

# 구조 인텐서티법을 이용한 에어컨 실외기의 제진재 적용<sup>#</sup>

## Damping Patch Placement on Outdoor Unit of Air-conditioner by Using Structural Intensity Technique

김 규 식\* · 강 연 준<sup>†</sup> · 진 심 원\*\* · 정 인 화\*\* · 이 정 우\*\*

Kyu-Sik Kim, Yeon-June Kang, Sim-Won Chin, In-Hwa Jung and Jung-Woo Lee

(2004년 1월 16일 접수 : 2004년 6월 22일 심사완료)

**Key Words** : Structural Intensity(구조 인텐서티), Reactive Shearing Structural Intensity(반동 전단 구조 인텐서티), Damping Patch (제진재), Outdoor Unit of Air-conditioner(에어컨 실외기)

### ABSTRACT

In this paper, reactive shearing structural intensity method is extended to damping patches placement on outer panels of outdoor unit of air-conditioner to reduce its structural borne noise. The structural intensity is calculated from the normal velocities of structures that are measured by using a laser scanning vibrometer, and  $\kappa$ -space (wave-number domain) signal processing is used to obtain the spatial derivatives in formulation of structural intensity. This method is applied to the outdoor unit of air-conditioner on shaker-exciting mode and operating mode, and then damping patches are placed over area of high reactive shearing structural intensity for reducing the radiated noise. Experimental results show the largest reduction of sound pressure level of an outdoor unit by applying small damping patches to optimal position.

### 1. 서 론

구조물의 진동을 줄이기 위하여 제진재를 구조물 표면 전체에 적용하는 것은 생산 시간과 비용을 높일 수 있다. 구조물의 특정 모드에서의 제진재 적용은 복선(anti-nodal line)의 위치에 제진재를 적용시키는 간단한 방법으로 진동의 크기 및 방사 음압 저감을 달성 할 수 있으나, 임의의 주파수인 경우 구조물의 적절한 제진재 적용 위치를 선정함에 있어서 주의가 요구되며, 임의의 위치에 제진재를 적용하였을 경우

원하지 않는 진동 패턴을 유발 시켜 구조 방사 소음을 증가시킬 수 있다. 따라서 적절한 제진재의 적용 위치를 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<sup>(1-4)</sup> 대부분 그 식과 측정 기술에 대해 중점을 두었다. Zhang<sup>(3-4)</sup>은 Pavic과 Romano에 의한 구조 인텐서티식을 각각 사용하여 두 식의 계산과정과 결과를 비교하였으며, 평판에 리브(rib)를 붙여 평판 내부의 에너지 흐름과 리브의 영향에 대한 연구를 수행하였다. Morikawa<sup>(5)</sup>는 구조 인텐서티 계산 중 공간 주파수 영역( $\kappa$ -space) 신호 처리 시 발생하는 에러를 평가하고, 이를 줄이기 위한 최적화된 필터 폭을 규명하였다. Nejade와 Singh<sup>(6)</sup>는 평판의 형상과 구속조건에 따른 구조 인텐서티를 계산하여 비교하였으며, 기어 박스 윗면의 구조 인텐서티 맵과

<sup>†</sup> 책임저자 : 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : yeonjune@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-1691, Fax : (02) 883-1513

\* 정희원, 서울대학교 대학원 기계공공학부

\*\* (주)LG 전자 DA연구소

<sup>#</sup> 본 논문은 2003 추계학술대회에서 우수발표논문으로 추천되었음.

음향 인텐서티 맵을 서로 비교하여 구조 인텐서티의 에너지 흐름과 음향 인텐서티 크기와와의 관계를 연구하였다. Spalding과 Mann<sup>(7)</sup>은 반동 전단 구조 인텐서티(reactive shearing structural intensity)의 크기에 따라 제진재를 적용하여 평판의 국부 및 전체 표면의 법선 방향 속도를 변화시킬 수 있음을 보여주었다. 이러한 Spalding과 Mann의 연구는 구조 방사 소음을 저감시키는데 있어서 반동 전단 구조 인텐서티를 적용하게 하는 아이디어를 제공하였다.

본 논문에서는 에어컨 실외기(outdoor unit of air-conditioner)를 가진기로 가진하여 외부 패널의 구조 인텐서티를 계산한 뒤 제진재를 적용하여 구조 방사 소음을 저감정도를 확인하였다. 또한 실제 운전 중인 에어컨 실외기에 같은 방법으로 제진재를 적용하여 방사소음 저감 정도를 살펴보았다.

