

창호일체형 환기장치의 소음분석 및 저감방안

Noise Analysis and Reduction Methods of the All-in One Window Ventilation System

박찬재[†], 한찬훈

(Park Chan-Jae[†] and Haan Chan-Hoon)

충북대학교 건축공학과

(접수일자: 2012년 8월 16일; 수정일자: 2012년 10월 16일; 채택일자: 2012년 12월 11일)

초 록: 최근 창호의 창틀에 폐열회수장치를 삽입한 일체형 환기장치인 일명 “창호일체형 폐열회수 환기장치”를 개발됨으로써 창문을 열지 않고도 에너지 손실을 최소화하면서 실내의 공기를 교환할 수 있게 되었다. 그러나 이 장치의 작동시 기계소음과 공력소음이 발생하여 실제 주거시설에 적합하지 않은 면이 있다. 따라서 본 연구에서는 창호일체형 환기장치의 소음을 설치상태와 무향실에서 측정하고 소음의 발생 원인과 소음전달 취약부분을 분석하였다. 또한, 창호일체형 환기장치내의 차음재와 흡음재를 설치하여 소음을 제어하기 위한 대안을 제시하였다. 연구결과, 환기장치의 소음원은 블로워로 나타났으며 소음의 주된 누출 원인은 환기장치 구조체의 낮은 차음성능 때문이었음을 알 수 있었다. 또한 이를 제어하기 위하여 장치 내부에 고무시트 등의 차음재를 설치한 결과 폐열회수환기장치의 소음기준인 40 dBA 이하를 만족함을 알 수 있었다.

핵심용어: 창호일체형 환기장치, 기계소음, 공력소음, 진동, 소음제어, 방음, 차음재

ABSTRACT: The window ventilation system based on the heat recovery device was developed which make air ventilation possible without opening the windows. However, mechanical and aerodynamic noises were come to pass which annoyed people in rooms. In the present study, noise of new window ventilation system was measured in both general room and anechoic chamber. Also, the noise path was detected to find cause of noise generation and vulnerable area of the device. Sound absorptive and insulation materials were applied to mitigate the noise. Finally, an alternative noise control method was suggested which can satisfy with the indoor noise standards. As a result, it was shown that the cause of noise was the low transmission loss in the ventilation system. As a result, it was shown that the main noise source of the ventilation system was the blower and the major cause of noise was the low transmission loss of the ventilation system. It is also concluded that the noise levels complies with the noise standards of 40 dBA when 2 mm rubber sheet is applied inside the ventilation system.

Key words: All-in one window-ventilation system, Machinery noise, Aerodynamic noise, Vibration, Noise reduction, Noise insulation, Noise insulation material

PACS number: 43.50. Gf

I. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

고층복합빌딩과 공동주택의 건축기술은 미래의

건설시장에서 필수적으로 요구되는 기술이며, 초고층건축물에 대한 사회적 수요는 끊임없이 발생되고 있다. 특히 초고층건축물의 형태가 사무공간이 대부분이었던 기존과 달리, 근자에 들어서 주거 및 복합공간에서도 초고층건축물이 요구되고 있다. 이처럼 사무공간 및 주거공간 등의 복합시설이 초고층화됨에 따라 실내 환경의 질적 수준에 대한 수요와 요구도 급격히 증가하고 있다.

그러나 층고가 높아져 건축물의 수직높이가 증가

“이 논문은 2012년 한국음향학회 춘계학술대회에 투고했던 논문입니다.”

[†]Corresponding author: Park Chan-Jae (cjpark@chungbuk.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-260-2438)

할수록 연돌효과(stack effect) 등의 다양한 물리적 현상이 발생함으로써 건축물의 층별 실내외부의 온도 및 기압차에 의해 수직통로 및 창호, 문, 구조체 틈새를 통해 기류가 발생하여 열에너지 누출 및 소음 등의 에너지 부하를 가중시키고 실내환경적 질을 저해시키는 원인이 된다. 이를 해결하기 위해서는 실내 각 개구부를 기밀하게 시공해야 하는데, 이러한 이유로 초고층 건축물에서는 자연환기가 불가능한 실정이며 일반적인 공조설비로는 실내외 기온차에 의한 에너지의 손실이 커 사용자로 하여금 경제적 부담을 가중시키게 된다. 이를 위해서는 열회수능이 포함된 공조장치를 설치함으로써 해결할 수 있지만, 건축계획단계에서부터 고려되지 않을 경우 시공비가 크게 증가하는 반면 그 효율은 상대적으로 낮은 문제점을 안고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 공조설비 및 창호 관련 업체들을 중심으로 창틀에 폐열회수 환기장치를 삽입한, 이른바 창호일체형 환기장치가 개발되고 있는 추세이다. 현재까지 개발된 창호일체형 환기장치는 창호의 창틀에 삽입된 일체형 환기장치로써 창문을 열지 않고도 실내외 공기를 교환할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 제품들은 내부에 폐열회수장치 및 공기정화 필터가 내장되어 있어서 환기시 열손실 및 외기로부터의 오염물질을 차단할 수 있으므로 초고층 주상복합 아파트와 같이 환기가 어려운 건축물에서 적극적으로 활용될 것으로 기대된다.

그러나 이러한 제품들은 작은 체적의 장치 내부에서 기계가 작동하고 기류가 발생하여 소음이 배출되는 단점을 가지고 있다. 특히 이러한 환기장치는 대부분 주거자의 가장 인접한 공간인 거실 및 침실에 적용될 것이므로 음환경적 공해요소로 작용할 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 개발한 다양한 창호일체형 환기장치 중 하나를 선정하여 소음의 발생 원인과 소음 전달 취약부분을 파악하고 이를 제어하기 위한 방안을 모색하고자 한다.^[1,2]

1.2 일반 환기 및 가전제품의 소음특성

강대준 외 3인(2009)은 일반적인 주거환경에서 가장 많이 사용되는 6종의 가전제품을 대상으로 음향

파워레벨(PWL)을 측정한다. 이들은 일반적인 가정에서 가장 많이 사용되는 제품임과 동시에, 연속 사용시간, 순간 소음 방사량 등이 가장 많은 가전제품 중 냉장고(12종), 레인지후드(6종), 진공청소기(16종), 에어컨디셔너(6종), 선풍기(13종) 등을 선정으로 반무향실 및 잔향실에서 음압레벨을 측정하여 음향파워레벨을 산출하였으며, 그 결과는 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

측정결과, 대상 가전제품 중 소음이 가장 크게 발생하는 제품은 진공청소기로 음향파워레벨은 약 80.5 dBA로 나타났다. 그 외에도 레인지후드(64.9 dBA), 선풍기(61.9 dBA), 에어컨(입식형 53.3 dBA, 벽걸이형 54 dBA), 냉장고(44 dBA)의 순으로 나타났다.^[3]

가전제품의 소음특성을 살펴보면 냉장고의 경우 고주파수 대역에 비해 저주파수대역의 소음이 더 큰 반면에, 기타 제품들은 고주파수대역에서의 소음도가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 냉장고를 제외한 가전제품은 몸체의 내외부에서 기류가 발생하는 제품으로써 그 중에서도 에어컨 및 선풍기의 소음특성은 본 연구의 대상인 창호일체형 환기장치의 소음특성과 유사할 것으로 유추된다.

