

수동형 및 능동형 소음기의 개발 동향

수동형 소음기(클린 소음기)



조 방 형

어떠한 흡음재도 사용하지 않아 청정환경을 유지하고, 흡음형 소음기로는 잘 제어되지 않는 63Hz에서 250Hz까지 저주파대역의 소음을 감쇠하기 위하여 개발된 대체기술을 소개하고자 한다.

기존의 재래식 소음기는 대부분 무기질 재료로서 연속 기포로 구성된 구조의 다공질성 유리섬유나 암면 또는 폴리우레탄이나 폴리에스테르 같은 유기질 재료로 만들어진 폼 종류의 발포성 흡음재를 사용하여 소리에너지가 흡음재에 입사되는 과정에서 마찰열에 의해 열에너지로 변하면서 소멸되는 흡음기법을 주로 활용하고 있으며, 특히 무기질 재료로 만들어진 유리섬유는 불연재 이면서 500Hz 이상의 고주파대역에서는 흡음율이 매우 높고 가격도 저렴하여 폼과 같은 발포성 흡음재에 비해 매우 선호되고 있다.

그러나 대부분의 소음기에 사용되는 유리섬유나 각종 폼 종류의 발포성 흡음재들은 사용하는데 적지 않은 문제점들을 갖고 있으며, 그 대표적인 예로서 흡음재의 구조적 특성상 저주파대역에서의 흡음율이 낮아 63Hz에서 250Hz까지의 저주파대역에서는 음향 감쇠율이 매우 적어 감음효과를 기대하기가 어려운 입장이었다.

또한 유리섬유나 암면은 유체가 이송되는 과정에서 공기에 의해 침식되어 작은 입자 형태로 생활공간에 비산되며, 유기질 재료로 만들어진 각종 폼 종류의 발포성 흡음재들도 일정한 시간이 지나면서 화학성분에 의해 부식되어 부서지면서 공기중에 비산되어 인체에 해로울 수

있는 작은 입자들을 생활공간으로 유입 시키고 있어 수술실이나 반도체 공장 등의 클린룸과 같이 미세한 입자까지 제거하여야 하는 청정요구되는 장소에서는 청정환경 보존이 매우 어려운 실정이다.

최근에는 유리섬유나 암면 그리고 폼 종류의 발포성 흡음재 모두에서 각종 세균들이 번식하여 세균의 오염으로 인한 공중 보건위생의 유해성 논란까지도 일으키고 있으며, 특히 유기질 재료인 폼 종류의 흡음재는 화재가 발생할 경우 인화되면서 유독성 가스와 극심한 매연을 발생시켜 사용하는데 각별한 주의가 요구되는 등 여러 가지 문제점들이 있다.

그동안 흡음재는 각종 소음기를 생산하는데 없어서 안되는 필수적인 재료 이었으나 위에서 열거한 여러가지 문제점들을 갖고 있어 이러한 문제점들을 해결하고자 흡음재를 사용하지 않으면서 동시에 감음효과를 얻을수 있는 기술을 개발하게 되었다.

클린 소음기의 구조와 성능

클린 소음기(clean silencer)는 위에서 열거한 어떠한 흡음재도 사용하지 않으면서 소음대책으로 필요한 음향의 감음효과를 기대할 수 있

조 방 형 에이엔시테크놀로지스(주) 대표이사(anctech@intizen.com)

〈표 1〉 감응성능(삽입손실)