## 2. 구조 인텐서티

### 2.1 구조 인텐서티 이론

구조 인텐서티 식은 미소 평판의 중간면의 변위와 판재의 단면에 작용하는 단위 길이 당 굽힘 모멘트, 전단 모멘트 및 전단력에 의해 유도 되어 진다. 이러한 식과 그 전개 과정, 컴퓨터를 사용한 신호 처리 방법 및 효과적인 필터링 방법은 다른 논문에 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.

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

$y$  방향에 대한 구조 인텐서티는 다음과 같다.

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

여기서,  $D$ 는 평판의 굽힘 강성으로 다음 식과 같으며,  $D = EH^3/[12(1 - \nu^2)]$ ,  $h$ 는 판의 두께,  $E$ 는

영률,  $\nu$ 는 푸아송비,  $w$ 는 법선 방향의 변위,  $\dot{w} = \partial w / \partial t$ 는 법선 속도,  $\langle \rangle_t$ 는 시간 평균을 의미한다.

구조 인텐서티 식은 각각의 방향에 대하여 굽힘(bending), 비틀림(twisting), 전단(shearing)의 세 부분으로 나눌 수 있으며 이들 각각은 평판 내 전파하는 파형과 관계가 있다.  $x$  방향의 구조 인텐서티에 대해 예를 들면 다음과 같다.

$$- \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} \quad (3)$$

식 (3)은 굽힘 파(bending wave)와 연관된 부분이고,

$$- (1 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial \dot{w}}{\partial y} \quad (4)$$

식 (4)는 비틀림 파(twisting wave)와 연관된 부분이며,

$$\left( \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right) \dot{w} \quad (5)$$

식 (5)는 전단 파(shearing wave)와 연관된 부분이다.<sup>(8)</sup>

구조 인텐서티는 복소수로 표시되며 음향 인텐서티와 같이 실수 부분은 능동 구조 인텐서티(active structural intensity), 허수 부분은 반동 구조 인텐서티(reactive structural intensity)라 한다. 여기서 능동 구조 인텐서티는 시간 평균 파워로 직접적으로 에너지의 흐름을 나타낸다. 이에 반해 반동 구조 인텐서티는 물리적으로 명확한 의미를 지니지는 않는다.<sup>(8)</sup> 하지만 반동 구조 인텐서티 중 전단파와 관계 있는 반동 전단 구조 인텐서티는 Kruger<sup>(9)</sup> 및 Spalding과 Mann의 연구에 근거할 때, 방사 음압을 줄이기 위한 제진재 적용위치 예측에 최적의 방법을 제시해준다.

### 2.2 구조 인텐서티 계산

식 (1), (2)에서 구조 인텐서티는 법선 방향 속도와 그 공간상 미분에 의해 계산되어지며, 구조 인텐서티 값의 정확성은 공간 미분의 처리과정에 달려있

다. 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 식 (6)과 같은 단순한 대수 계산식에 의해 수행되어진다.

$$F\left[\frac{\partial^{n+m} \dot{w}}{\partial x^n \partial y^m}\right] = (jk_x)^n (jk_y)^m F[\dot{w}] \quad (6)$$

여기서,  $F[\ ]$ 는 공간 푸리에 변환을 의미하며,  $k_x$ ,  $k_y$ 는  $x$ 방향과  $y$ 방향의 파동수(wave number)를 의미한다.

측정 데이터에 포함되어 있는 에러는 높은 파동수 영역에서 증폭되므로 데이터의 에러를 줄이기 위한  $k$ -공간상에서의 공간 필터가 필요하다. 또한 측정된 구조물의 법선 속도데이터를 완곡히 하기 위한 공간 윈도함수도 필요하다. Pavic 식에 의한 구조 인텐서티의 계산 과정은 Fig. 1과 같으며 이때 사용되어 지는 식은 (1), (2) 및 (6)이다.