이 밖에도 정진연 외 3인은 폐열회수형 환기장치의 음향성능을 측정·평가한 바 있다. 무향실에 총 3종의 폐열회수형 환기장치를 설치한 뒤 풍량이 150 CMH, 200 CMH, 300 CMH일 때 소음레벨(SPL)을 측정하고 결과 SPL 평균이 각각 39.0 dBA, 37.6 dBA, 40.2 dBA로 나타났다. 폐열회수형 환기장치의 소음레벨 기준이

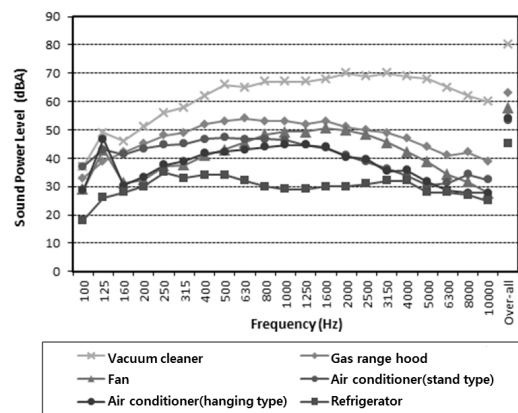


Fig. 1. Sound power level (PWL) of electric home appliances.

40.0 dBA임을 감안할 때 풍량이 가장 강한 300 CMH 인 경우 기준치를 초과하고 있음을 알 수 있다.^[4]

1.3 창호일체형 환기장치의 적정 소음도

창호일체형 환기장치는 사무공간이나 주거공간에 설치되어 강제환기를 유도하는 장치이므로, 정온한 음환경을 유지할 수 있도록 장치로부터 발생하는 소음이 적정한 수준을 유지해야만 한다. 특히 환기 장치의 특성상 주로 거실 및 침실에 설치되어 사용자가 활동중인 낮시간 이외에도 수면중인 야간에도 사용하도록 계획되었으며, 연속 사용시간 또한 매우 긴 제품임을 감안할 때 일반적인 가전제품보다 낮은 소음레벨이 요구된다.

한편 실내허용소음기준은 제반 실의 사용목적에 따라 허용되는 소음레벨(NC 또는 dBA)의 상한치를 규정하고 있는데, 창호일체형 환기장치의 경우 거실 및 침실에서 사용하게 되는 가전제품으로써 NC-25에서 NC-40의 소음수준을 만족시켜야 한다. 이를 소음레벨(SPL)로 환산하면 약 34 dBA에서 47 dBA이므로, 이에대한 평균값을 기준으로 할 때 창호일체형 환기장치의 최대 배출소음은 약 40.5 dBA 이하가 되

어야 할 것으로 판단된다. 다음의 Table 1은 실용도별 허용소음레벨 기준을 정리한 것이다.^[5]

국내에서는 KS B 6879(공기식 열회수형 환기장치)를 통해 열회수 환기장치의 정격 전압 및 풍량 등의 성능을 규정하고, 풍량 및 열교환효율, 소음 등의 측정 방법과 기준에 대해 규정하고 있는데, 해당 기준에 따르면 공기순환식 열회수 환기장치의 경우 설치형태와 상관없이 배출소음(SPL)의 크기는 40 dBA 이하를 만족시킬 것으로 정의하고 있다.

따라서 창호일체형 환기장치의 발생소음(SPL)은 40 dBA 이하를 만족시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

1.4 창호일체형 환기장치의 소음 특성

일반적으로 창호일체형 환기장치는 크게 기류를 발생시키는 블로워 및 폐열회수장치가 설치된 기구부와 배출된 기류를 공급하는 전장부, 공급된 기류를 실내로 유입시키는 실내 급기구로 나뉘어지며 소음 발생 또한 이 세부분에 걸쳐 발생될 것으로 예측된다. 다음 Fig. 2는 창호일체형 환기장치의 일반적인 구성과 소음발생이 예측되는 부위를 나타내고 있다.

현재 개발되어진 창호일체형 환기장치에서 발생할 수 있는 소음의 종류는 다음과 같다.

- 1) 기구부 내 블로워(blower)의 기계 소음
- 2) 블로워의 모터 진동 전달에 따른 기구부의 구조 방사 소음
- 3) 블로워에서 발생한 기류가 유로의 내벽과 마찰하여 발생하는 공력소음
- 4) 가늘고 긴 형태의 실내 급기구에 바람이 통과할 때 발생하는 마찰소음

Table 1. Noise Criteria (NC) for rooms.

Type of Space	Noise Criteria (NC)	Equivalent Level (dBA)
Recording Studio	15~25	25~34
Radio Studio, TV Studio	20~30	30~38
Concert Hall, Opera House, Recital Hall	15~25	25~34
Large Auditorium, Theaters	< 25	< 34
Small Auditorium, Cinema	< 35	< 44
Bedroom, Hospitals, Residences, Apartments, Hotels, Motels	25~40	34~47
Churches, Large Conference Room	< 30	< 38
Classroom, Seminar Room, Libraries, Laboratory	30~40	38~47
Private Office, Small Conference Room	30~40	38~47
Large Office, Reception Areas, Restaurant	35~45	42~52
Lobbies, Corridor, Workspace, Secretary's Office	40~50	47~56
Maintenance Shop, Computer Equipment Room	45~55	52~61
Retail Shops, Gymnasiums, Airport, Railroad Station	50~60	56~66
Factory	60~75	66~80

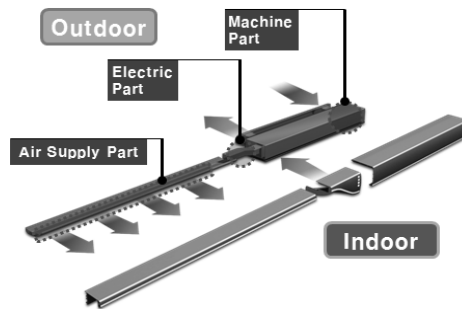


Fig. 2. Noise predicted position of all-in one window-ventilation system.

본 연구에서는 창호일체형 환기장치의 주된 소음 원인 기구부의 소음발생특성을 파악하고 소음저감 대책을 수립한 뒤 창호일체형 환기장치의 소음도가 기준을 만족하는지 파악하고자 한다.

II. 연구의 내용 및 방법

2.1 연구의 내용

현재 출시되어 사용중인 창호일체형 환기장치 기구부의 소음특성을 파악하기 위하여 1개 제품을 선택한 뒤 음압레벨 및 음향파워레벨 등을 측정하여 분석하였다. 또한 이러한 제품들의 소음을 저감하기 위한 방안을 제시하기 위하여 내부 충전재의 종류를 변경한 뒤 소음을 측정하여 재료별 소음저감 성능에 대해 조사하였다.

(1) 환기장치의 소음 특성 조사

먼저 창호일체형 환기장치의 소음 발생 특성을 조사하기 위하여 내부에 장착된 기구부를 대상으로 다음의 실험을 수행하였다.