(단위 dB)

silencer W×H×L	air velocity (m/sec)	air volume (CMH)	ΔP (mmH ₂ O)	1/1 octave band center frequency							
				63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2KHz	4KHz	8KHz
PSN 600×600×900	0			4.7	6.5	13.4	14.3	10.9	8.1	4.3	9.8
PSN 600×600×900	5.0	6423	11.4	4.2	7.9	17.1	18.7	12.5	9.1	5.8	8.1
PSN 600×600×1800	0			6.8	10.4	20.1	19.2	14.6	10.9	7.4	12.5
PSN 600×600×1800	5.0	6386	12.6	7.3	13.1	27.2	25.4	17.5	12.1	9.3	10.6
PSN 600×600×2700	0			10.7	13.7	24.9	21.0	17.2	13.7	9.3	12.5
PSN 600×600×2700	5.0	6421	14.5	11.4	18.6	33.7	37.6	20.4	14.3	10.7	10.3
PLN 750×750×900	0			3.4	2.8	13.3	7.8	5.3	4.3	2.2	6.0
PLN 750×750×900	10	20236	5.2	5.2	4.8	14.7	11.6	6.4	5.8	2.5	1.8
PLN 750×750×1800	0			5.3	5.3	18.0	11.4	7.2	6.0	3.3	6.8
PLN 750×750×1800	10	20237	7.5	5.5	8.5	24.0	16.8	9.2	7.6	3.5	3.3
PLN 750×750×2700	0			5.4	6.9	23.6	13.7	8.5	8.2	3.8	7.3
PLN 750×750×2700	7.5	15142	3.8	8.3	10.7	31.6	17.2	11.0	8.2	4.2	4.1
PLN 750×750×2700	10	20430	10.1	5.6	12.6	29.0	18.7	12.7	8.9	4.3	4.3
PSRN 600×600×1800	0			5.4	8.1	16.5	28.4	22.4	16.4	11.8	16.0
PSRN 600×600×1800	5.0	6422	9.0	6.7	11.8	23.0	30.9	25.0	17.2	12.5	13.7

는 대체 기술로 만들어진 신기술 신제품으로 청정환경을 유지하면서 각종 송풍기의 소음, 특히 종래의 수동형 소음기(passive silencer)로는 잘 잡히지 않는 63Hz에서 250Hz 사이의 저주파 대역의 소음을 감쇠하는데 탁월한 효과가 있도록 개발하였다.

소음기 구조는 일반적으로 용융아연도강판으로 제작 되었으며, 외부 모양은 종래의 수동형 소음기(passive silencer)와 같아 덕트에 연결 사용할 수 있도록 되어있다.

내부도 일반적으로 용융아연도강판으로 제작 되어 있으며, 소음기 입구와 출구는 난류현상이 최소화 되도록 나팔형으로 되어 있고, 노우즈(Nose) 부분은 단단한 원형 구조로 처리하여 소음감쇠 효과가 증대 되도록 하였으며, 최소의

압력강하 조건에서 최대 풍량이 통과할 수 있는 직선형 공기 통로 구조로 되어 있으며, 작은 구멍들을 기하학적 배열로 천공하여 과도한 재생 소음을 발생시키지 않으면서 원하는 특정 주파수대역 또는 넓은 주파수대역의 음향을 상당히 낮은 수준까지 감쇠 시킬 수 있도록 되어있다.

소음기의 성능 특성은 다음 3가지 특성의 조화가 일치 되었을 때 만족한 감음효과를 얻을 수 있으며, 3가지 특성으로 천공판의 감음 특성은 천공 구멍의 직경과 간격 및 배열 그리고 철판의 두께로 나타낸다. 주파수대역별 감음 특성은 여러 가지 규모의 많은 공동(空洞)들의 임피던스 즉 공동(空洞)들의 크기에 따라 달라지며, 총 감쇠 특성은 소음기 내부의 유체가 통과할 수 있는 통로의 폭과 길이에 따라 결정된다.

그 예로 <표 1> 은주파수대역별 감음 성능을 비교한 것이다. PSN형은 63Hz에서 250Hz까지의 저주파수대역에서 감음 성능이 매우 우수하고 PSRN형은 500Hz 이상의 고주파대역에서 감음 성능이 우수한 특성을 나타내고 있어 원하는 주파수대역별 감음량이 분석되면 소음기의 성능 특성을 잘 조화시켜 요구되는 소음대책에 적절히 대처할 수 있다.