### 3. 실험

#### 3.1 실외기 가진 실험

실제 운전 중의 법선 속도 측정을 통한 구조 인텐서티 계산과 제진재 적용 전에 Fig. 2와 같이 에어컨

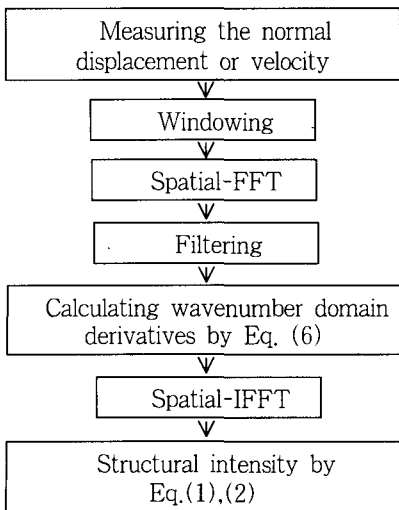


Fig. 1 Procedure to calculate structural intensity

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 50 A 가진기를 사용하여 관심 주파수 240 Hz 및 746 Hz의 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 확인하게 하기 위함이다.

가진 점의 위치는 바닥 패널 좌측에서 230 mm, 150 mm 지점이다. 가진 봉과 바닥 패널 사이에 PCB 208C02 힘 변환기를 사용하여 기준 신호(reference signal)를 받아 들었으며, 폴리텍사의 레이저 스캐닝 바이브로미터(laser scanning vibrometer) PSV 300을 이용하여 실외기 표면의 법선 속도를 측정하였다. 제진재 적용 전과 적용 후의 방사 음압의 측정은 B&K 1/2" 4189 마이크로폰을 사용하였으며, 무향실 내에서 진동 측정과 동시에 이루어졌다. 이때 음압 측정 위치는 실외기 앞면 중앙에서 1 m 떨어진

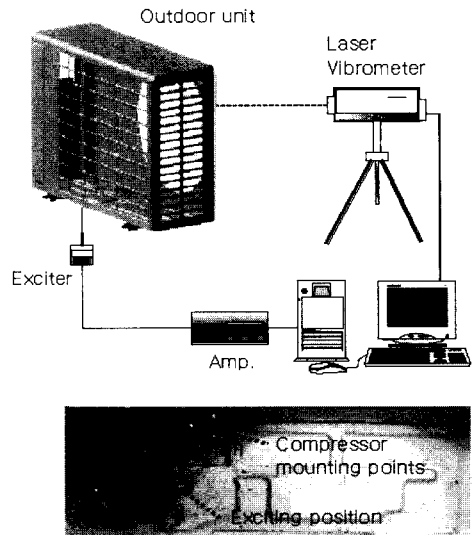


Fig. 2 Experimental set-up for the outdoor unit on shaker-exciting mode

지점이며 사용되어진 제진재는 손실 계수 0.06의 부틸 테잎(butyle tape)이다.

속도 측정은 바닥 패널, 윗 패널, 앞 패널, 뒤 패널, 우측 패널의 5면을 측정하였으며, 이때 측정 점의 개수는 각각 555(37×15)점, 855(45×19)점, 555(15×37)점, 429(11×39)점, 243(37×15)점이다. 또한 측정점 사이의 간격은  $x$  및  $y$ 방향에 대하여 바닥 패널이 22 mm, 20 mm, 윗 패널이 17 mm, 15 mm, 앞 패널이 18 mm, 14 mm, 뒤 패널이 17 mm, 14 mm, 우측 패널이 20 mm, 16 mm이다.

### 3.2 운전 중 실외기 실험

실제 운전 중의 실외기 구조 인텐서티 계산을 위하여 Fig. 3과 같이 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 범선 속도 측정 시 PCB 353B15 가속도계를 측정 패널 표면에 부착하여 기준 신호로 받아 들었다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

실외기 외부패널 중 바닥 패널의 경우 그 포밍 형상으로 인해 평판에 기초한 구조 인텐서티 식을 적용하기에 어려움이 있다. 이에 본 논문에서는 Fig. 3과 같은 포밍 형상이 있는 바닥 패널을 평판으로 가정하여 구조 인텐서티를 계산하였다. 바닥 패널의 240 Hz에서 범선 속도를 이용하여 구조 인텐서티를 계산한 결과 가진 소스의 위치에서 에너지가 흘러 나감을 Fig. 4를 통해 확인 할 수 있다. 이는 능동 구조 인텐

서티를 통해 소스의 위치를 찾을 수 있는 Zhang<sup>(6)</sup>의 논문을 고려할 때 복잡한 형상을 지닌 바닥 패널이라도 그 구조 인텐서티를 계산한 결과, 소스의 위치를 정확히 찾아내므로 포밍 형상이 있는 판재에 대한 구조 인텐서티 식의 적용이 가능하다고 간주한다.