- 블로워의 출력소음(PWL) 측정
- 기구부 내부에 부착된 흡음재의 흡음률 측정 또한 기구부 내 주요 소음 배출 위치와 원인을 파악하기 위하여 다음의 실험을 진행하였다.
- 방향별 출력소음(PWL) 측정
- 예상 소음누출부위 발생소음(SPL) 측정
- 부위별 발생소음(SPL) 측정

(2) 마감재 변경에 따른 소음 변이 조사

창호일체형 환기장치의 소음제어 방안을 설정하기 위하여 기구부 내부에 충전된 마감재를 변경한

뒤 발생소음을 측정하였으며, 실험 내역은 다음과 같다.

- 흡음재 보강 후 출력소음(PWL) 측정
- 차음재 보강 후 출력소음(PWL) 측정
- 흡음 겸 차음재 보강 후 출력소음(PWL) 측정

(3) 창호일체형 환기장치의 소음도 측정

기구부의 소음저감방안 적용 후 환기장치의 소음도가 KS 기준 및 실내 허용소음레벨(NC)에서 정의한 기준을 만족하는지 파악하기 위하여 견본용 창틀에 삽입한 뒤 배출소음도를 측정하였다.

2.2 연구의 방법

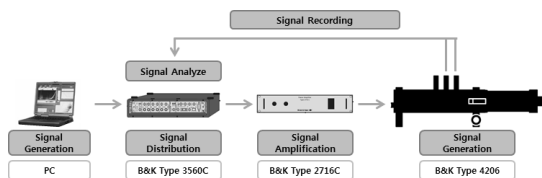
정확한 실험 결과를 위해 흡음률 측정을 제외한 모든 실험은 무향실에서 진행하였다.

(1) 흡음률 측정

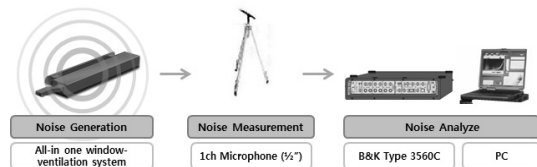
일반적으로 창호일체형 환기장치의 기구부 내부에는 소음 흡수를 위한 소음기와 유로 내부에 충전재가 부착되어 있는데 이에 따른 소음특성을 검토하기 위하여 재료별 흡음률을 측정하였다. 흡음률 측정에 사용된 실험방법은 KS F 2814-1의 임피던스관에 의한 흡음 계수와 임피던스의 결정 방법을 따르고 있으며 장치구성도는 Fig. 3에 나타난 바와 같다.^[6]

(2) 음압레벨(SPL) 측정

창호일체형 환기장치 기구부의 발생소음 크기를 알아보기 위하여 기구부의 표면으로부터 발생하는 소음의 크기를 일정 거리에서 음압레벨(SPL)로 측정하였다. 본 연구에서는 환기장치에서 발생하는 소



(a) Measurement of sound absorption coefficient (Impedance tube)



(b) Measurement of SPL and PWL

Fig. 3. Set-up of acoustic measurement devices in anechoic chamber.

음, 누출부위의 소음, 표면의 부위별 소음을 음압레벨로 측정하였으며, 63 Hz~10 kHz의 주파수대역을 1/3 옥타브밴드로 분석하였다. 환기장치의 대한 소음을 음압레벨로 조사하는데 있어서 측정기기의 선택 및 실험장소 등은 사전에 현장사정을 감안하여 조사·선택되었으며, 모든 실측은 KS A 3745에 따라 시행하였다. 음압레벨 측정을 위한 장치구성도는 Fig 3에 나타난 바와 같다.^[7]

(3) 음향파워레벨(PWL) 측정

음향파워레벨(sound power Level, PWL)이란, 소리의 크기를 나타내는 소음레벨의 한 종류이다. 음원에서 발생하는 소음의 출력을 W(watt, 와트)라고 할 때, 음향파워레벨은 1초간에 음원으로 부터 방출되는 소리의 에너지를 뜻하며, SPL을 통해 PWL을 유도할 수 있으며, 소음원이 점음원의 특성을 가질 때 측정 음장의 형태에 따라 다음과 같이 계산할 수 있다.

- ① 자유음장일 때 : $PWL = SPL + 20\log(r) + 11$
 - ② 반자유음장일 때 : $PWL = SPL + 20\log(r) + 8$
- 여기서, r: 음원으로부터의 거리(m)

본 연구에서는 위 공식을 통해 SPL 측정결과를 바탕으로 환기장치의 음향파워레벨을 산출하였다. 모든 실험은 KS A 3745를 준수하였으나 수음점의 위치 및 개수의 설정에 있어서 소음원을 기준으로 주변 환경을 구 또는 반구형으로 구분한 뒤 자오선 또는 사선 내에서 약 20개 이상의 측정점을 선택해 측정

한 뒤 평균화 하도록 되어있는 기준과는 달리 본 연구에서는 14개 측정점을 선정한 뒤 실험을 수행하였다. 음향파워레벨의 측정방법 및 사용기자재, 장치의 구성은 음압레벨과 같다.

(4) 열회수형 환기장치의 소음 측정법

창호일체형 환기장치의 기구부를 포함한 창틀부의 소음측정은 KSB 6879 열회수형 환기장치를 따르고 있다. 측정의 방법은 환기장치의 설치 형태에 따라 총 5가지로 구분할 수 있으며, 장치의 설치형태별 소음 측정위치는 다음의 Fig 4에 도식화한 것과 같다. 본 연구에서는 창틀에 환기장치가 삽입되어있는 경우를 감안했을 때 벽걸이형과 가장 유사한 것으로 설정하고 실험을 진행하였다.^[8]

III. 소음 측정 및 분석

3.1 내부 충전재의 흡음률

환기장치의 내부 벽체 및 유로에 부착된 재료가 소음을 저감할 수 있을 정도의 흡음력을 보유하고 있는지 검증하기 위하여 각 재료의 흡음률을 측정하였다.

대상 환기장치의 내부에는 총 2종의 충전재가 설치되어 있다. 충전재의 종류로는 유로의 벽체에 부착된 PE 폼과 소음기 내부에 충전된 폴리에스터로 구분할 수 있으며, 각 재료의 주파수대역별 흡음률 측정결과는 Fig 5에 도식화한 바와 같다. 측정결과 재료의 평균흡음률(NRC)은 각각 0.11과 0.23로 매우 낮은 것으로 나타났으며, 2 kHz 이하의 흡음률이 절

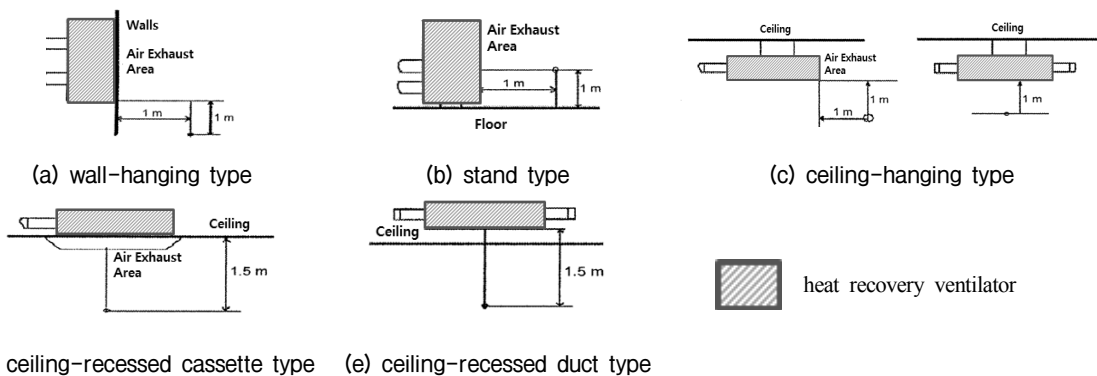


Fig. 4. Measurement position of heat recovery ventilator according to installation (KS B 6879).

