

압전 지능패널의 소음저감 성능에 관한 실험적 연구

°임 병 수*, 김 재 환**, 이 중 근*

*인하대학교 대학원

**인하대학교 기계공학과

An Experimental Study for Noise Reduction of Piezoelectric Smart Panel

°Byoung soo Im*, Jae Hwan Kim** and Joong Kuen Lee*

Department of mechanical engineering, Inha University

e-mail: g1981040@inhavision.inha.ac.kr

요약

본 논문에서는 흡음 재료와 압전 재료를 부착시켜 넓은 대역에서 소음 저감을 향상 시키는 압전 지능패널(piezoelectric smart panel)을 구성한 후 이를 통하여 구조물로부터 복사되는 소음의 저감 성능을 실험적으로 고찰 하였다. 우선, 단일 평판과 흡음 재료가 부착된 평판을 구성하여 소음 저감 성능을 측정 하였다. 그리고 두 방법을 합성하여 광 대역에서의 소음을 저감 시키기 위해 흡음 재료와 압전 재료를 부착한 압전 지능패널을 이용하여 감지기로부터 측정된 신호를 적절한 부 이득(negative gain)을 거쳐 작동기에 되먹임 하였을 때의 소음 저감 성능을 측정 하고 앞의 두 결과와 비교하였다. 실험 결과로부터 수동적 방법과 능동적 방법을 복합적으로 구성한 압전 지능패널이 넓은 주파수 대역에서 소음을 저감 시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

I. 서론

최근 환경과 생활의 편의에 대한 관심이 높아지면서 구조물의 진동 및 이에 의해 발생하는 소음을 억제하는 문제가 공학 분야에서 중요한 문제로 부각되고 있다. 구조물의 진동에 의해 발생하

는 소음의 억제를 위해서 일반적으로 사용하는 방법은 크게 수동적인 방법(Passive control)과 능동적인 방법(Active control)으로 나눌 수 있다. 수동적인 방법은 구조물에 질량이나 강성을 추가하는 방법으로, 고주파 영역에서는 효과적이거나 낮은 주파수 영역에서는 시스템이 커지고 무거워지는 단점이 있다. 따라서 기존의 수동적인 방법을 보완하여 구조물로부터 나오는 진동과 소음을 능동적으로 제어하려는 능동구조음향제어의 필요성이 야기되었다[1]-[6].

최근 활발히 연구되고 있는 지능구조물의 기본 재료인 압전 재료는 주 구조물(host structure)에 부착되어 분포된 감지기와 작동기로서 기능하므로 구조물의 진동 제어 분야에 적절한 소재이다 [7]-[9]. 구조물의 진동에 의한 소음을 제어하기 위해 기존의 연구에서는 압전 재료와 마이크로폰을 각각 작동기 및 감지기로 이용하여 제어를 설계하는 경우가 일반적이었다[4]. 그러나 마이크로폰을 이용하기 위해서는 주 구조물과 별도로 설치해야 하는 어려움이 있기 때문에 실용성이 떨어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 마이크로폰 대신 구조물에 직접 부착 가능한 압전 재료를 감지기와 작동기로 이용하여 평판 구조물의 음향제어를 수행 하였다.

평판 구조물에서의 음향 제어를 위하여 방사음향에 가장 영향이 큰 첫번째와 두번째 공진 주파수를 제어 대상으로 정하였다. 제어입력은 감지기

에서 받은 신호를 적절한 부 이득(negative feedback)을 거쳐 작동기에 인가 하였다[10].

II. 실험 방법

압전 지능패널의 소음저감 성능을 실험하기 위하여 Fig.1 과 같은 압전 지능패널을 제작하였다. 압전 지능패널의 구성은 알루미늄 평판(300mm, 300mm, 0.8mm)의 앞면에 압전 감지기와 작동기가 부착 되고 뒷면에는 흡음 재료가 부착되었다. 사용된 압전 작동기는 가로, 세로가 각각 60mm, 25mm 이고 두께는 0.8mm 이다. 감지기는 직경이 25mm 이고 두께가 1mm 인 원판형을 사용하였고