### 4.1 가진 실험

관심 주파수 240 Hz 및 746 Hz 에서 바닥 패널의

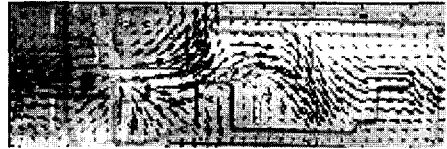
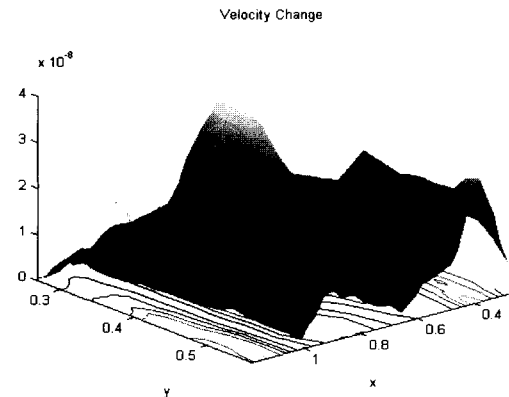
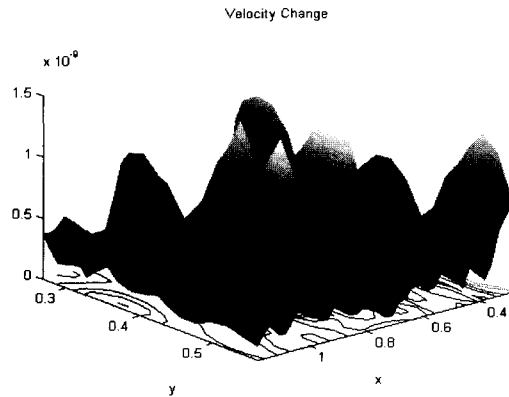


Fig. 4 Structural intensity vector plot of the base panel at 240 Hz (● : excitation point)



(a)



(b)

Fig. 5 Measured velocity of the base panel on shaker-exciting mode ((a) : 240 Hz, (b) : 746 Hz)

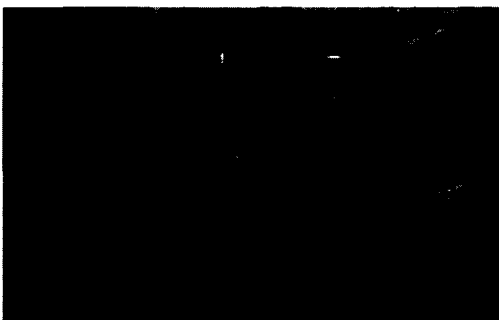


Fig. 3 Experimental set-up for the outdoor unit on operating mode

속도 분포는 Fig. 5와 같으며, Fig. 1의 계산 과정에 의해, 속도 데이터를 이용하여 반동 전단 구조 인텐서티 맵을 Fig. 6~Fig. 7과 같이 나타내었다.

각각 패널에 대한 반동 전단 구조 인텐서티 크기가 가장높은 부분은 Fig. 6~Fig. 7의 흰색 사각형 박스로 나타낸 부분이며 이곳에 제진재를 적용한 뒤 방사되는 음압을 측정하였다. 그 결과 관심 주파수 240 Hz인 경우 위 패널에 제진재를 적용하였을 때 13.6 dB의 방사 소음 저감으로 그 효과가 가장 컸으며, 관심 주파수 746 Hz인 경우 바닥 패널에 제진재를 적용하였을 때 16.4 dB의 방사 소음 저감으로 그 효과가 가장 컸다. 각각 패널에 대한 제진재 적용 전·후의 방사 소음 레벨과 저감 정도를 Table 1에 정리하였다. 제진재 적용 전, 후의 변화된 방사 음압 스펙트럼을 Fig. 8 ~Fig. 11에 나타내었다.

입의 위치에서 제진재를 적용하였을 경우 방사 소음 저감 정도는 구조 인텐서티에 의한 제진재 적용 위치에 제진재를 적용했을 때 보다 4 dB 이상의 차이를 보이며 방사 소음 저감 효과가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 구조 방사 소음 저감을 위한 제진재 적용 시 반동 전단 구조 인텐서티법은 최적의 방법임을 시사해 준다.

