

흡음덕트 부착 열회수형 환기장치의 음향성능 평가에 관한 연구

배명환^{1†} · 송준영² · 박희성³

(Received February 11, 2016 ; Revised April 19, 2016 ; Accepted June 14, 2016)

A study on the acoustic performance evaluation of heat recovery ventilator with a sound absorbing duct

Myung-Whan Bae^{1†} · Jun-Young Song² · Hui-Seong Park³

요약: 본 연구에서는 기존 열회수형 환기장치의 음향 문제점을 파악하고, 흡음덕트 설치위치별 열회수형 환기장치의 소음저감 방안을 강구하기 위하여 관련된 국내·외 규격을 기준으로 열회수형 환기장치의 크기, 풍량 및 흡음덕트 길이를 파라미터로 한 발생소음을 측정하여 비교하고 고찰하였다. 그 결과, 무향실에서 열회수형 환기장치에 대한 소음은 흡음덕트를 설치하지 않았을 경우에 소형 및 중형 모두 풍량에 관계없이 거의 대부분 소음기준인 50 dB(A) 보다 높게 나타났고, 흡음덕트를 설치하였을 경우에는 소음도가 감소됨을 알았다. 또한, 흡음덕트의 길이에 따른 주파수 대역별 음압수준은 소형과 중형 열회수형 환기장치에서 흡음덕트의 길이가 클수록 대체적으로 감소하였고, 풍량이 클수록 대체적으로 음압수준이 증가하였다.

주제어: 열회수형 환기장치, 무향실, 흡음덕트, 소음도, 음압수준, 주파수 대역, 풍량

Abstract: The purpose of this study is to investigate the acoustic problems of the conventional heat recovery ventilator and to suggest the methods of noise reduction from a heat recovery ventilator according to the installed location. The noise level, in this study, was measured and discussed as the parameters of size, wind volume and sound absorbing duct length for a heat recovery ventilator based on domestic and international related standards. It is found, as a result, that almost all of noise levels from the small and medium heat recovery ventilators without the sound absorbing duct in the anechoic chamber were higher than the noise standard value of 50 dB(A) regardless of the wind volume, and the noise levels went down when a sound absorbing duct was installed. In addition, the sound pressure level relative to frequency bands according to the length of sound absorbing duct was generally decreased, as the length of sound absorbing duct in the small and medium heat recovery ventilators was big, and the sound pressure level was generally increased, as the wind volume was great.

Keywords: Heat recovery ventilator, Anechoic chamber, Sound absorbing duct, Noise level, Sound pressure level, Frequency bands, Wind volume

1. 서 론

건축기술의 발달에 따른 건물의 에너지절약을 위하여 고도의 단열화 및 기밀화를 추구하고 있지만, 다른 한편으로는 이로 인해 환기부족 등으로 실내공기 환경은 상대적으로 악화되어 재실자의 건강을 위협하고 있다. 이에 재실자의 쾌적한 실내 환경의 확보에 대한 욕구가 증대되면서 정부에서는 2006년 건설교통부령 제 497호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 환기횟수를 확보하기 위하여 공동주택 및 다중 이용시설의 환기설비기준을 제시하여 본격적으로 열회수형 환기장치가 설치되고 있다.[1]

공동주택 및 다중이용시설을 신축 또는 리모델링하는 경우에는 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치해야 한다. 최근에는

기계환기설비를 설치하여 실내공기질을 개선하고, 배출되는 공기로부터 열을 회수함으로써 환기에 의해 손실되는 에너지 낭비를 최소화하기 위한 열회수형 환기장치의 사용이 증가되고 있다.[2]-[4]

한편, 환기를 하기 위해 기계환기설비를 설치함에 따라 실내에서 기계환기설비 작동에 따른 소음과 진동이 발생된다.[5][6] 기계환기설비에서 발생하는 소음은 거주자의 불쾌감을 유발할 수 있기 때문에, 40 dB 이하가 되도록 하여야 한다.[7] 또한, 내부 각 실간의 급·배기 덕트 시공에 따른 실간 우회전달경로(덕트 및 관통부)가 형성되어 공기전달음 차단성능의 저하가 발생된다. 실간에 연결된 덕트를 통하여 소음이 전달되는 경우에는 거주자의 생활에 불편을 줄 뿐만 아니라, 기타 실내에서 발생하는 다양한 생활소음

†Corresponding Author: Engineering Research Institute, Department of Mechanical Engineering for Production, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, E-mail: mwbae@gnu.ac.kr, Tel: 055-772-1631

2 Graduate School, Gyeongsang National University, E-mail: wkesp@daum.net

3 Graduate School, Gyeongsang National University, E-mail: killraid@gnu.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 전달경로가 될 수 있다.