◆ 결론

그동안 일반적으로 공명기술로 제작된 소음기의 감음 특성은 특정 주파수에서만 작용한다고 알려져 왔으나 금번 개발한 새로운 청정 소

음기술은 천공판의 감음 특성과 주파수대역별의 감음 특성 그리고 통로의 구조적 감음 특성을 잘 조화시켜 어떠한 흡음재도 사용하지 않으면서도 과도한 재생소음을 발생시키지 않으면서 선정된특정 주파수대역 또는 넓은 주파수대역의 음향을 상당히 낮은 수준까지 감소시킬 수 있는 신기술 신제품으로 소음에너지가 63Hz에서 250Hz에 집중되어 있는 각종 송풍기 또는 부로워 및 압축기 소음의 소음대책으로 탁월한 감쇠효과를 발휘하고 있으며, 특히 정숙공간과 청정환경이 절대적으로 요구되는 의료 보건분야와 제약분야, 반도체산업분야 그리고 식품공장, 화학공장, 정유공장 등 특수 환경에 매우 적합하다.

능동형 소음기(액티브 사이렌서)

수동형 소음기(Passive Silencer)로는 잘 제어되지 않는 63Hz에서 250Hz까지 저주파대역의 소음을 감쇠하기 위하여 개발된 대체기술을 소개하고자 한다.

공조덕트로 전달되는 공기조화기 또는 각종 송풍기의 소음을 줄이기 위한 방법으로 종래에는 연속기포로 구성된 유리섬유를 흡음재로 가장 선호하였으며, 흡음재에 소리가 입사될 때 소리에너지가 마찰에 의해 열에너지로 변하면서 소멸되는 흡음기법을 주로 활용하여 왔다.

흡음재를 사용한 소음대책은 대체로 500Hz 이상의 중·고주파대역에서는 많은 감소효과를 얻을 수 있으나, 음의 파장이 긴 250Hz 이하의 저주파대역에서는 감쇠성능이 매우 미흡하다. 특히 대부분의 소음에너지가 250Hz 이하의 저주파대역에 집중되어 있는 에어호일(air foil)형과 시로코(sirocco)형 송풍기의 소음특성의 경우 적절한 소음감소 대책으로는 그 성능이 대단히 미흡하여 부득이 소음챔버나 사운드트랩, 소음엘보 등 다수의 수동형 소음기(passive silencer)

를 연속으로 설치하므로써 최대의 감쇠효과를 얻기 위해 노력하는 것이 지금까지의 소음방지 기술의 한계이며 현실적 수준이었다.

이러한 흡음형 소음방지 기법은 다수의 소음기를 설치하므로써 소음방지 시설비의 상승 원인이 되며, 저주파 대역의 소음을 제어할 수 없는 흡음재의 구조적 특성으로 인하여 제품 가격에 비하여 만족한 소음효과도 기대할 수 없는 비능률적인 경우도 많으며, 높은 정압손실로 인한 운전 동력비의 증가는 에너지 절약 차원에서 재검토 되어야할 것이며, 설치공간의 증대도 함께 점검해 보아야할 것이다.

특히 63Hz나 125Hz와 같은 럼블(rumble)성 저주파 소음은 구조물의 진동을 유발시켜 정밀작업이 요구되는 작업환경을 파괴하고 심리를 불안하게 하여 작업능률을 저하시키며, 심지어

청력장에도 일으키는 경우도 있으며, 청정환경이 요구되는 의료, 보건 분야와 반도체 산업등 크린룸에서의 유리섬유로 만들어진 흡음재 사용은 유리섬유로부터 비산되는 미세한 분진으로 청정환경 보존이 매우 어려운 기술적 애로 사항도 널리 알려져 있는 것이 사실이다.