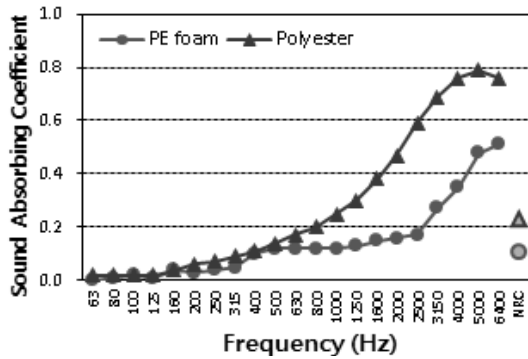
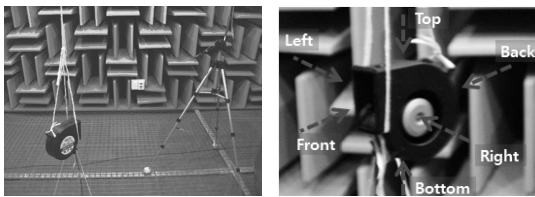


Fig. 5. Sound absorption coefficient of insulation.



(a) PWL measurement of blower (b) measurement positions

Fig. 6. PWL measurement of blower and measurement positions.

대적으로 작게 나타나 중·저주파수 대역의 소음을 제어하기 힘들 것으로 판단된다.

3.2 블로워의 출력소음(PWL)

블로워(blower)는 환기장치 내부에서 부착되어 날개의 회전운동에 의해 기체의 압력을 발생시킴으로써 오염된 실내 공기를 외부로 배출하고, 외기를 실내로 유입하는 역할을 한다. 그러나 이 과정에서 날개의 회전의 의한 공력소음과 함께 모터의 전동 소음이 발생하게 되며, 환기장치 내부에 존재하는 유일한 소음원으로 작용한다. 출력소음 산출시 블로워의 표면으로부터 1m 거리에서 측정된 음압레벨(SPL)을 거리에 따른 소음 감쇠량을 계산하여 음향파워레벨(PWL)을 계산함으로써 블로워 표면의 출력소음을 산출하였다. 다음의 Fig 6은 블로워의 출력소음 측정모습과 측정점을 보여주고 있으며, Fig 7은 블로워의 각 방향에서 측정된 출력소음을 주파수대역별로 나타낸 것이다.

측정결과, 블로워의 평균 출력소음은 약 59.5 dBA

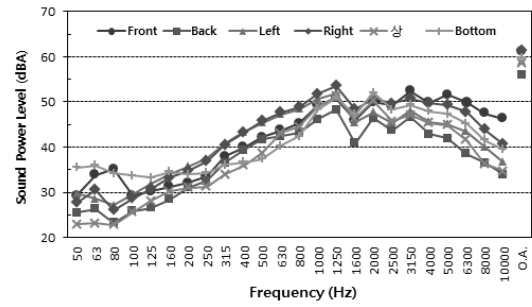


Fig. 7. PWL of blower at each point.

로 매우 크게 나타났다. 방향별 측정결과를 비교해 보면 우측의 출력소음이 약 61.5 dBA, 전면이 약 61.2 dBA로 가장 크게 나타났다. 블로워의 우측은 모터가 외기에 노출된 곳으로써 블로워 내부 날개를 회전시킴으로써 외부의 공기를 빨아들이는 곳이며, 전면부는 블로워에서 발생된 바람이 배출되는 구간이다. 이처럼 공기의 유입 및 배출이 되는 곳에서의 소음이 상대적으로 평균 3.1 dBA 가량 높게 배출 되는 것으로 확인되었다.

주파수대역별 분석결과 대부분의 측정점에서 저주파수대역(50 Hz~250 Hz)의 소음보다 315 Hz~10 kHz의 중·고주파수 대역의 소음이 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 1250 Hz에서 소음이 가장 큰 경향을 나타내고 있다. 이는 블로워의 날개와 흡·배출되는 공기의 공력소음인 것으로 유추된다.

3.3 기구부의 방향별 출력소음(PWL)

창호일체형 환기장치의 기구부는 블로워 및 유로, 열회수장치, 필터를 포함해 전장부로 연결되는 통로와 소음기가 설치되어있는 장치이다. 따라서 주 소음원인 블로워에서 발생하는 소음 외에도 각장치를 통과하며 소음이 증폭되거나 감쇠되기도 한다. 각 방향별 주요 소음발생위치를 파악하기 위해 출력소음을 측정하였다.

실험은 무향실에서 진행되었으며, 환기장치를 방향별로 상·하·전·후·좌·우로 구분한 뒤 각 표면을 3등분 하여 0.5m 앞에서 음압레벨을 측정된 뒤 출력소음(PWL)을 산출하였다. Fig 8은 환기장치의 각 방향별로 설정된 측정점의 위치를 나타낸 것이며, 각 측정점의 출력소음은 Fig 9에 주파수별로 도식화하였다.



Fig. 8. Measurement positions of machine part.

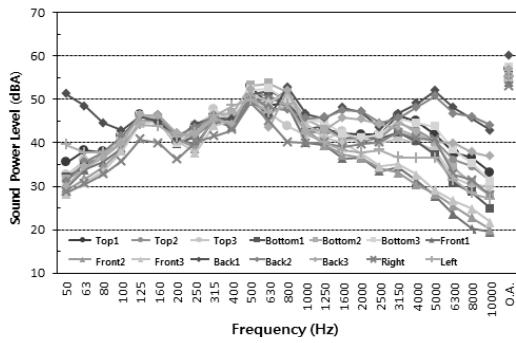


Fig. 9. PWL of machine part at each point.

측정결과 전체 평균 출력소음은 약 55.7 dBA로 나타났다. 이를 블로워의 평균 출력소음인 59.5 dBA와 비교하면 약 3.8 dBA 정도 감소된 것으로써, 이는 환기장치 벽체를 두께가 얇고 밀도가 낮은 경질의 플라스틱 재료를 사용함에 따라서 차음성능이 부족해 소음원인 블로워에서 발생된 소음이 대부분 투과되어 발생하는 것이다. 그 중에서도 후면의 출력소음이 평균 57.4 dBA로 가장 컸으며, 하부가 56.3 dBA로 두 번째로 크게 나타났다.