정부에서는 건축물의 설비기준 법령, 주택성능 등급표시제, 실내공기질 관리법 등을 통해 실내공기질을 관리하는 법규를 제정하였는데, 이로 인해 환기장치관련 제품시장이 급속도로 성장되었다. 그런 관계로 건설사 등은 열회수형 환기장치를 적용하기 위한 건물의 설계변경과 시공방법에 관한 방안을 검토해 왔다. 그러나 국내 열회수형 환기장치의 도입 역사는 매우 짧기 때문에, 건설업체 주도하에 설치된 열회수형 환기장치에 대해 사용자 입장에서환기 적정성, 열교환기 효율성, 소음 저감 등에 대한 검증이 매우 부족한 실정이다.[8]-[10]

본 연구에서는 관련된 국내·외 규격을 기준으로 하여 열회수형 환기장치의 크기와 풍량을 파라미터로 하여 발생하는 소음을 측정하고, 장치에 흡음덕트를 연결하였을 경우 소음저감 효과를 파악하기 위해 흡음덕트 길이에 따라 발생하는 소음을 측정하여 고찰한 다음, 열회수형 환기장치에서 발생하는 소음저감 방법을 모색하는 기초자료로 활용하는 것이 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

Figures 1과 2에는 팬, 엘리먼트 코어, 필터, 외부후드 등으로 구성된 본 실험에 사용된 소형 및 중형 열회수형 환기장치의 외형도를 나타내고 있다. 열회수형 환기장치는 시스템의 주요기능인 환기, 열교환 등이 구성요소의 조합에 따라 결정되는데, 본 실험에서는 소형과 중형을 임의 선정하여 Table 1과 같이 정리하였고, 풍량은 강, 중, 약으로 변화시켜 소음을 측정하였다.

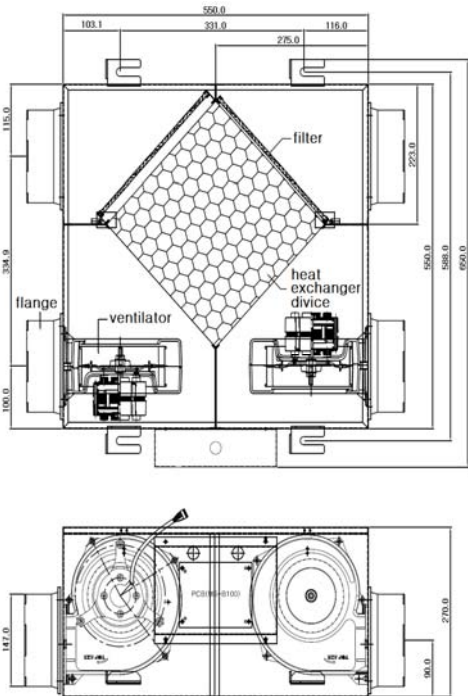


Figure 1: Outward drawings of a small heat recovery ventilator

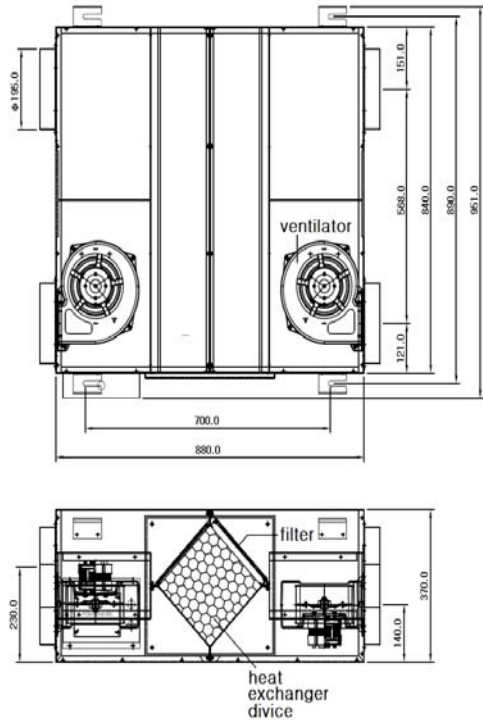


Figure 2: Outward drawings of a medium heat recovery ventilator

Table 1: Specifications of heat recovery ventilators

Items	Small			Medium		
	Strong	Middle	Weak	Strong	Middle	Weak
Operation mode						
Wind volume (CMH)	150	113	75	800	600	400
Power consumption (W)	60	45	30	310	180	110
External static pressure (Pa)	100	80	50	150	120	100
Effective thermal efficiency	Heating (%)			> 70		
	Cooling (%)			> 45		
Filter	Polypropylene filter					
Duct diameter (mm)	150			250		
Size (mm) W × H × D	550 × 550 × 270			1,180 × 1,000 × 480		

Figure 3은 무향실 내에서 열회수형 환기장치 소음을 측정하는 모습을 나타내고 있다. 소형 및 중형 열회수형 환기장치에 대해 풍량별로 발생하는 팬소음을 측정하였고, 추가적으로 흡음덕트를 설치하여 흡음덕트의 성능을 검증하였다.

Photo 1에는 무향실내의 측정장치를, Photo 2에는 무향실내의 열회수형 환기장치에 대한 소음 측정장면을, Photo 3에서 무향실내의 열회수형 환기장치에 덕트를 연결한 후에 소음을 측정하는 장면을 나타내고 있다. Table 2에는 측정장치의 사양을 나타내고 있다.

