대부분이다. 이러한 경우, 능동소음제어 기 설계시 가장 중요한 것은 Random Primary Source에서 발생하는 소음과 특성이 최대한 유사한 Reference Signal을 유도하는 것이다. 따라서 이러한 경우에는 1차 소음(消音) 시도에 대한 오차 보정 Signal $e(\omega)$ 의 Mean-squared Error를 최소화시키는 Controller $T(\omega)$ 를 구해야 하는데, 최적의 Controller $T(\omega)$ 는 다음과 같이 정의가 가능하다.

$$T_{opt}(\omega) = \frac{Sxd(\omega)}{C(\omega) * Sxx(\omega)}$$

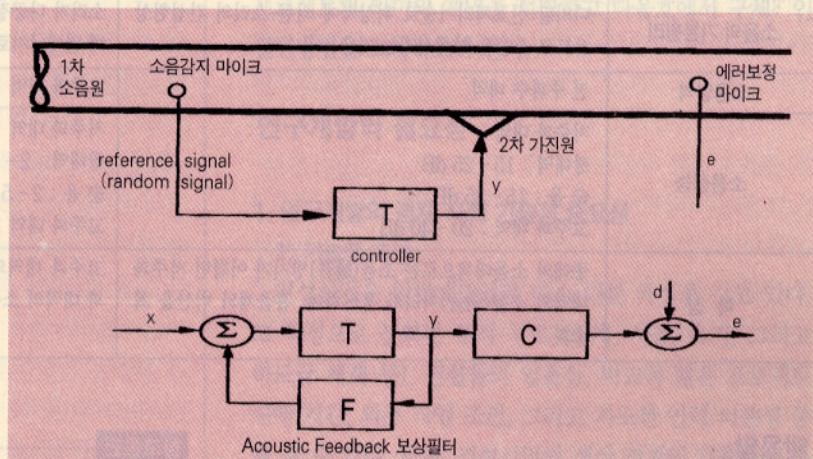
$T_{opt}(\omega)$ = 최적의 시간지연 함수

$C(\omega)$ = 에러경로라 하며, Secondary Source의 입력전

압과 Error마이크 출력전압 사이의 전달함수

$Sxx(\omega), Sxd(\omega)$ = Mean-squared Error의 예상치 및 실측치

앞에서 언급한 함수는 Active Noise Control과 관련한 수많은 이론 가운데 하나에 불과하다. 그러나 본고에서는 ANC 기법의 특성을 최대한 단순화시켜 소개코자 하며, 이를 시스템의 기본 개념도는 다음의 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 1차 음장에 대한 음향검출 관련 ANC Block Diagram

③ 사무실내의 소음평가 기준

NC	소음환경 상태	적용	NC	소음환경 상태	적용
NC25 이하	- 대단히 조용한 환경 - 대화나 전화 지장없음	중역실	NC45	- 1.2-1.5M의 테이블에 서 회의 가능	대사무실 설계실
NC30	- 매우 조용한 사무실	대회의실		- 0.9-1.8M에서 보통의 소리로 대화 가능	제도실
NC35	- 조용한 사무실 - 4.5M의 테이블에서 회의 가능	응접실 소회의실		- 1.8-3.6M에서 큰소리 로 대화 가능	
	- 3-9M에서 보통의 소리로 대화 가능	소사무실		- 전화는 수시로 곤란함	
	- 전화 지장없음		NC50	- 2-3인 이상의 회의 불가능	전산실 타자실
NC40	- 1.8-2.4M의 테이블에 서 회의 가능	중사무실		- 0.3-0.6M에서 큰소리로 대화 가능	
	- 1.8-3.6M에서 보통의 소리로 대화 가능			- 전화는 곤란함	
	- 전화 지장없음		NC50 이상	- 대단히 시끄러워 사무 실로 부적합	
				- 전화는 곤란함	사무실로는 권장못함

*비고 : 미국 냉동공조학회(ASHRAE) 추천기준

ANC(Active Noise Control) 기법은 소음(消音)시키고자 하는 소음(騷音)과

유사한 패턴 및 동일한 진폭을 가지는 음파를 인위적으로 발생시킨 후, 소음(消音)시키고자 하는 소음(騷音)에 180° 의 위상차를 부여시킨 인공 부기음을 방사시켜 소음(騷音)을 상쇄시키는 기법이다.

④ ANC 기법 적용에 따른 성능사례 소개

Active Noise Control System			Passive Noise Control System
소음의 기본원리	디지털 신호처리기술로 위상차에 의한 소리의 간섭현상 유도로 소음을 상쇄시키는 기술	소리가 다공질 재료에 입사될 때, 소리에너지가 마찰에 의해 열에너지로 변환되면서 소리가 소멸되는 원리를 이용	
소음영역	전 주파수 대역	고주파 대역	
소음성능	저주파 대역 광대역 : 15 - 25 dB 순 음 : 15 - 35 dB 고주파 대역 : 20 - 40 dB	저주파 대역 광대역 : 2 - 5 dB 순 음 : 2 - 5 dB 고주파 대역 : 20 - 40 dB	
특 징	종래의 소음대책으로는 소음(騷音)방지가 어렵던 저주파 대역의 소음(消音)처리가 용이하며, 흡음재의 비산을 최소화	고주파 대역의 소음(騷音)방지에는 효과가 있으나, 저주파 대역의 소음(騷音)방지에는 효과가 미흡.	

맺음말

본고에서 검토한 설비형 소음제어 방법은 기존의 방법으로는 해결이 용이하지 못하던 저주파 대역의 소음을 처리하는데 그 효과가 우수하다. 외국의 경우, 소리로 소리를 잡는 이들 방법들은 고속도로의 교통소음에서 자동차의 소음처리에 이르기까지 매우 광범위한 분야에서 활용되고 있는 실정이다.

생활의 발전과 더불어 소음이 점차 사회 문제화되고 있는 상황을 감안할 때, 이들 기법들은 그 활용범위가 점차 넓어질 것으로 예상된다. **S**

참고문헌

1. 해사기술연구소, "공조덕트용 능동소음제어기 개발", 1991.10
2. 이경희, "건축환경계획", 문운당, 1986
3. 김광준 외, "소음과 진동", 반도출판사, 1996
4. "제3회 건축음향 Workshop", 대한건축학회, 1995
5. M. O. TOKHI 외, "Active Noise Control", Clarendon Press, 1992
6. Howard K. Pelton 외, "Active HVAC NOISE Control Systems Provide Acoustical Comfort", Sound and Vibration, 1994. 7
7. DIGISONIX, "Active Silencing for HVAC Retrofit", DIGISONIX Catalogue, 1991 (이상 무순)