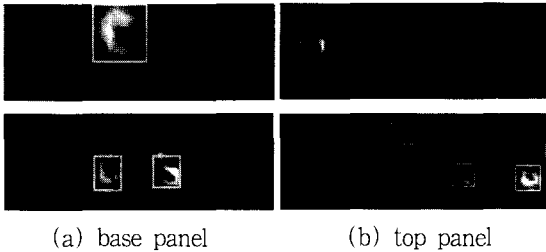


Fig. 6 Reactive shearing structural intensity on shaker-exciting mode (top : 240 Hz, bottom : 746 Hz)

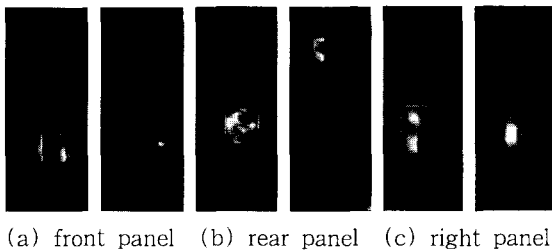


Fig. 7 Reactive shearing structural intensity on shaker-exciting mode (left : 240 Hz, right : 746 Hz)

Table 1 Change of sound pressure level on shaker-exciting mode

		Radiated SPL (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)

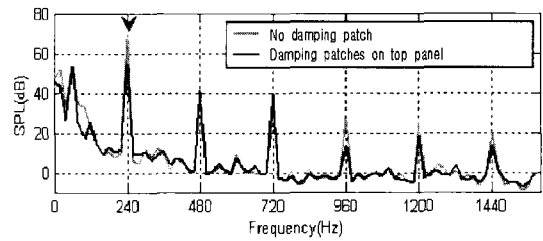


Fig. 8 Sound pressure level with and without damping patches on top panel on shaker-exciting mode

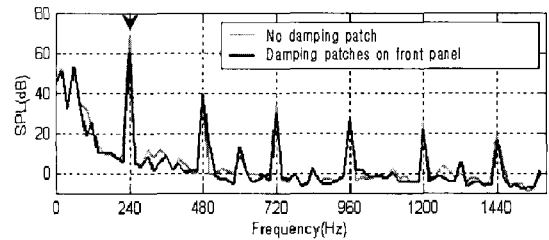


Fig. 9 Sound pressure level with and without damping patches on front panel on shaker-exciting mode

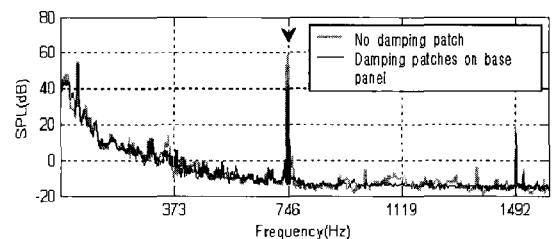


Fig. 10 Sound pressure level with and without damping patches on base panel on shaker-exciting mode

또한, 제진재를 적용하여 방사 음압 저감에 효과가 높은 240 Hz에서의 위 패널과 746 Hz에서의 바닥 패널의 위치에 제진재를 동시에 적용하여 각각의 주파수 성분에 대한 방사 소음 저감의 효과를 Fig. 12에 나타내었다. 그 결과 240 Hz 성분에서의 경우 방사 소음이 9.8 dB 줄었으며, 746 Hz 성분에서는 방사 소음이 15 dB 줄어들었음을 확인 할 수 있다. 이 결과는 240 Hz 및 746 Hz에서 방사 소음 저감이 가장 두드러진 위 패널과 바닥 패널에 제진재를 각각 적용하여 방사 음압을 측정하였을 경우의 방사 소음 저감 정도 13.6 dB, 16.4 dB에 비해 3.8 dB 및 1.4 dB 차이를 보이며 제진재에 의한 구조 방사 소음 저감 효