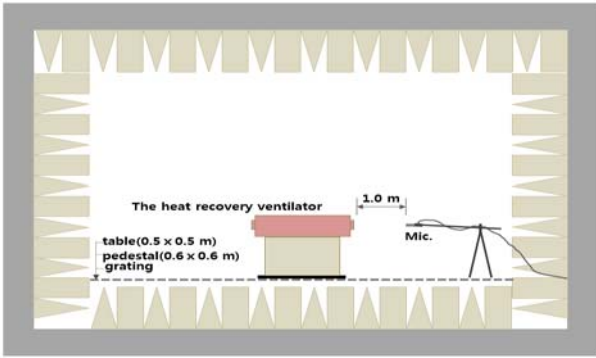


Figure 3: Schematic diagram of the measuring equipments inside an anechoic chamber

Table 2: Specifications of measuring instruments

Instruments	Specifications
Real time analyzer	Symphonie, 01dB, France 2 Ch, Analysis of a real-time FFT, Analysis of 1/3 octaves(20 kHz)
1.27 cm(1/2") condenser microphone	40AE, G.R.A.S, Denmark Frequency range(±2 dB) : 3.15 Hz ~ 20 kHz Sensitivity : ± 2dB @ 1kHz Resonance frequency : 14 kHz
Sound level calibrator	CAL21, 01dB(1000 Hz, 94 dB), France Output level : 94 or 114 dB Output frequency : 1 kHz 1/2" microphone opening

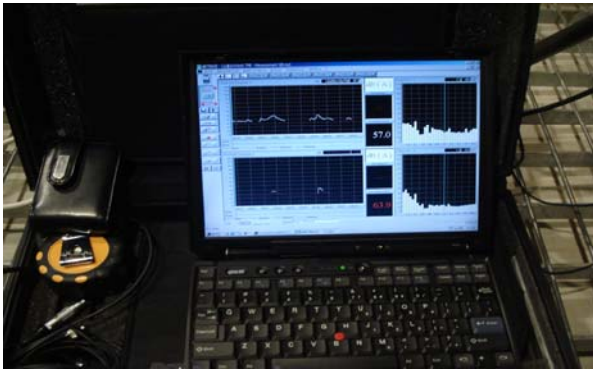


Photo 1: Measuring instruments in the anechoic chamber

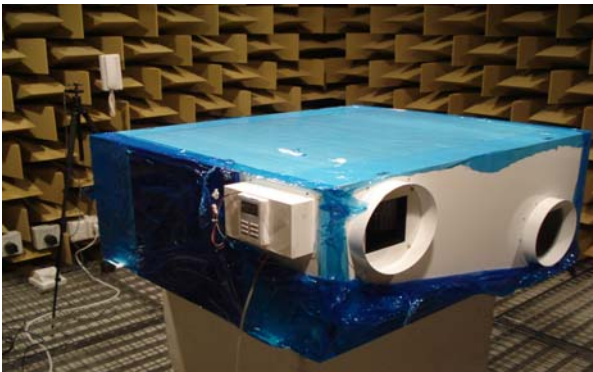


Photo 2: Measuring scene of noise for a heat recovery ventilator in the anechoic chamber

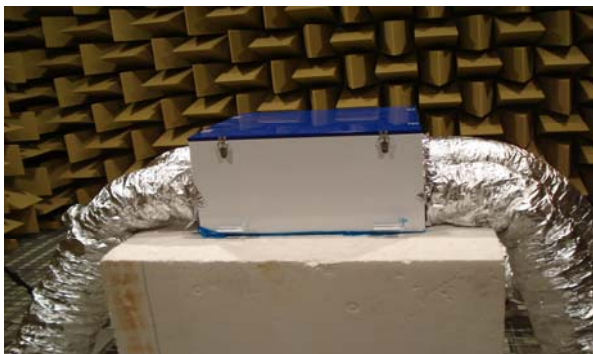


Photo 3: Measuring scene of noise after connecting the duct of a heat recovery ventilator

2.2 실험방법

Figure 4는 판형 열회수형 환기장치의 열교환 상태를 보여주고 있다. 이 방식은 환기되는 공기 내에 포함된 열이 판과 판 사이를 지나면서 외기와 환기 사이에 위치한 열교환 매체를 가열하고, 이 판의 열을 급기에 전달하도록 구성되어 있다. 이 열회수형 환기장치의 특징은 전열교환이 가능하여 사계절이 분명한 기후에 적용이 가능하고, 별도 동력을 필요로 하지 않기 때문에 에너지절감이 우수하다. 그러나 필터의 주기적 교체를 요하는 단점을 가지고 있다.

열회수형 환기장치에서 발생하는 소음을 측정하기 위하여 무향실 내부에 열회수형 환기장치를 설치하였고, 정격 전압 및 풍량으로 운전하여 장치에 연결된 급기(supply air ; SA), 외기(outdoor air ; OA), 환기(return air ; RA) 및 배기(exhaust air ; EA) 말단에 모두 흡음덕트를 연결한 후, 공기의 유출입을 최대한 배제시켜 열회수형 환기장치 외관 전면 중앙으로부터 1.0 m 떨어진 곳에서 측정하였다. 흡음덕트를 설치하지 않았을 경우와 흡음덕트를 설치하였을 경우에 설치길이를 1, 2 및 4.5 m로 하여 각 조건별 흡음성능을 각각 측정하여 비교하였다.[11]

