

구조 인텐서티 법을 이용한 에어컨 실외기의 제진재 적용

김규식, 강연준
서울대학교 기계항공공학부

Damping patch placement on outdoor unit of air-conditioner by using structural intensity technique.

Kim Kyu Sik, Kang Yeon June

Seoul National University, winvi75@snu.ac.kr, yeonjune@snu.ac.kr

요약

에어컨 실외기의 구조 방사 소음을 줄이기 위해 제진재를 적용함에 있어 구조 인텐서티(structural intensity)법을 사용할 수 있다. 에어컨 실외기 각 패널의 법선 방향의 속도는 레이저 스캐닝 바이브로 미터(laser scanning vibrometer)에 의해 측정되며, 측정된 데이터는 공간 주파수 영역(k -domain)으로 변환하여 구조 인텐서티 계산에 필요한 공간 미분값이 구해진다. 이러한 과정을 통하여 계산된 구조 인텐서티 중 반동 전단 구조인텐서티(reactive shearing structural intensity)값이 가장 높은 부분에 사각형 형상의 제진재를 적용한다. 본 논문은 패널에 비해 그 크기가 작은 제진재의 적용으로 에어컨 실외기의 구조 방사 소음을 줄일 수 있음을 보여준다.

1. 서론

구조물의 진동을 줄이기 위하여 제진재를 구조물 표면 전체에 적용하는 것은 생산 시간과 비용을 높일 뿐 아니라, 임의의 위치에 제진재를 적용하였을 경우 원하지 않는 진동 패턴을 유발시켜 구조 방사 소음을 증가시킬 수 있다.[1] 따라서 적절한 제진재의 적용위치를 찾는 것은 비용 및 소음, 진동 저감에

있어서 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 구조 인텐서티는 제진재의 적절한 적용위치를 찾는 데 있어 최적의 해결책을 제시할 수 있다.

구조 인텐서티에 대한 연구는[2-4] 대부분 그 식과 측정 기술에 대해 중점을 두었다. 본 논문에서는 에어컨 실외기(outdoor unit of air-conditioner)를 가진기로 가진하여 외부 패널의 구조 인텐서티를 계산한 뒤 제진재를 적용하여 구조 방사 소음을 저감 정도를 확인하였다. 또한 실제 운전 중인 에어컨 실외기에 같은 방법으로 제진재를 적용하여 방사소음 저감 정도를 살펴보았다.

2. 구조 인텐서티

2.1 구조 인텐서티의 개념

구조 인텐서티 식은 미소 평판의 중간면의 변위와 판재의 단면에 작용하는 단위 길이 당 굽힘 모멘트, 전단 모멘트 및 전단력에 의해 유도되어 진다. 이러한 식과 그 전개 과정, 컴퓨터를 사용한 신호 처리 방법 및 효과적인 필터링 방법은 다른 논문에서 논의되어 있으므로 본 논문에서는 단지 Pavic의 구조 인텐서티 기본 식만을 언급한다. 평판이 xy 방향으로 놓여 있을 때 x 방향에 대한 구조 인텐서티 식은 다음과 같다.[4]

$$I_x = \left\langle D \left[- \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial}{\partial x} \dot{\xi}^* \right) - (1-\nu) \frac{\partial^2 \xi}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \dot{\xi}^* \right) + \left(\frac{\partial^3 \xi}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \xi}{\partial y \partial x^2} \right) \dot{\xi} \right] \right\rangle, \quad (1)$$

2.2 구조 인텐서티 계산

구조 인텐서티는 법선 방향 속도와 그 공간상 미분에 의해 계산되어지며, 구조 인텐서티 값의 정확성은 공간 미분의 처리과정에 달려있다. 공간 미분의 계산을 위해 측정된 속도 데이터는 공간 푸리에 변환(spatial Fourier transform)에 의해 공간 주파수 영역 (wave - number domain, k-space)로 변환하여야 한다. 공간 주파수 영역으로 전환된 데이터의 공간 미분은 단순한 대수 계산식에 의해 수행되어진다.

Pavic 식에 의한 구조 인텐서티의 계산 과정은 Fig. 1 과 같으며 이때 사용되어 지는 식은 (1)이다.