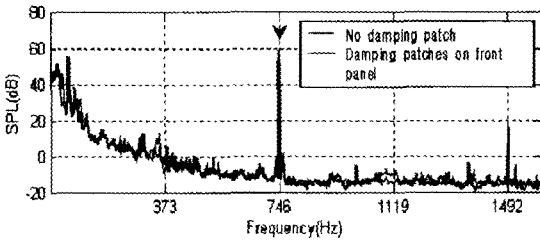
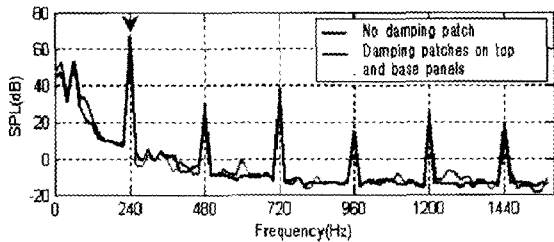
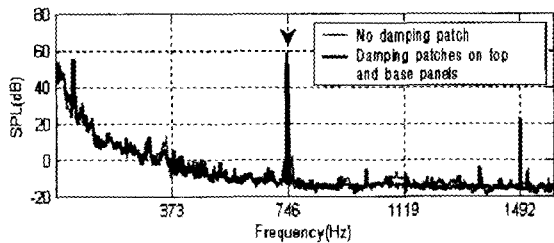


Fig. 11 Sound pressure level with and without damping patches on front panel on shaker-exciting mode

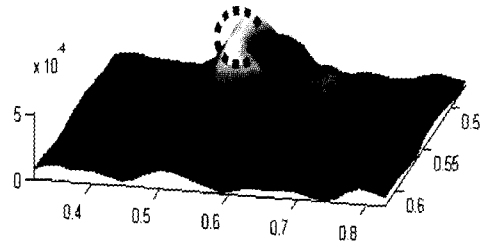


(a) Sound pressure level (240 Hz)

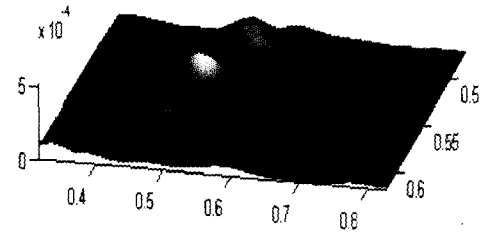


(b) Sound pressure level (746 Hz)

Fig. 12 Sound pressure levels with and without damping patches on top and base panels on shaker-exciting mode

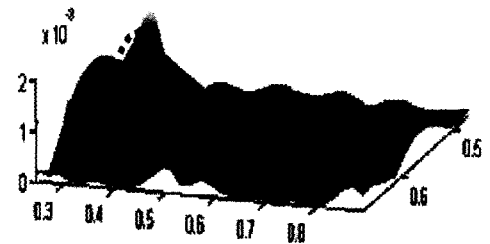


(a)

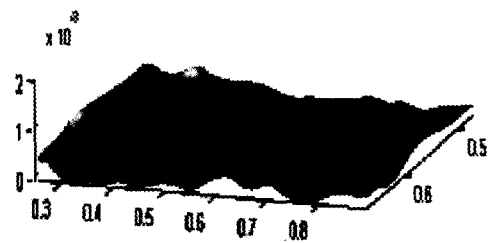


(b)

Fig. 13 Change of reactive shearing structural intensity of base panel - (a) : before applying damping patch, (b) : after applying damping patch, ⊙:damping patch position



(a)



(b)

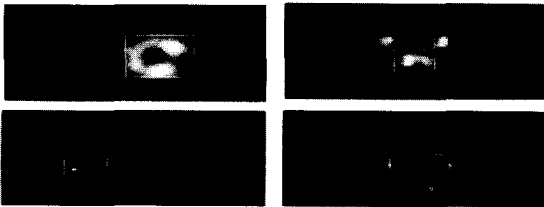
Fig. 14 Change of reactive shearing structural intensity of front panel - (a) : before applying damping patch, (b) : after applying damping patch, ⊙:damping patch position

과가 낮아졌다. 이는 각각의 관심 주파수 240 Hz, 746 Hz에서 바닥 및 위 패널의 제진재 적용위치가 다르므로 각각의 주파수 성분에서 임의의 위치에 제진재를 적용한 것으로 간주 할 수 있으므로 그로 인해 방사 음압의 저감 효과가 낮아졌다고 볼 수 있다.

구조 방사 소음의 저감을 위하여 구조 인텐서티 성분 중 반동 전단 구조 인텐서티의 크기가 높은 부분에 제진재를 적용하였다. 제진재 적용전과 적용후의 바닥 패널의 반동 전단 구조 인텐서티 크기의 변화를 Fig. 13~Fig. 14에 나타냈다. 그림에서 보듯 제진재를 적용한 부분의 반동 전단 인텐서티의 크기가 감소하였음을 확인할 수 있다. 이는 제진재의 적용은 패널에서의 진동 에너지 저감을 유도하며, 이로써 구조 방사 소음 저감에 기여했다고 볼 수 있다.