또한 각 방향의 측정점별 출력소음 결과를 비교해 본 결과, 블로워가 위치한 부위의 출력소음이 다른 부위에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 상부면에서는 최대 2.4 dBA가 높게 측정되었다. 이는 블로워의 소음이 기구부의 구조체를 투과하여 전달되는 소음으로써 추측되며, 제품의 벽체의 재질이 경질의 플라스틱으로 이루어져 소음을 차단하는 차음성능이 부족하기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 실내 소음도 형성에 가장 큰 영향을 미치는 전면부의 경우 실외 급배기용 블로워가 위치한 3번 측정점의 소음이 약 55.2 dBA로 가장 크게 나타났다. 이는 기구부의 재료가 경질의 플라스틱 재료로 이루어져 있어

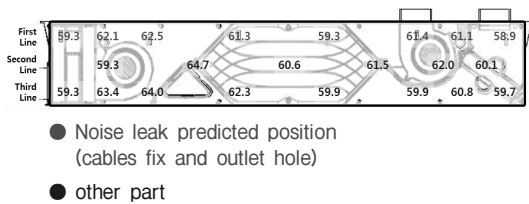


Fig. 10. Comparison of SPL at each point

서 전반적인 차음성능이 낮아 내부의 소음이 그대로 외부로 배출되는 것을 의미한다. 따라서 기구부 구조체의 차음성능을 높여야 전체적인 소음이 저감될 것으로 판단된다.

3.4 기구부 예상 소음누출부위의 소음특성(SPL)

일반적으로 창호일체형 환기장치는 쉽고 빠른 시공을 위하여 기구부의 표면에 전선을 배출구 등의 틈새가 존재한다. 이러한 틈새는 내부에서 발생한 소음이 누출되어 외부로 전달되는 통로로 작용할 수 있으며, 이를 측로소음(flanking noise)이라고 한다. 측로소음이 발생할 경우 제품 벽체의 차음성능이 증가하여도 내부의 소음이 누출됨에 따라 전체적인 소음도가 저감되지 않을 수 있다. 따라서 기구부 표면의 전선배출구와 같이 예상 소음누출부위의 소음과 다른 부분의 소음도를 측정하여 비교한 뒤 소음의 누출이 발생하고 있는지에 대해 검토하고자 한다.

측정시 기구부 내부에서 발생된 소음이 유출될 것으로 보이는 부위(구멍, 틈새)의 선정된 뒤 소음을 측정(SPL)하였다. 다음의 Fig. 10은 장치 상부면의 소음 누출부위 및 기타 부위에서 측정된 발생소음의 평균을 나타낸 것이며, Fig. 11은 소음누출이 예상되는 부위와 그렇지 않은 부위의 행으로 구분한 뒤 측정

결과의 평균을 주파수대역별로 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 바와 같이 예상소음누출 부위와 기타 부위의 소음도는 최대 0.7 dBA로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 기구부 구조체의 차음성능이 낮아서 구멍을 통해 소음이 전달되는 소음의 양과 구조체를 투과한 소음의 양이 유사한 것으로 예측된다.

주파수 특성을 분석한 결과 중간주파수 대역인 500 Hz~800 Hz의 소음이 저주파수 대역 및 고주파수 대역이 비해 상대적으로 매우 높게 나타났다.

3.5 기구부의 발생소음 분포도 작성(SPL)

창호일체형 환기장치 기구부의 표면에서 발생하는 소음의 분포를 확인하고 취약지점을 파악하기 위

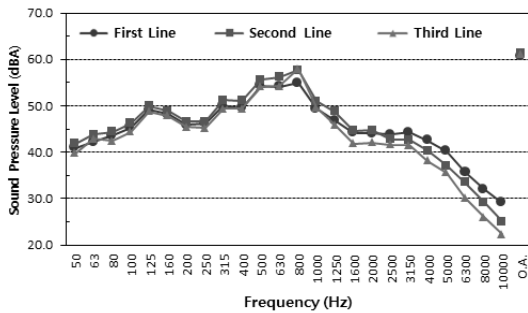


Fig. 11. Comparison of SPL at each measurement line.

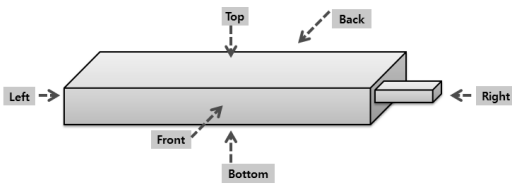


Fig. 12. Measurement position.

하여, 기구부의 표면을 세분화한 뒤 발생소음을 측정하여 분포도를 작성하였다. 이를 위해 기구부의 표면을 모두 5 cm 간격으로 약 51~68개로 분할하고 각 지점마다 마이크로폰을 표면에서 5 cm 앞에 설정한 뒤 소음레벨(SPL)을 측정함으로써 표면에서 발생하는 소음의 분포를 알아보고자 하였다. 다음의 Fig. 12는 측정부위의 명칭을 방향별로 정리한 것이며, Fig. 13은 환기장치 기구부 표면의 발생소음을 분포도로 작성한 것이다.

각 면의 소음 분포도를 분석한 결과 블로워가 위치한 부분의 소음이 주변 지역에 비해 소음도가 높은 것으로 나타났다. 특히 상부면의 경우 블로워가 위치한 부위의 소음이 최고 67.0 dBA로 크게 나타났다. 상부면은 틈새나 구멍이 없는 면임을 감안할 때 환기장치 본체의 차음성능이 매우 낮아 내부에서 발생된 소음이 투과된 것으로 판단된다. 하부면의 경우 배기구 측의 소음이 최대 69.1 dBA로 매우 크게 나타났으며, 실내 급기구 측 블로워 위치의 표면 소음이 최대 66.1 dBA로 크게 나타났다. 실내에 노출되어 있는 전면부의 경우 배기구 측의 소음이 63.0~65.1 dBA 내에 분포되어 있는 등 가장 크게 나타났으며, 실내 급기용 블로워 측의 소음이 두번째로 크게 나타났(61.1~64.0 dBA). 후면부의 경우 실외 배기 및 흡기구의 소음이 가장 크며, 실내 급기용 블로워가 위치한 표면이 소음이 높게 나타났다.

이처럼 급기 및 배기구를 제외한 위치에서 블로워가 설치된 지역의 소음도가 주변지역보다 최대 10 dBA 이상 높게 나타났다. 이는 환기장치 기구부 구조체의 차음성능이 너무 낮아서 블로워의 소음이 충분히 차단되지 않고 있음을 보여주고 있다.

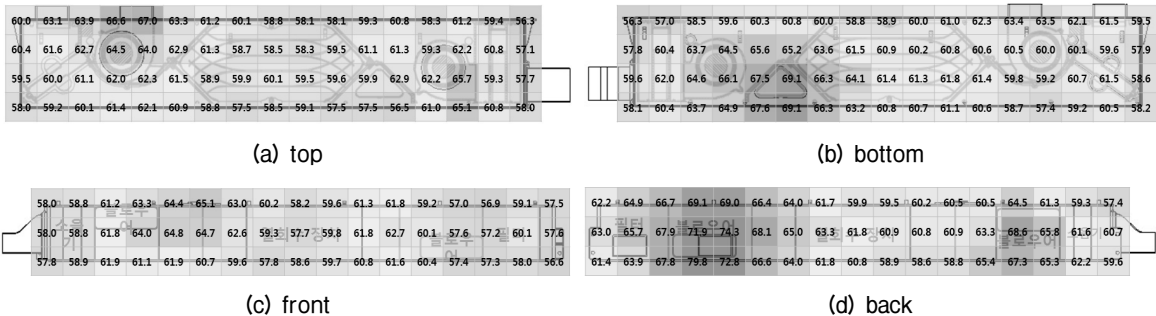


Fig. 13. Noise mapping of all-in one window-ventilation system.