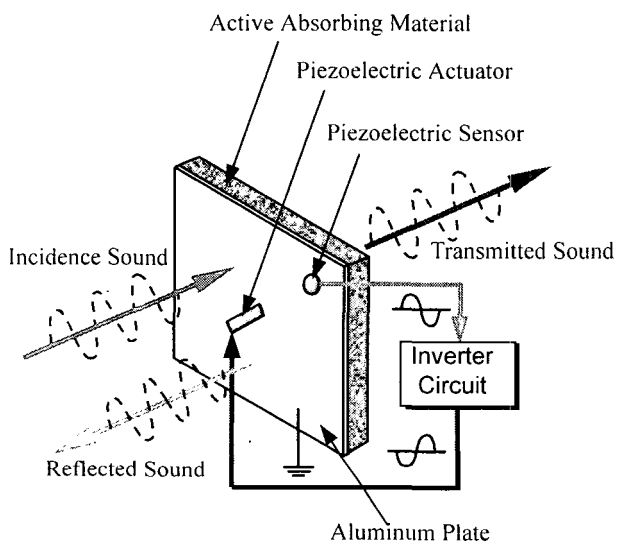


Fig.1 Piezoelectric Smart Panel

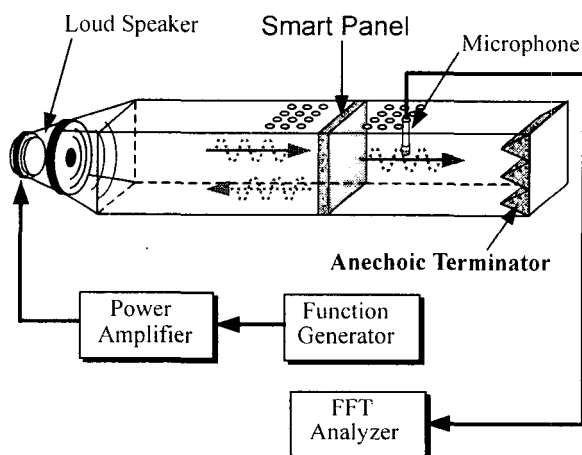


Fig.2 Experimental Apparatus

뒷면에 부착된 흡음 재료는 두께가 10mm 인 polyurethane form 을 사용하였다.

실험은 Fig.2와 같은 음향 터널에 압전 지능패널을 장착하여 수행 되었다. 압전 지능패널을 고정 시키기 위해 아크릴 프레임을 사용하였고 내변을 나사를 통해 완전 고정 시켰다. Loud Speaker 는 신호 발생기(function generator)로부터 나온 신호를 파워 앰프(power amplifier)를 거쳐 가진하여 음향 평면파가 소음원으로 평판 위에 작용하도록 하였다. 방사된 음압은 음향 터널 내부의 마이크로폰을 통하여 나온 신호를 주파수 분석기로 측정 하였다. 압전 재료를 이용한 소음제어는 감지기의 신호를 OP Amp.를 이용한 반전 회로(Inverter circuit)를 통하여 적절한 부 이득값을 얻고, 다시 전압 증폭기(voltage amplifier)를 거쳐 압전 작동기에 인가하여 제어를 수행 하였다. 압전 지능패널의 소음저감 성능을 비교 측정하기 위하여 단일 평판, 흡음재가 부착된 평판 그리고 압전 지능패널을 차례로 음향 터널에 장착하여 실험을 수행 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 단일 평판 및 흡음재가 부착된 단일 평판의 소음 저감 효과

우선 단일 평판과 흡음재가 부착된 평판의 주파수 응답을 Fig.3 에 나타내었다. 실험 결과 단일 평판인 경우, 첫번째 공진 주파수는 69Hz, 두번째 공진 주파수는 248Hz, 그리고 음향 터널의 공진 주파수는 617Hz 로 나타났다. 흡음재가 부착된 단일 평판인 경우에는 63Hz 와 201Hz 에서 각각 공진 주파수가 나타났다. 흡음 재료가 부착된 단일 평판의 두번째 공진 주파수가 약간 낮아진 것은 흡음재료의 질량 효과 때문이다[11].

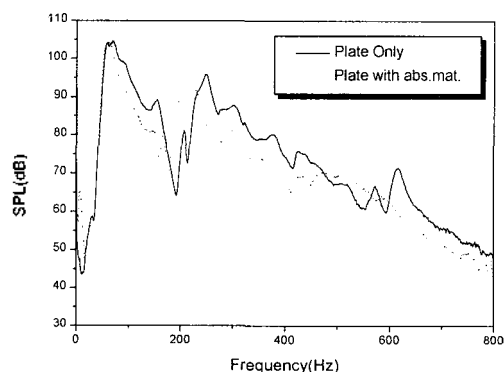


Fig.3 Frequency Response

단일 평판에 흡음재를 부착할 경우 음향 터널의 공진주파수를 포함한 광대역 주파수 영역에서 음압 감소 효과를 확인할 수 있다. 그러나 저주파 영역인 첫번째 공진 주파수에서는 음압 감소 효과가 나타나지 않았다.

3.2 공진 주파수에서의 소음 제어

단일 평판에 흡음재료를 부착한 경우 공진 주파수를 제외하고 광대역 주파수 영역에서 소음 저감 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 음향 방사는 대부분 첫번째 공진 주파수인 (1,1)모드에서 일어나기 때문에 방사되는 소음을 저감 시키기 위해서는 공진 주파수에서의 진동 제어가 필수적이다.