먼저, 측정조건은 무향실의 암소음과 측정값의 차가 8 dB 이상일 때 측정하는 것을 원칙으로 하고, 그 미만의 경우에는

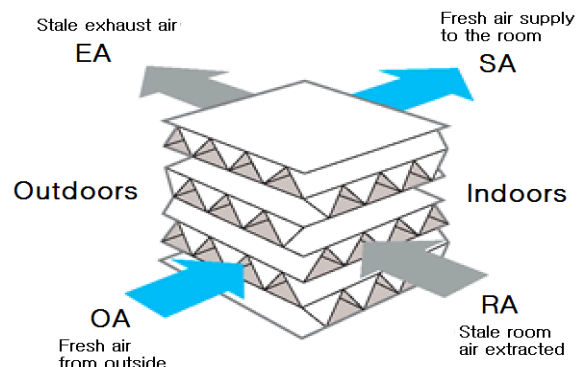


Figure 4: Heat exchange method of heat recovery ventilators for plate type

KS A ISO 1996-1, KS A ISO 1996-2 및 KS A ISO 1996-3의 규정에 의하여 보정을 했다. 벽에서 마이크로폰까지의 거리는 벽으로부터 반사음의 영향을 무시할 수 있는 것으로 했다.

측정방법은 열회수형 환기장치를 공진하지 아니하는 견고한 받침대 위에 설치하였고, 설치한 가상 천장이 측정에 영향을 미치지 않도록 하였다. 천장 재료로서는 차음효과를 얻을 수 있도록 1 cm 두께의 나무판을 사용했고, 천장의 크기는 가로 4 m, 세로 2 m로 했다. 설치한 가상벽이 측정에 영향을 미치지 않도록 하였고, 벽 재료도 차음효과를 얻을 수 있도록 1 cm 두께의 나무판을 사용했다. 가상벽의 크기는 높이 2.5 m, 너비 2 m로 했다.

소음측정기는 KS C 1502에서 규정한 내용 또는 이와 동등 이상의 내용을 사용했다. 풍량조절장치가 있을 시에는 풍량시험에서 측정된 정격 풍량에서 소음을 측정했다.(단, 기외정압을 유지하기 위해 댐퍼를 설치한 경우 댐퍼를 통한 소음전달을 막기 위해 흡음재 등을 이용해 보완 후 측정했다.)

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 소음도 특성

열회수형 환기장치는 신선한 외기를 도입하여 실내공기질을 개선시키는 것인데, 이러한 것은 일정 환기회수 이상의 풍량을 구성요소 중의 팬이 공급한다. 따라서 팬은 설계 풍량을 고려해 소음발생, 팬 발열에 따른 효율 저감 등의 문제점을 검토하여 선정한다.

본 연구에서는 판형 열회수형 환기장치에 양흡입 시로코(sirocco) 팬을 사용하였다. 이 팬은 단위 면적당 풍량이 가장 많으며 저소음 정속운전의 다용도용으로 임펠러 형상이 회전 방향에 대해 앞쪽으로 굽어져 있는 원심형 전향익 이다. 임펠러 출구에서는 주속도보다 더 큰 절대속도로 토출되어지기 때문에, 동일 풍량풍압의 경우 다른 원심형 송풍기에 비하여 임펠러의 직경이 최소가 되어 전체적으로 크기가 최소화되어 설치공간이 작아진다. Table 3에는 소형 및 중형 열회수형 환기장치에 들어가는 팬의 주요특성을 나타내고 있다.

본 열회수형 환기장치의 소음측정은 무향실 내부에 장치를 각각 설치하여 1.0 m 떨어진 거리에서 팬의 방사특성을 고려하여 OA-EA(옥외) 지점과 RA-SA(옥내) 지점의 소음을 측정하였다.[12] Tables 4 및 5에는 소형 및 중형 열회수형 환기장치의 풍량별과 흡음덕트에 따른 소음도 측정결과를 나타내고 있다. 열회수형 환기장치에 대한 소음도 측정 결

Table 3: Specifications of fan for small and medium heat recovery ventilators

Type	Maximum wind volume (CMH)	Maximum static pressure (mmAq)	Revolution (rpm)	Input power (W)
Small	421.2	25	1420	51.2
Medium	1292.4	76.9	1238	211

Table 4: Measured results of noise level for a small heat recovery ventilator (dB(A))

Items		OA-EA (Outdoors)	RA-SA (Indoors)
Installed or not sound-absorbing duct	Wind volume		
Not installed	Strong	66.8	59.3
	Middle	59.2	67.3
	Weak	50.5	44.7
Not installed (and removed the element core)	Strong	70.2	79.4
	Middle	66.6	72.8
	Weak	59.9	63.1
Sound-absorbing duct 4.5 m	Strong	46.7	43.6
	Middle	39.6	38.8
	Weak	36.6	32.2
Sound-absorbing duct 2.0 m	Strong	52.4	47.6
	Middle	43.7	42.2
	Weak	38.4	35.7
Sound-absorbing duct 1.0 m	Strong	55.5	49.1
	Middle	46.5	44.6
	Weak	39.6	38.0

Table 5: Measured results of noise level for a medium heat recovery ventilator (dB(A))