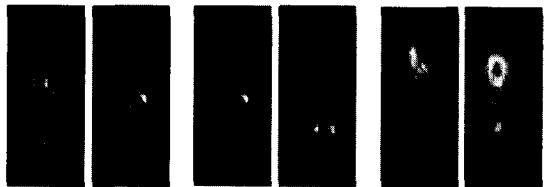
**4.2 운전 중 실험**

에어컨 실외기의 단일 주파수 가진 실험으로 구조 인텐서티를 계산하여 최적의 제진재 적용 위치를 찾아 낸 후 부틸 테잎 제진재를 부착하여 높은 구조 방사 소음 저감효과를 얻어냈다. 이러한 가진 실험을 바탕으로 구조 인텐서티법을 실제 운전 중의 실외기에 적용하여보았다. Fig. 15~Fig. 16은 운전 중의 실외기 각 패널의 반동 전단 구조 인텐서티 맵을 나타



(a) base panel (b) top panel

**Fig. 15** Reactive shearing structural intensity on operating mode (top : 240 Hz, bottom : 746 Hz)



(a) front panel (b) rear panel (c) right panel

**Fig. 16** Reactive shearing structural intensity on operating mode (left : 240 Hz, right : 746 Hz)

내며, 그림에서의 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 Table 2 및 Table 3에 정리했다. 변화된 방사 음압 스펙트럼을 Fig. 17~Fig. 18에 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 dB의 방사 소음 저감을 보이며, 실외기 모든 패널의 반동 전단 구조 인텐서티가 높은 부분에 제진재를 적용했을 경우 최고 3 dB의 저감 효과를 보임을 알 수 있었다. 또한 실외기

**Table 2** Change of sound pressure level measured at front side on operating mode

		Change of SPL, [dB]	
		240 Hz	746 Hz
Apply damping patches	Base panel	-2.1	+0.6
	Top panel	-0.7	+1.0
	Front panel	-1.4	-0.6
	Rear panel	-0.8	+0.5
	Right panel	0	-0.3
	All panels	-3.0	-0.8

**Table 3** Change of sound pressure level measured at rear side on operating mode

		Change of SPL, [dB]	
		240 Hz	746 Hz
Apply damping patches	Base panel	-0.4	-0.7
	Top panel	+0.3	-1.2
	Front panel	-0.9	-1.9
	Right panel	-0.2	-1.2
	Rear panel	+0.1	-1.4
	All panels	-1.0	-2.3

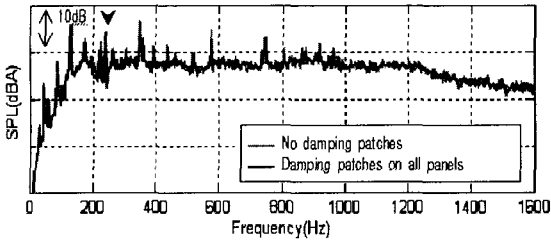


Fig. 17 Sound pressure level with and without damping patches on operating mode (front side measurement)

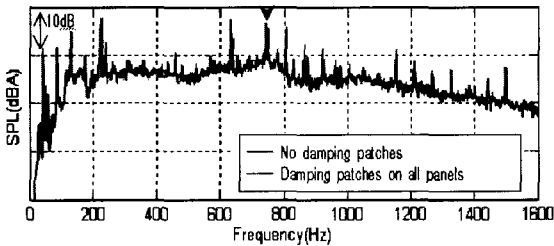


Fig. 18 Sound pressure level with and without damping patches on operating mode (rear side measurement)

후방의 방사 음압 측정 시 앞 패널에 제진재를 적용하였을 경우 746 Hz 성분에서 1.9 dB, 모든 패널에 제진재를 적용하였을 경우 2.3 dB의 저감 효과를 보임을 확인 할 수 있었다. 운전 중 실외기는 특정 패널에 제진재를 적용하였을 경우보다 전 패널에 부착하였을 경우 저감 효과가 높아짐을 확인 할 수 있다. 실험을 통해 실제 운전 중의 실외기에 구조 인텐서티법을 통해 제진재를 적용하였을 경우 실외기 가진 실험에 비해 저감 정도는 낮지만 특정 관심 주파수에서의 방사 음압 저감을 유도할 수 있음을 확인하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 에어컨 실외기 외부패널을 단일 신호로 가진하여 범선 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 dB의 방사 소음 저감을 이룸으로써 반동 전단 구조 인텐서티는 에어컨 실외기와 같은 구조물의 구조 방사 소음 저감을

위한 제진재 적용 위치 예측에 최적의 방법을 제시함을 확인 하였다. 또한, 실제 운전 중의 경우 일부 패널에 제진재를 적용하는 것보다 모든 패널에 제진재를 적용하였을 경우 방사 음압 저감의 효과가 커짐을 확인하였다.