본 연구에서는 첫번째와 두번째 공진 주파수인 69Hz 와 248Hz 에서 압전 감지기와 작동기를 이용하여 제어를 수행하였다. 감지기는 제어 모드의 Anti-nodal line 을 피하기 위하여 우측 상단(225mm, 225mm)에 부착 시켰고, 작동기는 대칭 진동 모드 의 모달감도가 좋은 평판의 가운데(150mm, 150mm)에 부착 시켰다.

작동기의 제어 입력은 감지기 신호를 적절한 부 이득(negative feedback)을 거쳐 저주파 대역 통과 필터를 거쳐 인가 하였다. 제어는 정현파 가진 시 단일 모드에서 수행되었고 각 모드에서의 실험 결과는 Fig.4 와 Fig.5 에 나타내었다.

실험 결과 각 공진 주파수에서 괄목할 만한 음압 감소 효과를 확인할 수 있었다.

3.3 압전 지능패널의 소음저감 효과

광대역 주파수 범위에서 소음을 저감 시키기 위하여 압전 지능 패널을 제작 하여 실험 하였다. 압전 지능 패널은 고주파 영역에서는 흡음 재료에 의해 소음을 저감 시키며 저주파 영역에서는 단일 주파수인 경우에 압전 재료에 의해 소음을 저감 시킬수 있다. Fig.6 와 Fig.7 은 압전 지능패널 (Act./Pass.)의 소음 저감 성능을 단일 평판(Plate only)과 흡음재가 부착된 평판(Passive)과 비교한 것이다.

Fig.6 는 첫번째 공진 주파수에서 3 가지 형태의 평판에 대한 소음 저감 성능을 비교하였다. 여기서 Plate Only 는 단순 평판에서의 결과를 나타내며 Passive 는 단지 흡음재만 부착된 평판에서의 결과를 나타낸다. 또한 Act./Pass. 는 흡음재를 부착한 수동적 방법과 압전 재료를 이용한 능동적 제어가 동시에 수행 되었을 때의 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 단일 평판에서는 113.76dB 의 음압을 나타내었고 흡음재가 부착된 평판에서는 113.18dB 를 나타내었다. 첫번째 공진 주파수에서는 흡음재