Items		OA-EA (Outdoors)	RA-SA (Indoors)
Installed or not sound-absorbing duct	Wind volume		
Not installed	Strong	66.6	69.8
	Middle	60.0	61.3
	Weak	55.8	55.5
Sound-absorbing duct 4.5 m	Strong	49.9	51.2
	Middle	44.2	45.6
	Weak	41.6	41.5
Sound-absorbing duct 2.0 m	Strong	52.5	52.5
	Middle	46.1	46.6
	Weak	43.4	42.3
Sound-absorbing duct 1.0 m	Strong	56.7	56.6
	Middle	48.8	49.7
	Weak	47.6	46.0

과, 무향실에서의 암소음은 21.9 dB(A)로 측정되었는데, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 열회수형 환기장치 본체가 거주공간 외부에 설치될 경우에는 대표길이 1 m에서 측정하여 50 dB(A) 이하, 거주공간 내부에서 측정하여 40 dB(A) 이하가 되도록 규정하고 있다.[13][14]

본 연구에서 측정된 실험조건의 열회수형 환기장치 소음도는 흡음덕트를 설치하지 않거나 강풍량일 경우에는 대부분 50 dB(A) 이상으로 나타났다. Tables 4 및 5에서 흡음덕트를 설치하지 않았을 경우, 소형 열회수형 환기장치는 44.7 ~ 67.3 dB(A)이고, 중형에서는 55.5 ~ 69.8 dB(A)를 나타내고 있다. 차이가 크지는 않지만, 중형의 경우에 소음도가 약간 높음을 알 수 있다. 소형 열회수형 환기장치에 있어서는 흡음덕트를 설치하지 않고, 엘리먼트 코어를 제거하였

을 경우에 소음도가 가장 높았다. 또한, 풍량이 클수록, OA-EA쪽보다는 RA-SA쪽의 소음도가 더 컸다.[15][16]

흡음덕트를 설치하였을 경우에는 소음도가 감소되는 것을 확인할 수 있는데, 흡음덕트의 길이를 4.5 m로 했을 경우는 미설치시보다 소형에서는 최대 28.5 dB(A) 정도, 중형에서는 최대 18.6 dB(A) 정도로 소음을 감소시키는 것으로 나타났다. 동일 풍량과 동일 측정지점에서는 흡음덕트 길이가 짧을수록, 동일한 조건에서는 소형보다는 중형의 경우에 소음이 더 큼을 알 수 있다.

한편, 흡음덕트를 사용하면 풍량이 증가 약일 때는 대부분 50 dB(A) 이하인 것으로 나타났지만, 공동주택과 같이 24시간 가동되는 공간에서 풍량을 강으로 할 필요가 있을 경우에는 50 dB(A)을 초과하여 소음도를 만족할 수 없으므로, 소음을 보다 낮추는 상태로 운전될 수 있는 새로운 제품개발의 필요성이 있음을 알 수 있다.

3.2 주파수 대역에 대한 음압수준 특성

Figures 5 ~ 8에는 무향실에서 소형 및 중형 열회수형 환기장치의 옥내 및 옥외 측정위치에 대해 풍량, 흡음덕트 미설치 및 흡음덕트 길이를 파라미터로 하여 1/3 옥타브 밴드 주파수에 따라 측정된 음압수준 특성을 나타내고 있다.

흡음덕트를 미설치한 열회수형 환기장치의 주파수에 따른 음압수준 특성을 살펴보면 Figures 5 와 6에서 보여준 소형 열회수형 환기장치의 경우에는 대부분이 Figures 7 와 8에서 보여준 중형 열회수형 환기장치보다 50 ~ 800 Hz의 주파수 대역에서 음압수준이 높게 나타나고 있다. 소형 열회수형 환기장치의 엘리먼트 코어를 제거하였을 경우에도 마찬가지로 저주파수 대역에서 음압수준이 높게 나타나고 있는데, 이것은 소형 열회수형 환기장치 내부에 장착된 팬 소음의 특성 때문으로 사료된다.[17]

흡음덕트 길이에 따른 주파수에 대한 음압수준 특성은 소형 열회수형 환기장치의 경우에는 200 Hz ~ 2 kHz 사이에서 음압수준이 높게 나타났고, 그 범위 이하에서는 주파수가 증가할수록 음압수준도 증가하였고, 그 범위 이상에서는 주파수가 증가할수록 음압수준이 감소하였다. 반면에, 중형 열회수형 환기장치의 경우에는 400 Hz ~ 1 kHz 사이에서 음압수준이 높게 나타났고, 그 범위 이하에서는 주파수가 증가할수록 음압수준도 증가하였고, 그 범위 이상에서는 주파수가 증가할수록 음압수준이 감소하였다.

흡음덕트의 길이에 따른 주파수 대역별 음압수준 저감량은 소형과 중형 열회수형 환기장치에서 흡음덕트의 길이가 클수록 대체적으로 음압수준이 작아졌고, 풍량에 대해서는 팬 회전수의 영향 때문에 풍량이 클수록 대체적으로 음압수준이 커짐을 알 수 있었다. 소형과 중형 열회수형 환기장치의 음압수준 비교는 동일한 조건에서는 대체적으로 중형의 음압수준이 높게 나타났고, 최고 음압수준까지의 증가속도와 최고 음압수준으로부터의 감소속도도 크게 나타고 있음을 알 수 있다.