이러한 소음방지 기술의 문제점들을 보완하고 해결하기 위하여 음의 간섭원리를 응용, 특히 250Hz 이하의 저주파대역에 소리에너지가 집중되어 있는 각종 송풍기의 소음원에서 발생된 덕트내의 소음을 감소 시키는데 탁월한 성능을 발휘하며, 감쇠효과를 극대화시킨 능동소음제어 기술(active noise cancellation technique)로 개발된 액티브 사이렌서(active silencer)를 소개하고자 한다.

◆ 능동소음제어장치의 기술현황

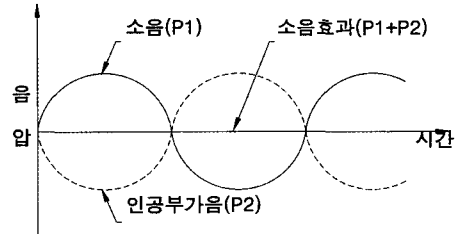
1936년 미국의 Paul Lueg가 능동소음제어기술에 관한 특허(U. S. Pat. NO.2,042, 416)를 세계 최초로 출원한후 현재까지 수많은 연구가 진행되어 매년 수백편의 논문이 발표되고 특허도 출원되고 있다.

특히 1980년대 이후 디지털 신호처리 기술 및 전자산업의 급격한 발전에 힘입어 능동소음제어장치 개발이 급속히 진행되어 왔다.

지금까지 공조덕트용 능동소음제어장치를 개발하여 발표하기로는 국내에서는 에이엔씨테크놀로지스(주)와 미국의 DIGISONIX사, NCT 사, 일본의 히다치 프랜트건설사 그리고 유럽에서 여러회사가 연구개발에 성공하여 수년전부터 생산, 판매하고 있다.

◆ 능동소음제어장치의 원리

소리(騒音)를 소리(音)로 상쇄시켜 지우는 최첨단 기술로 원리는 원하지 않는 소음(P1)을 탐지 분석하여 그소음과 동일한 진폭을 갖은



〈그림 1〉 소음의 기본원리

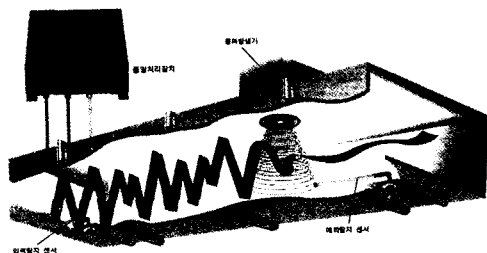
180°역 위상의 인공부가음(P2)을 만들어 중첩시키면 이때 소리의 간섭 현상이 일어나 騒音이 상쇄되어 消音효과가 극대화 된다.

◆ 액티브 사이렌서의 구성

〈그림 2〉는 에이엔씨테크놀로지스(주)에서 개발한 공조덕트용 액티브 사이렌서의 작동을 그림으로 형상화 한 것이다.

송풍기의 소음원에서 발생한 덕트내 소음은 탐지 마이크로폰에 의해 탐지되어 콘트롤러에 입력되며, 이 콘트롤러는 주어진 음향환경에 적합한 신호처리를 수행하여 소음상쇄를 위해 필요한 신호를 제어스피커에 공급한다.

콘트롤러는 주어진 음향환경을 모델링하기 위한 각종 필터 (C-filter와 F-filter)들을 포함하고 있으며, 이러한 필터들의 모델링 오차와 음향환경 및 입력소음 특성의 시간에 따른 변화 등의 이유로 소음의 완전한 상쇄가 일어날 수 없으므로, 이러한 변화에 대처할 수 있도록 입력소음중 상쇄음파에 의해 상쇄되지 않은 부분



〈그림 2〉 액티브 사이렌서 시스템

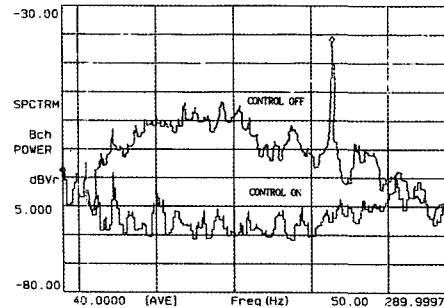
을 다시 에러 마이크로폰으로 탐지하여 이 에러신호를 컨트롤러의 프로그램에 피드백 시키는 적응필터기법(adaptive filtering)을 사용한다.