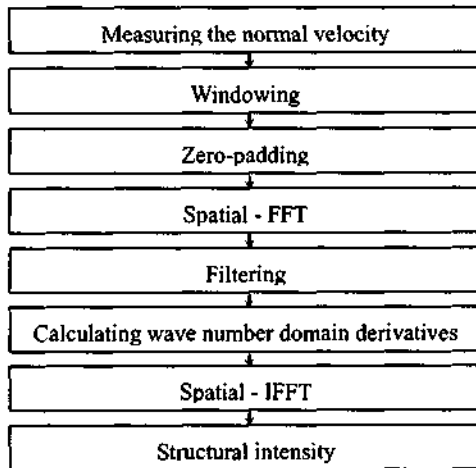


그림 1). Procedure to calculate structural intensity

3. 실험

3.1 실외기 가진 실험

실제 운전 중의 법선 속도 측정을 통한 구조 인텐서티 계산과 제진재 적용 전에 그림 2 와 같이 에어컨 실외기 각 면의 구조 인텐서티를 계산하기 위하여 표면의 법선 방향 속도를 측정하는 실험 장치를 구성하였다. 실외기는 철재 프레임에 피아노선을 이용하여 매단 뒤, 실외기 바닥 패널의 압축기가 놓이는 부분에 20 cm 가진 봉을 연결하고, MB Modal

50A 가진기를 사용하여 관심 주파수 240 Hz 및 746 Hz 의 단일 신호로 가진하였다. 여기서 관심 주파수는 운전 중인 실외기의 진동 및 음압 피크 값 중 운전 환경(냉방, 난방)이나 진동 측정 위치(실외기 외부패널) 및 음압 측정 위치(전방, 후방)에 관계없이 피크 값을 갖는 주파수이다. 실험 시 실외기를 단일 주파수로 가진하여 제진재를 적용하는 것은 특정 주파수의 구조 인텐서티를 통해 최적의 제진재 적용위치를 찾고 제진재에 의한 방사음압의 저감 효과를 확연하게 보기 위함이다.

3.2 운전 중 실외기 실험

실제 운전 중의 실외기 구조 인텐서티 계산을 위하여 무향실 내에서 알루미늄 프레임 위에 실외기 바닥을 고정하여 실험 장치를 구성하였다. 모든 측정 환경 및 구조 인텐서티 계산 방법은 가진기에 의한 실외기의 실험과 동일하며 사용되어진 제진재도 동일하다. 각 면의 법선 속도 측정 시 PCB 353B15

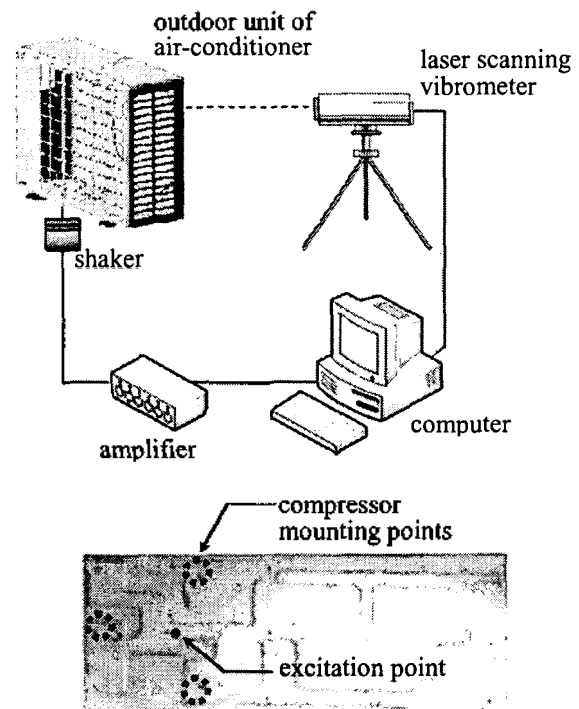


그림 2). Experimental set-up for the outdoor unit on shaker-exciting mode

가속도계를 측정 패널 표면에 부착하여 기준신호로 받아 들었다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 가진 실험

관심 주파수 240 Hz 및 746 Hz 에서 그림 1 의 계산 과정에 의해, 속도 데이터를 이용하여 반동 전단 구조 인텐서티 맵을 그림 3 과 같이 나타내었다.