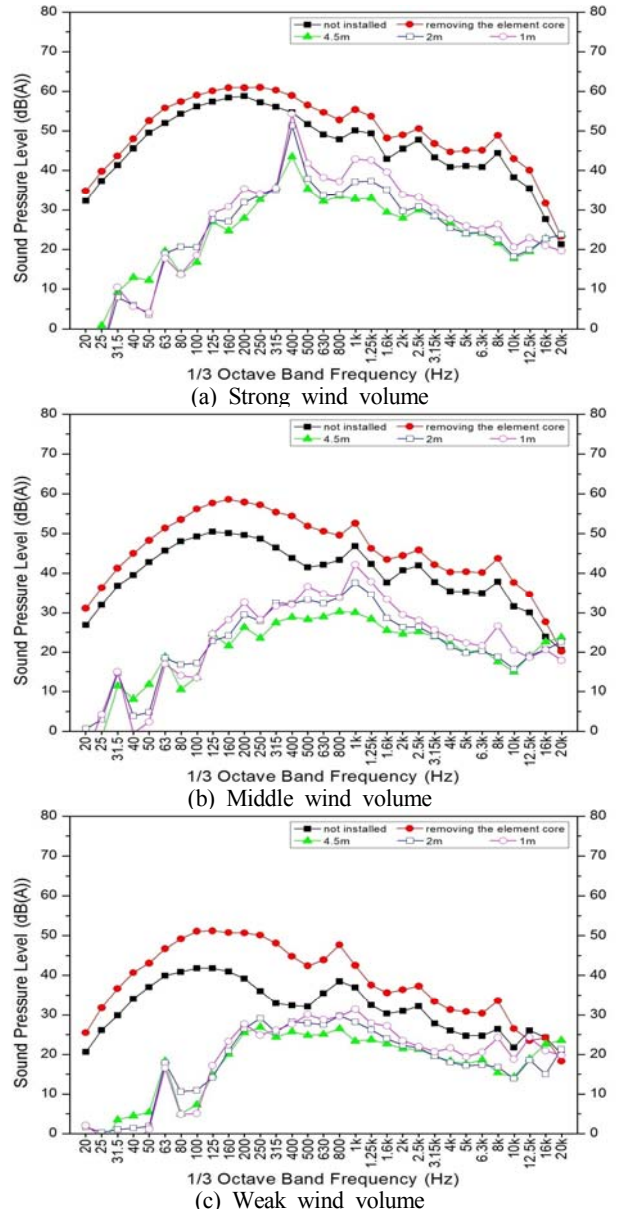


Figure 5: Sound pressure level characteristic relative to frequency bands at the OA-EA(outdoors) side in a small heat recovery ventilator

4. 결 론

본 연구에서는 열회수형 환기장치에서 발생하는 소음을 저감시키는 방안을 강구하기 위해 무향실에 설치한 열회수형 환기장치의 측정위치에 따라 풍량, 흡음덕트 설치여부 및 흡음덕트 길이를 파라미터로 한 소음수준과 주파수에 따른 음압수준 특성을 측정된 다음 고찰하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 무향실에서 열회수형 환기장치에 대한 소음도 측정결과는 흡음덕트를 설치하지 않았을 경우에 소형 및 중형 모두 풍량에 관계없이 거의 대부분 소음기준인 50 dB(A) 보다 높게 나타났다.

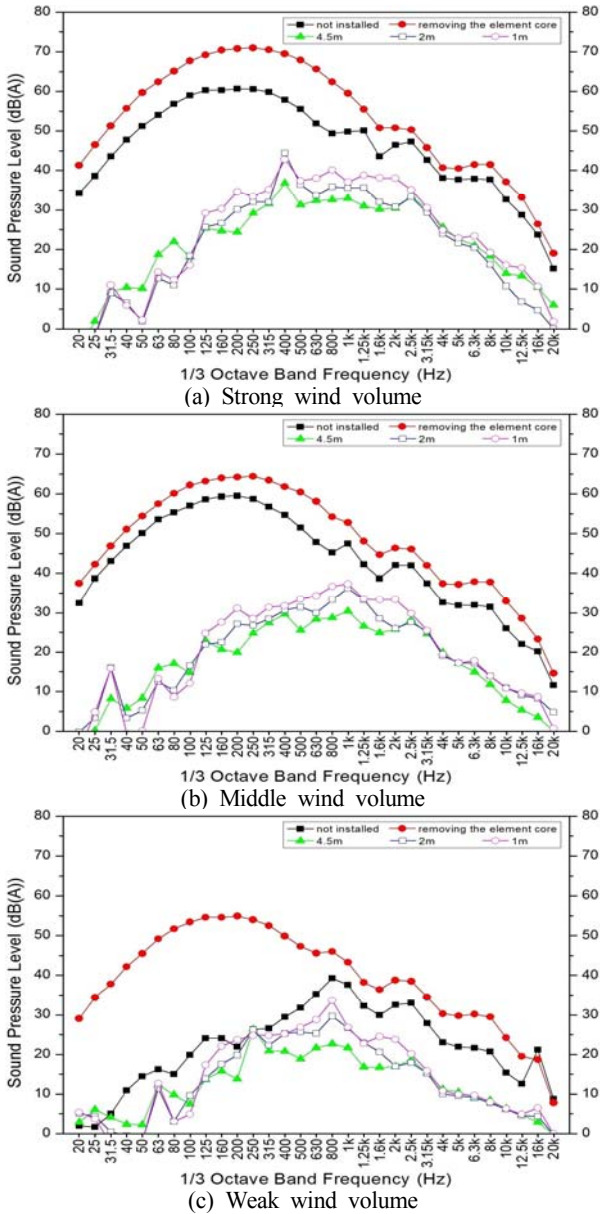


Figure 6: Sound pressure level characteristic relative to frequency bands at the RA-SA(indoors) side in a small heat recovery ventilator