3.6 소결

창호일체형 환기장치의 내부 흡음률 측정하고 소음 발생 위치를 추적하기 위하여 일련의 실험을 진행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 블로워의 출력소음(PWL) 평균은 약 59.5 dBA로 매우 크게 나타났다.
- 2) 창호일체형 환기장치의 출력소음(PWL) 평균은 약 55.7 dBA로써 소음원인 블로워의 출력소음과의 편차가 약 3.8 dBA로 매우 작다. 이는 창호일체형 환기장치의 구조체가 경질의 플라스틱이며 두께가 얇아 차음성능이 부족하여 내부에서 발생된 소음을 적절히 차단하지 못하는 것으로 유추된다.
- 3) 내부에 부착된 흡음재인 PE 폼과 소음기 충전재인 폴리에스터의 평균흡음률(NRC)은 각각 0.11, 0.23으로 매우 낮게 나타나 내부에서 발생된 소음을 저감하기에 적합하지 않은 것으로 나타났다.
- 4) 소음 누출 부위로 예상되는 전선 배출구 등의 틈새의 발생소음(SPL) 측정결과와 완전히 막혀있는 기타 부위의 소음 측정결과를 비교한 결과 최대 0.7 dB로 큰 편차가 없었다. 따라서 현재의 소음은 틈새로 전달되는 측로소음이 아닌 구조체를 투과하여 발생하는 투과소음을 알 수 있다.

- 5) 따라서 창호일체형 환기장치의 내부에 흡음률이 높은 흡음재를 설치하거나 구조체의 재료 및 두께를 변경하여 차음성능을 높임으로써 외부로 배출되는 소음을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

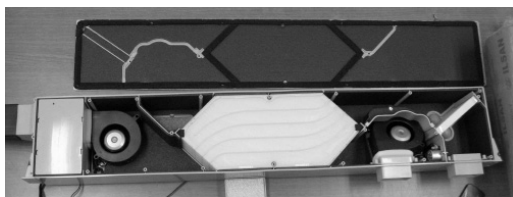
IV. 창호일체형 환기장치의 소음제어 방안

창호일체형 환기장치의 소음도 분석결과 주된 소음원의 위치 및 소음전달 원인을 유추해 볼 수 있었으며, 이를 바탕으로 소음제어방안을 제안하고자 한다.

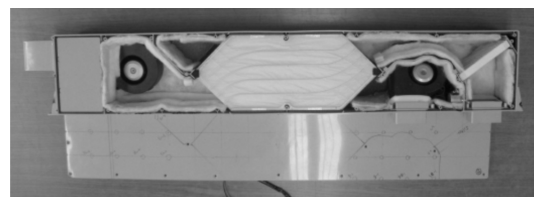
이론적으로 소음은 소음원의 소음을 저감시키는 것이 가장 효과적이며 경제적인 감안할 때, 환기장치의 소음원인 블로워를 저소음 제품으로 교체하거나 RPM이 낮은 블로워를 여러개 사용하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단된다.

이밖에도 2차적인 방법으로써 소음의 전달경로에서 차단하는 방법이 있는데, 소음이 전달경로에서 충분히 차단되지 못하는 원인은 다음과 같다.

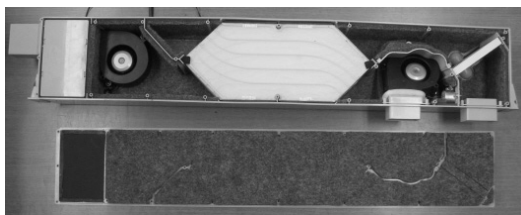
- 1) 제품 구조체의 낮은 차음성능으로 인한 소음 투과
- 2) 내부 충전재의 흡음력 부족으로 인한 소음 저감량 부족



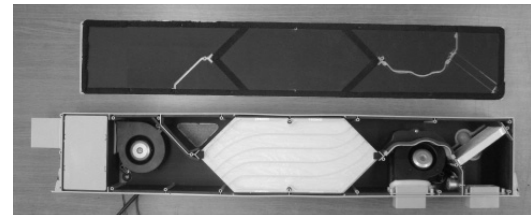
(a) Inside of all-in one window-ventilation system before the changing infill material



(b) Inside of all-in one window-ventilation system after the sound absorption material treatment



(c) Inside of all-in one window-ventilation system after the sound insulation material treatment



(d) Inside of all-in one window-ventilation system after the sound absorption and insulation material treatment

Fig. 14. Inside of all-in one window-ventilation system after the changing infill material.

3) 각종 틈새에 의한 측로 소음 발생

그러나 3장에서 측정 결과에서 알 수 있듯이 측로소음은 발생하지 않은 것으로 판단되므로, 본 장에서는 다양한 내부 충진재를 설치한 뒤 출력소음(PWL)을 측정된 결과를 분석하여 최종적인 소음 저감안을 제안하고자 한다. 다음의 그림은 PE폼을 부착하여 출시된 기존의 환기장치와 흡음재 및 차음재 그리고 흡음 겸용 차음재를 보강한 기구부의 내부 모습을 나타내고 있다.

4.1 흡음재 보강 후 기구부의 소음측정 결과

흡음재는 기구부의 내부 벽체 및 유로에 부착되어 블로워에서 발생된 소음을 흡수하는 역할을 한다. 따라서 흡음재는 블로워의 주변 및 유로를 따라 설치되어야 한다. 이를 위해 기구부 내부에 부착된 PE 폼을 제거한 뒤 폴리에스터 흡음재 5 mm를 부착한 후 기구부 각 면에서의 소음출력레벨(PWL)을 산출하여 기존 기구부의 소음과 비교함으로써 소음의 저감량을 평가하였다. 환기장치 기구부의 각 방향에서 측정된 주파수대역별 출력소음을 도식화하여 Fig 15에 나타내었다.

측정 결과, 흡음재 보강 전에 비해 흡음재를 보강한 뒤 소음이 평균 2.1 dBA 증가했음을 알 수 있었다. 이는 유로에 부착된 흡음재가 블로워의 소음을 흡수하여 소음을 저감할 것이라는 당초 예측과 달리, 블로워에서 발생한 바람이 흡음재의 표면을 마찰하고 지나감에 따라 오히려 소음이 증가하게 된 것으로 예측된다. 이는 블로워 주변의 소음 증가량(약 +0.6

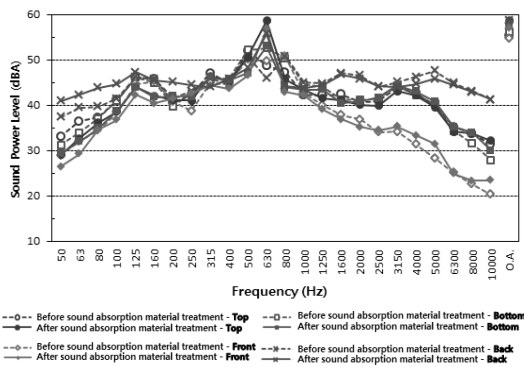


Fig. 15. Average PWL of all-in one window ventilation system after sound absorption material treatment.

dBA)에 비해 유로 및 열회수장치에서의 소음 증가량(약 +5.4 dBA)이 더욱 큰 것에서도 파악할 수 있다. 특히 블로워가 위치한 환기장치의 양 끝단 중 일부의 소음도는 저감된 측정점이 있는 반면에, 유로에 위치한 측정점은 모두 흡음재 보강 후 소음도가 증가한 것이 이를 뒷받침한다.