각각 패널에 대한 반동 전단 구조 인텐서티 크기가 가장높은 부분은 그림 3 의 흰색 사각형 박스로 나타낸 부분이며 이곳에 제진재를 적용한 뒤 방사 되는 음압을 측정하였다. 그 결과 관심 주파수 240 Hz 인 경우 위 패널에 제진재를 적용하였을 때 13.6 dB 의 방사 소음

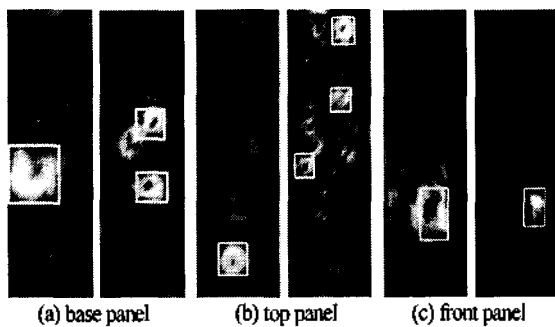


그림 3). Experimental set-up for the outdoor unit on shaker-exciting mode (left:240 Hz, right: 746Hz)

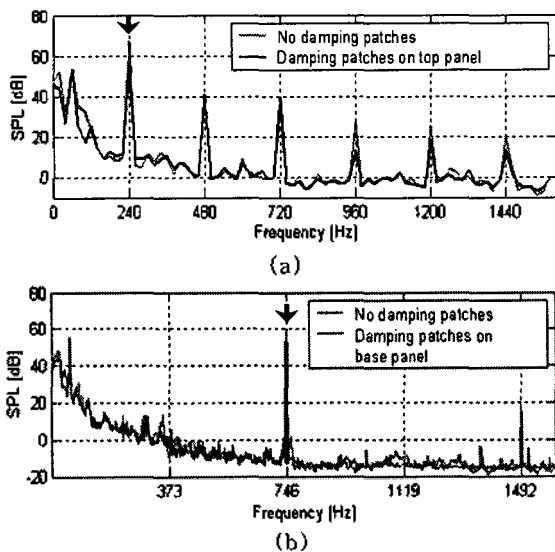


그림 4). Sound pressure level with and without damping patches on operating mode - (a) 240 Hz, (b) 746 Hz.

저감으로 그 효과가 가장 컸으며, 관심 주파수 746 Hz 인 경우 바닥 패널에 제진재를 적용하였을 때 16.4 dB 의 방사 소음 저감으로 그 효과가 가장 컸다. 각각 패널에 대한 제진재 적용 전, 후의 방사 소음 레벨과 저감 정도를 표 1 에 정리하였다. 제진재 적용 전, 후의 변화된 방사 음압 스펙트럼을 그림 4 에 나타내었다.

4.2 운전 중 실험

구조 인텐서티법을 실제 운전 중의 실외기에 적용하여보았다. 그림 5 는 운전 중의 실외기 각 패널의 반동 전단 구조 인텐서티 맵을 나타내며, 그림에서 사각형으로 표시한 부분은 제진재의 적용위치를 나타낸 것이다.

에어컨 운전 시 냉방 조건을 유지 하였으며 음압 측정 위치는 실외기의 중앙에서 전, 후방 1 m 떨어진 지점이다. 실외기 전, 후방 방사 음압의 변화를 아래 표 2 에 정리했다. 변화된 방사 음압 스펙트럼을 Fig. 그림 6 에 나타내었다.

실제 운전 중 실외기의 구조 인텐서티 법을 이용한 제진재 적용은 가진 실험에 비해 그 방사 음압 저감 정도가 낮음을 확인 할 수 있었다. 실외기 앞 패널에 제진재를 적용하였을 경우 실외기 전방의 방사 음압 측정 시 240 Hz 성분에서 2.1 dB 의 방사 소음 저감을 보이며, 실외기 모든패널의 반동 전단 구조 인텐서티가 높은 부분에 제진재를 적용했을 경우 최고 3 dB 의 저감 효과를 보임을 알 수 있었다. 또한 실외기 후방의

		Radiated Sound Pressure Level (Reduction), [dB]	
		240 Hz	746 Hz
No Damping Patches		67.1	58.4
Apply Damping Patches	Base Panel	62.8 (-4.3)	42.0 (-16.4)
	Top Panel	53.5 (-13.6)	55.6 (-2.8)
	Front Panel	60.7 (-6.4)	56.9 (-1.5)
	Rear Panel	64.4 (-2.7)	56.5 (-1.9)
	Right Panel	63.2 (-3.9)	56.8 (-1.6)

표 1). Change of sound pressure level of outdoor unit on operating mode

방사 음압 측정 시 앞 패널에 제진재를 적용하였을 경우 746 Hz 성분에서 1.9 dB, 모든 패널에 제진재를 적용하였을 경우 2.3 dB 의 저감 효과를 보임을 확인할 수 있었다.