- 2) 흡음덕트를 설치하였을 경우에는 소음이 감소되었고, 동일 풍량과 동일 측정지점에서는 흡음덕트 길이가 짧을수록, 동일한 조건에서는 소형보다는 중형의 경우에 소음이 더 증가하였다.
- 3) 흡음덕트의 길이에 따른 주파수 대역별 음압수준은 소형과 중형 열회수형 환기장치에서 흡음덕트의 길이가 클수록 대체적으로 감소하였다.
- 4) 풍량에 대해서는 팬 회전수의 영향 때문에 풍량이 클수록 대체적으로 음압수준이 증가하였다.
- 5) 소형과 중형 열회수형 환기장치의 동일한 조건에서는 대체적으로 중형의 음압수준이 높게 나타났고, 최고 음

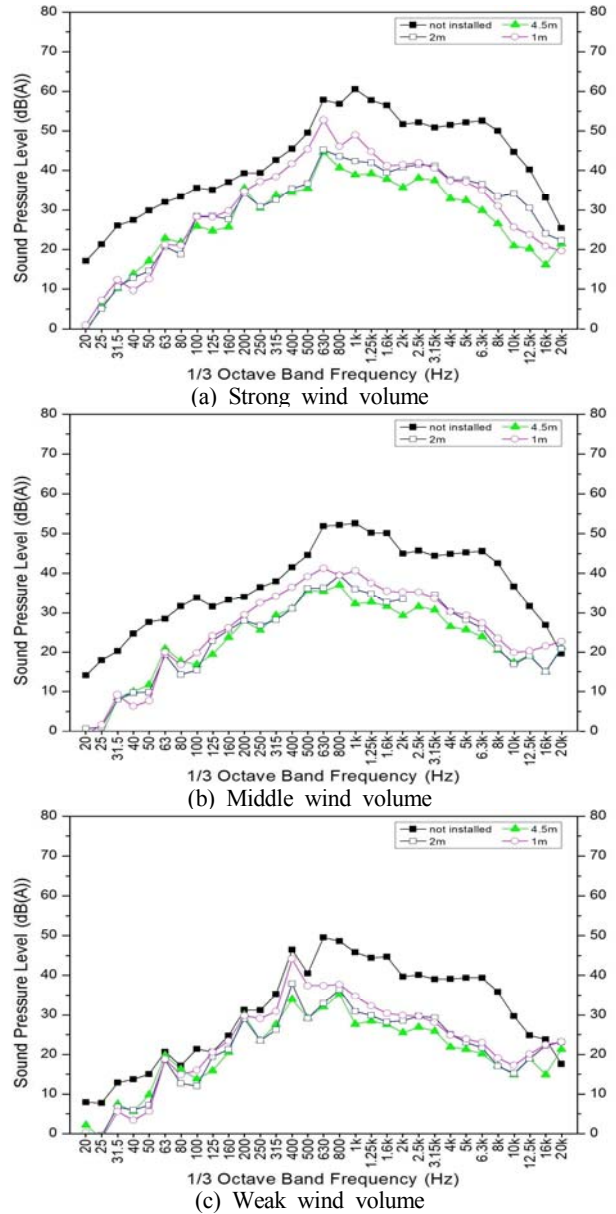


Figure 7: Sound pressure level characteristic relative to frequency bands at the OA-EA(outdoors) side in a medium heat recovery ventilator

압수준까지의 증가속도와 최고 음압수준으로부터의 감소속도도 크게 나타났다.

본 논문에서는 열회수형 환기장치의 측정위치에 따른 풍량, 흡음덕트 설치여부 및 흡음덕트 길이에 따른 소음수준과 주파수에 따른 음압수준 특성을 측정하여 고찰하였지만, 이후에 현장에 설치된 열회수형 환기장치의 음향성능 평가, 저소음 열회수형 환기장치의 제작 및 성능 평가, 저소음 열회수형 환기장치의 적용성 평가 등 다수의 연구를 완료하여 현재 논문을 준비 중에 있다.