주파수대역별 소음량의 변화를 분석한 결과, 후면을 제외한 모든 면에서 흡음재 보강 후 저주파 및 고주파수 대역의 소음이 감소한 반면, 630 Hz의 경우 오히려 소음이 급격히 증가했음을 알 수 있었다. 이를 통해 바람과 흡음재가 마찰하여 발생하는 소음이 630 Hz 대역을 중심 주파수로 하는 중간 주파수대역임을 알 수 있었다.

4.2 차음재 보강 후 기구부의 소음측정 결과

일반적으로 창호일체형 환기장치는 본체가 경질의 플라스틱으로 이루어져 있어서 차음성능이 낮다는 단점이 있었다. 이는 소음원인 블로워에서 발생한 소음이 그대로 외부에 전달되는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해서는 기구부 본체의 차음성능을 향상시키고 블로워에서 발생하는 진동을 저감시킬 수 있는 재료로써 4 mm 두께의 고무계열 시트를 사용해 환기장치 내부에 부착한 뒤 출력소음의 저감량을 측정하였다. 앞서 설명한 것과 같이 작은 면적임에도 소음의 누출지점이 발생할 경우 전체적인 차음성능이 떨어지게 되므로, 내부에 차음재 부착시 각 부재간 빈틈이 없도록 설치하였다.

다음의 Fig. 16은 창호일체형 환기장치 내부에 4

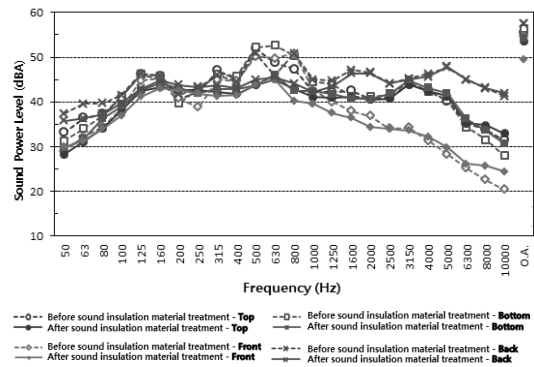


Fig. 16. Average PWL of all-in one window ventilation system after sound insulation material treatment.

mm 두께의 고무계열 시트를 설치하기 전과 후의 소음 측정결과를 주파수대역별로 도식화한 것이다.

차음재 보강 후 전 방향의 모든 측정점에서 출력 소음이 저감되었으며, 그 중에서도 전면부의 소음이 평균 5.2 dBA, 최대 6.2 dBA가 감소하였다. 전면부의 평균 출력소음은 약 49.6 dBA로써 KS B 6879의 폐열 회수형 환기장치의 소음도 기준인 40 dBA를 초과하고 있다. 그러나 이 실험 결과는 창호일체형 폐열회수 환기장치의 일부인 기구부에 해당하는 장치로써, 향후 창틀에 설치한 뒤 커버를 추가적으로 시공할 경우 소음레벨은 훨씬 작아질 것으로 예측된다.

주파수 대역별 소음특성을 분석한 결과, 차음재 보강 전 500 Hz~800 Hz에 해당하는 중간주파수 대역의 소음이 저주파 및 고주파수 대역에 비해 상대적으로 큰 경향이 있었으나, 차음재 보강 후 약 6 dBA 가량 감소되었음을 확인할 수 있었다.

이는 고무계열시트가 500 Hz를 포함한 중간주파수 대역부터 고주파수 대역까지 차음성능이 높은 것이 기인한 것으로 보인다. 이로써 블로워에서 발생하는 315 Hz 이상 대역의 큰 소음을 대부분 차단할 수 있는 재료로 확인되었다.

4.3 흡음 겸용 차음재 보강 후 기구부의 소음 측정 결과

경질의 구조체에 차음성능을 부가함과 동시에 흡음성능을 더하여 외부로 유출되는 소음의 차단 및 내부 소음의 흡수를 유도하고자 고무계열 시트 2

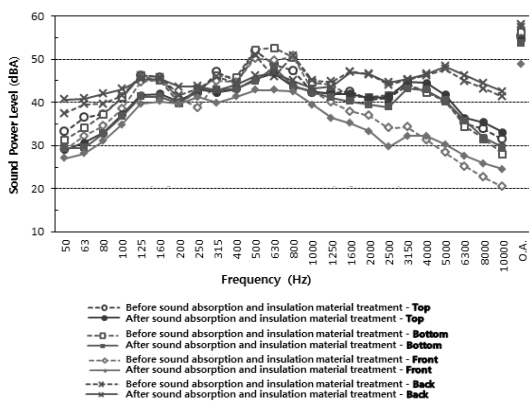


Fig. 17. Average PWL of all-in one window-ventilation system after sound absorption and insulation material treatment.

mm와 고밀도 폴리에스터 흡음재를 동시에 사용하였다. 이를 차음재와 마찬가지로 창호일체형 환기장치의 유로 및 블로워 하단에 마운트한 뒤 소음발생량을 측정하였다. 흡음 겸용 차음재의 보강 후 주파수별 측정 결과는 다음의 Fig. 17에 나타내었다.

측정결과 각 방향의 모든 측정점에서 소음이 저감된 것을 확인할 수 있었으며, 전체 평균에서 약 3.9 dBA 정도 저감되었다. 특히 전면부의 경우 흡음 겸 차음재를 보강한 후 평균 5.8 dBA, 최대 6.3 dBA 저감된 것을 알 수 있었다. 주파수대역별 분석결과 전체적인 주파수대역에서 소음 저감성능이 있었으며, 특히 500 Hz~800 Hz의 중간주파수 대역의 소음이 현저히 감소된 것으로 나타났다. 그러나 630 Hz 대역의 출력소음이 상대적으로 높게 측정되었음을 알 수 있는데, 이는 흡음재와 바람의 마찰소음에 의한 것으로 판단된다.

V. 창호일체형 환기장치의 소음제어 방안 검증 및 분석

상기 실험결과로 인해 제시된 소음제어 방안이 실제 현장에 적용되었을 때의 소음저감성능을 파악하기 위하여 추가적인 실험을 수행하였다. 이를 위해 앞서 수행되었던 다양한 소음제어 방안 중 가장 효과가 높았던 방안 중 고무계열 시트 2 mm를 부착한 기구부를 환기장치에 삽입한 뒤 견본창틀에 설치하여 실제 설치 현장을 재현한 뒤 배출소음을 측정하였다. 실험은 KS B 6879(열회수형 환기장치)에서 규정한 소음측정방식을 준수하였으며 측정 결과는 다음의 Fig. 18에 도식화한 것과 같다.

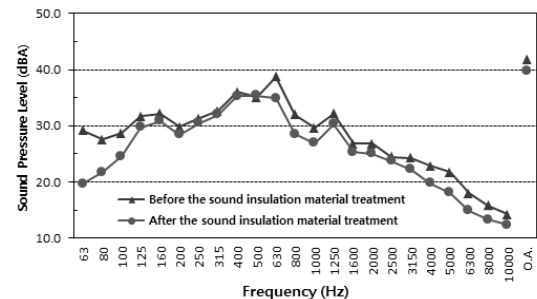


Fig. 18. Comparison of SPL before and after the sound insulation material treatment.