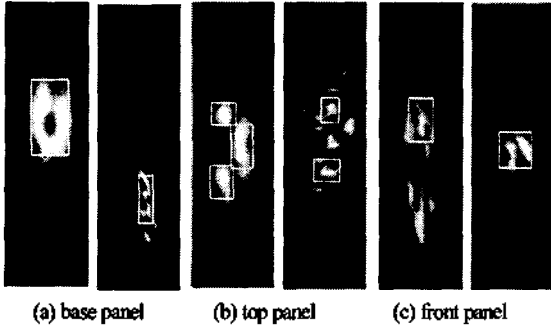


그림 5). Experimental set-up for the outdoor unit on shaker-exciting mode (left:240 Hz, right:746 Hz)

		Change of Sound Pressure Level, [dB]			
		Measured at Front		Measured at Rear	
		240 Hz	746 Hz	240 Hz	746 Hz
Apply Damping Patches	Base	-2.1	+0.6	-0.4	-0.7
	Top	-0.7	+1.0	+0.3	-1.2
	Front	-1.4	-0.6	-0.9	-1.9
	Rear	-0.8	+0.5	-0.2	-1.2
	Right	0	-0.3	+0.1	-1.4
	All	-3.0	-0.8	-1.0	-2.3

표 2). Change of sound pressure level of outdoor unit on operating mode

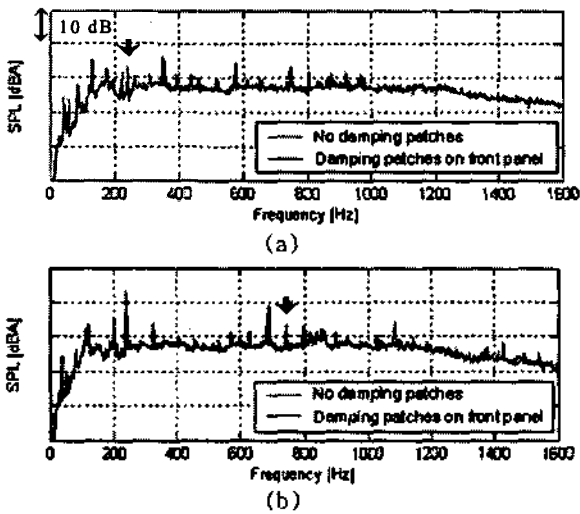


그림 6). Sound pressure level with and without damping patches on shaker-exciting mode - (a)240 Hz, (b)746 Hz.

5. 결 론

본 연구에서는 에어컨 실외기 외부패널을 단일 신호로 가진하여 법선 방향 속도 데이터를 측정된 뒤 구조 인텐서티를 계산하였다. 반동 전단 구조 인텐서티 크기가 높은 부분에 제진재를 적용하여 구조 방사 소음이 최고 16.4 dB 저감하는 것을 확인하였다.

실제 운전 중인 에어컨 실외기의 구조 인텐서티법을 이용한 제진재 적용을 통해 최고 3 dB 의 방사 소음 저감을 이룸으로써 반동 전단 구조 인텐서티는 에어컨 실외기와 같은 구조물의 구조 방사 소음 저감을 위한 제진재 적용 위치 예측에 최적의 방법을 제시함을 확인하였다. 또한, 실제 운전 중의 경우 일부 패널에 제진재를 적용하는 것보다 모든 패널에 제진재를 적용하였을 경우 방사 음압 저감의 효과가 커짐을 확인하였다.

참고문헌

1. A. B. Spalding and J. A. Mann III, 1995, "Placing Small Constrained Layer Damping Patches on a Plate to Attain Global or Local Velocity Changes," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 97, No. 6, pp. 3617 ~ 3624.
2. G. Pavic, 1976, "Measurement of Structural Borne Wave Intensity, Part I : Formulation of the Methods," J. Sound Vib. Vol. 49, No. 2, pp 221 ~ 230.
3. D. U. Noiseux, 1970, "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 47, pp. 238 ~ 247.
4. Y. Zhang and J. Adin Mann III, 1995, "Measuring the Structural Intensity and Force Distribution in Plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 99, No. 1, pp. 345 ~ 353.