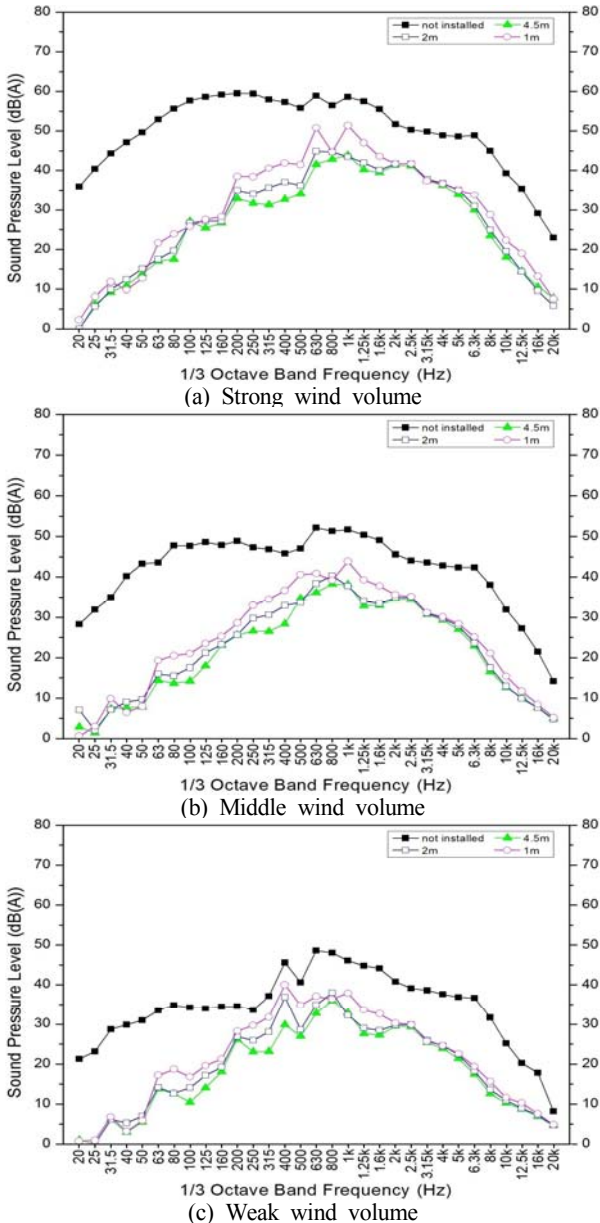


Figure 8: Sound pressure level characteristic relative to frequency bands at the RA-SA(indoors) side in a medium heat recovery ventilator

후 기

본 연구는 2단계 BK21사업 경상대학교 첨단기계항공고급인력양성사업단 및 2015년도 경상대학교 발전기금재단의 지원을 받아 수행되었기에 도움을 준 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

[1] Rules for Equipment Standards for Buildings, Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2013.
 [2] T. Kamimoto and M. W. Bae, "High combustion temperature for the reduction of particulate in diesel engines," SAE Paper 880423, pp. 1-10, 1988.

[3] T. Kamimoto, M. W. Bae, and H. Kobayashi, "A study on soot formation in premixed constant volume propane combustion," *Combustion and Flame*, vol. 75, no. 3-4, pp. 221-228, 1989.
 [4] M. W. Bae, A Study on Soot Formation in Premixed Combustion at High Pressures, Doctoral Dissertation of Tokyo Institute of Technology, Japan, 1989.
 [5] L. M. Anderson, B. E. Mulligan, L. S. Goodman, and H. Z. Regen, "Effect of sounds on preferences for outdoor setting," *Environment and Behavior*, vol. 15, no. 5, pp. 539-566, 1983.
 [6] A. Skanberg and E. Ohrstrom, "Adverse health effects in relation to urban residential soundscape," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 250, no. 1, pp. 151-155, 2002.
 [7] Heat Recovery Ventilator, Korea, SPS-KARSE B 0030-192, 2008.
 [8] S. K. Moon, S. H. Kim, H. A. Mun, H. K. Jung, J. H. Lee, Y. H. Chung, and K. Park, "The Korean hearing in noise test," *International Journal of Audiology*, vol. 47, no. 6, pp. 375-376, 2008.
 [9] B. C. Lee, S. H. Ahn, W. C. Kim, and M. W. Bae, "Characteristics of fluid flow in a circulating fluidized heat exchanger," *Journal of Korean Society of Marine Engineering*, vol. 25, no. 6, pp. 1291-1297, 2001.
 [10] S. G. Son, Y. C. Kim, and D. Y. Lee, "Theoretical analysis of a rotary heat exchanger based on a simplified model," *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, vol. 27, no. 8, pp. 409-417, 2015.
 [11] B. G. Lee, Evaluating Performance of Heat Recovery Ventilators for Residential Buildings, M.S. Thesis, Hanyang University, Korea, 2012.
 [12] Ministry of Environment, "Research on development and application of hybrid heat recovery ventilation system," Dong-A University Research Foundation for Industry Academy Cooperation, 2008.
 [13] S. S. Kim, "Noise reduction evaluation of airborne noise reduced ventilation system used for ventilation of apartments," *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, vol. 6, no. 3, pp. 190-199, 2009.
 [14] J. Y. Song, H. Shin, Y. S. Back, and M. W. Bae, "Evaluation of acoustic performance for ventilation system in heat recovery devices," *Proceedings of the 38th KOSME Spring Conference*, p. 254, 2014.
 [15] C. Y. Jung, "Technology development trends of centrifugal blowers for HVAC," *Journal of the Korean Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers*, vol. 33, no. 3, pp. 42-49, 2016.

- [16] C. Y. Jung, "Introduction of silent ventilation duct system," Journal of the Korean Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, vol. 33, no. 3, pp. 83-89, 2016.
- [17] Y. S. Hong, "A study on the performance of heat recovery ventilators for houses," Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, vol. 29, no. 1, pp. 23-24, 2009.