측정결과 고무계열 시트를 부착하기 전에 측정된 창호일체형 환기장치의 발생소음도는 약 41.8 dB(A)로 나타났다. 이는 KS 기준에서 명시한 폐열회수형 환기장치의 소음 허용치인 40 dB(A)을 초과하는 결과이다. 그러나 환기장치 내부에 고무계열 시트 2 mm를 보강한 후 차음성능이 약 2 dB(A) 저감된 39.8 dB(A)로 나타나, KS 기준의 소음허용치를 만족하는 것으로 나타났다. 특히 정진연 등의 논문에서 측정된 결과와 비교해 볼 때, 동일한 풍량(300 CMH)에서 기존의 일반형 폐열회수형 환기장치보다 소음도가 낮게 나타난 것을 알 수 있었다.^[4]

또한 주파수대역별 측정결과를 비교해 볼 때 전반적인 주파수 대역에서 소음이 저감된 것을 확인하였으며, 특히 630 Hz 이상의 중·고주파수 대역과 100 Hz 이하의 저주파수 대역에서 소음 저감폭이 가장 크게 나타났다.

VI. 결 론

본 연구의 목적은 최근 초고층건축물의 효율적인 환기장치로 각광 받고있는 창호일체형 폐열회수 환기장치의 발생소음의 특징을 파악하고, 실제 생활환경에 적용시 질 높은 공기질환경과 정온한 음환경을 동시에 충족할 수 있도록 소음저감 방안을 제안함에 있다.

이를 위하여 기존의 창호일체형 환기장치와 기구부, 기구부 내 부품의 발생소음(SPL) 및 출력소음(PWL)을 측정하였으며, 흡음재와 차음재를 적용한 결과도 측정하여 비교·분석하였다. 또한 환기장치의 방사특성과 거리별 소음량도 측정하여 분석하였다. 이상의 실험을 통한 분석결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 환기장치의 소음원인 블로워의 출력소음(PWL)은 약 59.5 dBA로 나타났으며, 환기장치 기구부 표면의 출력소음(PWL)은 약 55.7 dBA로 측정되었다. 또한 환기장치의 방향별 출력소음(PWL) 및 발생소음(SPL) 측정결과, 블로워가 설치된 곳의 환기장치 표면 출력소음이 기타지역에 비해 높은 것으로 나타났다. 이것은 환기장치의 본체가

얇고 가벼운 플라스틱으로 이루어져 있기 때문에 차음성능이 낮아 내부에서 발생된 소음이 외부로 투과되는 것으로 유추된다.

- 2) 유출된 환기장치의 소음을 제어하기 위한 방안으로써 내부에 흡음재를 설치하여 소음을 흡수하거나, 환기장치 내부에 차음재를 설치해 차음성능을 높임으로써 기구부 내에서 발생한 소음이 외부로 유출되지 않도록 하는 방법이 있다.
- 3) 이러한 가설을 검증하기 위해 환기장치 내부에 부착된 PE 폼 및 소음기에 충전된 폴리에스터의 흡음성능을 측정하였으나 각 재료의 흡음률이 0.11과 0.23으로 매우 낮은 것으로 나타났다. 이를 보강하기 위해 PE 폼을 제거한 뒤 폴리에스터 흡음재로 변경하였으나 평균 소음이 오히려 약 2.1 dBA 증가하는 것으로 나타났다. 이는 공기와의 마찰소음에 의한 것으로 유추되며 따라서 유로에 흡음재를 부착하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다.
- 4) 환기장치의 차음성능을 보강하기 위해 기구부 내부에 차음재(고무계열 시트 4mm)를 설치한 경우 소음이 평균 3.7 dBA 감소했으며 흡음 겸용 차음재를 설치한 경우 약 3.9 dBA의 소음이 저감되었다. 이를 통해 환기장치의 소음은 차음력 보강을 통해 저감할 수 있는 것으로 확인되었다.
- 5) 위 결과를 바탕으로 차음성능 및 경제성, 시공성 등의 문제점을 감안하여 고무계열 시트 2 mm를 설치한 경우 창호일체형 환기장치의 발생소음은 약 39.8 dBA로 기준치인 40 dBA를 만족시키는 것을 알 수 있었다.
- 6) 이 밖에도 소음원인 블로워를 저소음 블로워나 rpm이 작은 블로워를 여러개 사용하여 소음원의 발생 소음을 저감시키는 방법 등이 있다.

본 연구에서는 기존 창호일체형 환기장치를 대상으로 발생소음의 특성을 파악하고 구조체의 흡음 및 차음성능 향상에 따른 발생소음의 변화를 조사하였다. 그 결과 환기장치의 구조체가 경질의 플라스틱 계열로 이루어져 있어 내부에서 발생한 소음을 충분히 차단할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 향후 창호일체형 환기장치의 개발시 기구부 구조체의 두께

를 늘리고 재질을 경화 플라스틱 등 밀도가 높은 자재를 사용해 차음력을 증가시킨다면 보다 정온한 음환경에서 공기질환경을 개선시킬 수 있는 유용한 대안으로 활용될 것으로 유추된다.

참고문헌

1. C. H. Haan, *The report of Noise Reduction Methods of the All-in One Window Ventilation System* (Chungbuk National University Industry Academic Cooperation Foundation, 2011).
2. C. J. Park, G. S. Cho, C. H. Haan, "Noise analysis of the ventilation device of all-in one window system" (in Korea), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.* 1(s) **31**, 66-74 (2012).
3. D. J. Kang, J. H. Gu and J. W. Lee, "Sound power level of electric home appliances according to measurement method," *J. Noise and Vibration Eng. Soc. Kr.* **19**, 335-346 (2009).
4. J. Y. Chung, S. J. Hong, J. B. Im and K. W. Kim, "Acoustic performance of heat recovery ventilators," *J. Noise and Vibration Eng. Soc. Kr. Suppl.* (s), 310-311 (2009).
5. W. J. Cavanaugh and J. A. Wilkes, *Architectural Acoustics - Principles and Practice* (John Wileys & Sons, New York, 1999).
6. KS F 2814, *Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes - Part 1 : Method Using Standing Wave Ratio*, 2001.
7. KS A ISO 3745, *Acoustics - Determination of sound Power Levels and Sound Energy Levels of Noise Sources-Precision Methods for Anechoic and Semi-Anechoic Rooms*, 2002.
8. KS B 6879, *Heat-Recovery Ventilators*, 2007.

저자 약력

▶ 박 찬 재(Park Chan-Jae)



2006년 2월: 충북대학교 건축공학과 학사
 2009년 2월: 충북대학교 건축공학과 석사
 2009년 3월 ~ 현재: 충북대학교 건축공학과 박사과정 (수료)

▶ 한 찬 훈(Haan Chan-Hoon)



1983년 2월: 홍익대학교 건축학과 학사
 1985년 2월: 연세대학교 건축공학과 석사
 1993년 12월: University of Sydney 박사
 1994년 9월 ~ 현재: 충북대학교 건축공학과 교수