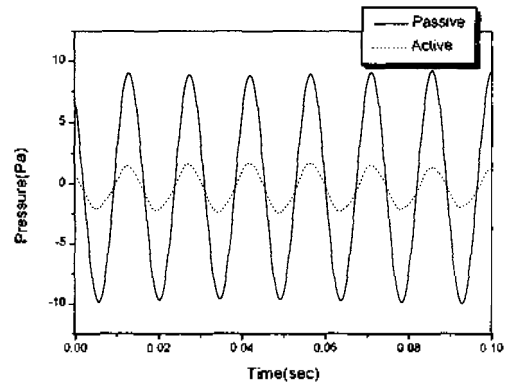


Fig.4 Sound Pressure at 69Hz

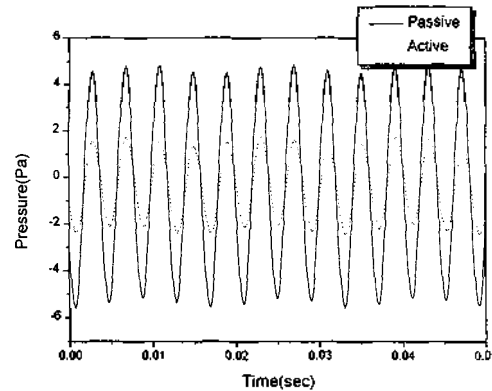


Fig.5 Sound Pressure at 248Hz

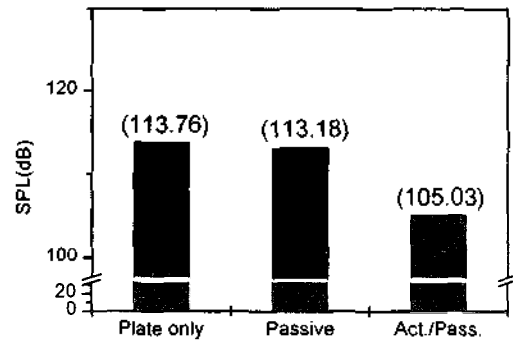


Fig.6 Sound Pressure Level at 1st Resonance Frequency

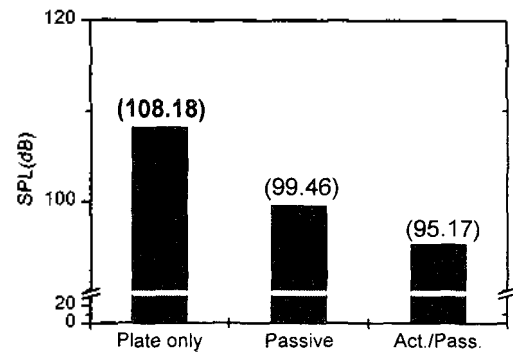


Fig.7 Sound Pressure Level at 2nd Resonance Frequency

만을 부착 하여서는 음압 감소 효과가 나타나지 않음을 볼수 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 압전 지능패널을 사용할 경우 105.03dB 로 단일 평판에 비해 약 8dB 의 음압 감소가 발생함을 확인할 수 있다.

Fig.7 은 두번째 공진 주파수에서의 음압 감소 효과를 비교한 것이다. 이 경우 첫번째 공진 주파수인 Fig.6 의 결과와는 달리 단지 흡음재만을 부착한 평판을 사용하여 9dB 의 큰 음압 감소 효과를 나타내었다. 이는 일반적으로 흡음재가 고주파 영역에서 음압 감소에 큰 효과를 나타내기 때문이다. 압전 지능패널을 장착하여 제어를 수행한 경우 흡음재만을 장착한 것보다도 약 4dB 의 음압 감소 효과를 나타내었다.

이와 같이 압전 지능패널을 사용할 경우 첫번째 공진 주파수 뿐만 아니라 두번째 공진 주파수에서도 우수한 소음 저감 효과를 나타내었다.

IV. 결론

본 연구에서는 광대역 주파수 영역에서 소음을 저감 시키기 위하여 압전 지능 패널을 제안 하였으며 이를 실험적으로 고찰 하였다. 실험 결과 공진 주파수에서 약 8~13dB 의 소음 저감 효과를 확인할 수 있었다. 고주파 영역에서는 흡음재료를 이용하여 소음을 저감 시킬 수 있었고, 구조물과 연계된 공진 주파수에서는 압전 재료를 이용하여 팔독할 만한 소음 저감 성능을 확인하였다. 앞으로 단일 모드에서 뿐만 아니라 다중 모드에서도 제어가 가능한 강건제어기를 설계한다면 더 많은 소음 저감 효과를 전 주파수 영역에서 기대할 수 있다

참고문헌

1. J. Kim, B. Ko, J. Lee and M. Nam, "Optimal design of Piezoelectric smart structures for active cabin noise control," *5th Annual Symp. On Smart Structures & Materials* (SPIE), Vol.3323, 228-223, San Diego CA, USA, March 1998.
2. 김재환, "압전 지능 구조물의 원리와 소음제어에의 응용," 한국소음진동공학회지, Vol.6, No.3, 267-273, 1996
3. D.R.Thomas,P.A.Nelson,S.J.Elliott, "Experiments on reduction of propeller induced interior noise by active control of cylinder vibration," *J. Sound and Vibration*, Vol. 112, No.2, 389-395, 1987.
4. V.V. Varadan, X. Bao and V.K. Varadan, "Smart wall paper for noise suppression," *proc of North America Conf. On Smart Structures and Materials*(SPIE), Vol.

- 2443, San Diego, California USA, 1995.
5. R.L. Clark and C.R. Fuller, "Experiments on active control of structurally radiated sound using multiple piezoceramic actuators," *J. Acoust. Soc. Am.*, 91, (6), 3313-3320, 1992.
6. J.Kim, V.V. Varadan and V.K. Varadan, "Finite Element-Optimization methods for the active control of radiated sound from a plate structures," *Smart Materials and Structures*, 4 (4), 318-326, December, 1995.
7. E.F. Crawley and J. de Lues, "Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures," *AIAA J.*, 25 (10), 1373-1385, 1989
8. J.L. Fanson and J.C. Chen, "Structural Control by the Use of Piezoelectric Active Members," in *proceedings of NASA/DOD Control-Structures Interaction Conference*, NASA CP-2447, Part II, 1986.
9. B.T. Wang, E.K. Dimitriadis, C.R. Fuller, "Active Control of Structurally Radiated Noise Using Multiple Piezoelectric Actuators," in *Proceedings of AIAA SDM Conference*, AIAA Paper 90-1172-CP, Long Beach, CA, 1990.
10. 고범진, 이종근, 김재환, 최승복, 정재천, "실내소음제어를 위한 압전지능구조물의 최적 설계," 한국소음진동공학회지, Vol.8, No.3, 428-434, 1998
11. J.S. Bolton and N.-M. Shiau, "Random incidence transmission loss of lined, finite double panel systems," *12th AIAA Aeroacoustics Conf.*, AIAA-89-1048, San Antonio TX, 1989