에어컨 실외기의 가진 실험에 비해 운전 중 실험의 제진재에 의한 소음 저감 정도는 매우 낮아 제진재에 의한 실제 운전 중의 방사 소음 저감에는 한계가 있음을 알 수 있다. 이는 외부 패널의 구조기인 소음에만 한정된 에어컨 실외기의 가진 실험과 달리 실외기 운전 중의 소음원은 외부 패널 및 내부 구조물의 구조기인 소음(structural-borne noise)과 공기기인 소음(air-borne noise) 그리고 냉각팬에 의한 공력 소음이 대등하게 작용하므로 제진재에 의한 방사 소음 저감 정도가 떨어졌다고 볼 수 있다. 그러나 특정 주파수에서 구조기인 소음이 지배적인 구조물인 경우 본 실험과 같은 구조 인텐서티법을 활용한 제진재 적용은 방사 소음 저감을 위한 유용한 방법이며 산업계에 적용 가능성이 높다고 판단된다. 또한, 제진재와 흡음재를 동시에 적용할 경우 구조기인 소음 및 공기기인 소음 등의 다양한 소음원이 존재하는 구조물에서 방사 소음을 줄일 수 있는 효과적인 방안이 될 수 있을 것이다.

포밍 형상이 있는 실외기 바닥 패널의 가진에 의한 구조 인텐서티를 계산하여 제진재를 적용한 결과 관심 주파수에서의 방사 소음 저감 효과를 확인하였다. 이는 복잡한 형상을 가진 구조물에 구조 인텐서티를 적용할 수 있는 가능성을 제시해 준다. 그러나 복잡한 형상을 갖는 판재의 구조 인텐서티 크기와 에너지의 흐름에 대한 더 많은 연구와 실험이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 (주)LG전자와 서울대학교 마이크로열시스템연구센터( $\mu$ -Therm)의 지원으로 수행된 것입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Pavic, G., 1976, "Measurement of Structural Borne Wave Intensity, Part I : Formulation of the Methods," J. Sound Vib. Vol. 49, No. 2, pp 221 ~ 230.



- (2) Noiseux, D. U., 1970, "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 47, pp. 238~247.
- (3) Zhang, Y. and Adin Mann III, J., 1995, "Measuring the Structural Intensity and Force Distribution in Plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 99, No. 1, pp. 345~353.
- (4) Zhang, Y. and Adin Mann III, J., 1996, "Examples of Using Structural Intensity and the Force Distribution to Study Vibrating plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 99, No. 1, pp. 354~361.
- (5) Morikawa R. and Ueha, S., 1996, "Error Evaluation of the Structural Intensity Measured with a Scanning Laser Doppler Vibrometer and a K-space Signal Processing," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 99, No. 5, pp. 2913~2921.
- (6) Nejade, A. and Singh, R., 2002, "Flexural Intensity Measurement on Finite Plates using Modal Spectrum Ideal Filtering," J. Sound Vib. Vol. 256, No. 1, pp. 33~63.
- (7) Spalding, A. B. and Mann III, J. A., 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.
- (8) Zhang, Y., 1993, "An Experimental Model for Structural Intensity and Source Location," Ph.D. dissertation, Iowa State University.
- (9) Kruger, D. H., Adin Mann III, J. and Wiegandt, T., 1997, "Placing Constrained Layer Damping Patches using Reactive Shearing Structural Intensity Measurements," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 101, No. 4, pp. 2075~2082.
- (10) Williams, E. G., Dardy, H. D. and Fink, R. G., "A Technique for Measurement of Structure-borne Intensity in Plates," J. Acoust. Soc. Am. Vol. 76, pp. 2061~2068.
- (11) 김대원, 배준영, 1999, "능동적 점성 감쇠를 이용한 차량용 동적 흡진기의 모델링과 제어에 관한 연구," 한국소음진동공학회논문집, 제 9 권, 제 1 호, pp. 121~130.