음향피드백보상필터(F)는 무방향성 제어스피커를 사용할 경우 발생하는 음향피드백현상, 즉 제어스피커에서 생성된 상쇄용 음파가 탐지 마이크로폰에 다시 탐지되는 현상을 보상하기 위한 필터로서 피드백 루프현상에 의한 능동소음 제어장치의 발산을 방지해 주며, 에러경로보상필터(C)는 제어스피커로부터 에러 마이크로폰 사이의 음향환경을 모델링하는 필터로써 적응필터의 안정성 증대를 위하여 사용된다. 음향피드백 보상 과정을 거친 소음신호는 주제어필터(W)에 입력되며, 이 주제어필터는 제어스피커에 상쇄음파 신호를 공급한다.

에러경로 보상필터 및 음향 피드백보상필터의 특성은 컨트롤러 설치전에 미리 구하여 콘트롤 제어 프로그램에 저장시켜 사용할 수도 있으나, 컨트롤러 작동 전후의 덕트내 음향환경의 변화 및 시간의 흐름에 따른 마이크로폰, 제어스피커 및 소음원등의 특성변화에 대처할 수 있도록 하기 위하여 컨트롤러 작동중 덕트음향 특성 추정과 콘트롤 제어를 동시에 수행하는 기법(synchronous control and identification)이 사용되기도 한다.

◆ 액티브 사이렌서의 성능

액티브 사이렌서의 성능과 안전성 및 신뢰성은 앞에서 언급한 능동소음제어 알고리즘외에 마이크로폰 및 제어스피커 등의 각종 구성 부품의 특성에 크게 좌우된다. 특히 공조덕트내 존재하는 유체의 흐름에 의한 난류소음은 제어하고자 하는 송풍기 소음의 탐지를 방해하여 액티브 사이렌서의 성능을 급격히 감소시키므로, 이러한 난류소음의 영향을 제거하기 위하여 마이크로폰에 보호장치를 씌우는 방법을 개발하여 사용하고 있다.



〈그림 3〉 액티브 사이렌서의 성능

〈그림 3〉은 아래 사양의 송풍기에 연결된 덕트규격이 120cm×50cm 이며 풍속이 16m/sec. 상태에서 측정된 결과를 도표로 나타내었으며, 250Hz이하의 저주파대역에서 주파수 별로 10dB-25dB 이상 감소되는 소음성능을 보여주고 있다.

송풍기 사양

에어 호일형	DS #5 1/2
풍량	29,800 CMH
모터	20HP, 3 / 220 V / 60 Hz
회전수	1,015 rpm

◆ 결론

능동소음제어 기술중 최초로 상품화된 것이 공조덕트용 액티브사이렌서이며 방송국, 공연장 등 소음에 민감한 곳에 적용되기 시작하여 인텔리전트 빌딩 등 일반 건축에도 점차 적용이 확산되기 시작하였으며, 정숙공간과 청정환경이 절대적으로 요구되는 의료, 보건 분야와 반도체산업 분야, 제약 분야 등에 폭넓은 적용이 기대되며, 덕트내 주요 소음원인 송풍기의 소음특성이 저주파 대역에 소음에너지가 집중되어 있음을 고려할 때 공조덕트내 소음감소 대책으로는 매우 효과적이며, 정압손실이 거의 없어 에너지절약과 더불어 종래의 소음방지 대책과 감소성능을 기준으로 비교 할 때 오히려 시설비나 운전동력비 모두에서 경제적인 것으로 기대된다. ㉞