

차량용 공조덕트의 소음특성에 관한 연구

김재원* · 김진민** · 박정영***

Characteristics of noise in HVAC duct for vehicle

Jae-Won Kim*, Jin-Min Kim**, Jeong-Young Park***

Key Words : Flow Noise(유동 소음), HVAC System(공조 시스템), Blower(송풍기), Heater Unit(히터 유닛), Duct(덕트), Vent Mode(환기 모드), Defrost Mode(제상 모드)

ABSTRACT

Comprehensive study on the system, including blower and ducts, of HVAC device of a vehicle has been carried out for improvements of noise characteristics. The parameters of design improvements are concerned with geometric informations such as the shape of ducts and presence of a windshield window. Test results show that noise level increasing the following order: HV (HD) < V (D) < BH ~ BHV (BHD) < B (B, H, V, D denote for blower, heater unit, vent duct, defrost duct, respectively). The effects of windshield glass on the noise level in the case of defrost mode are pronounced and the effects of the geometry of ducts on the overall HVAC noise prove to be not small.

1. 서론

자동차는 이제 운송수단으로서의 기능은 말할 것도 없고 멀티미디어와 음성 인식 등이 작동하는 정숙한 사무 공간으로서의 기능을 요구 받고 있는 것이다. 본 연구에서 다루고자 하는 공조소음의 경우는 엔진 아이들링 상태에서 가장 주도적인 소음으로써, 지금까지의 연구를 통해 기존의 주된 소음 (P/T noise, road noise, wind noise 등)이 감소함에 따라 그 기여도가 증가하고 있으며, 또한 향후 개발될 하이브리드 차량이나 연료 전지 차량에서는 그 중요성이 더욱 증가하게 된다. 공조소음에 대한 연구는 이러한 경향에 맞추어 최근 활발하게 진행되고 있으며 전산해석기법과 음향 상사 기법 (acoustic

analogy)을 이용한 수치 해석 기법의 연구도 진행되고 있다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 블로워, 히터 유닛, 덕트 및 노즐로 구성되는 공조시스템에서 각 부품 및 단품의 조합에 대해 소음을 측정하여 공조소음의 특성을 관찰하고자 한다. 또한 동일한 블로워와 히터 유닛에 형상이 다른 덕트를 조합하여 덕트의 형상이 소음에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 풍동 무향실

소음 측정을 위하여 Fig. 1에 나타난 풍동 무향실을 이용하였다. Fig. 1에 나타난 것처럼 풍동 무향실은 무향실과 흡입타입의 풍동이 결합되어 있어 무향실 단독으로 각종 기기류의 음향 특성 연구와 소음원 측정 및 분석을 할 수 있고 무향실에 결합되어 있는 풍동을 가동하여 블로워가 없는 경우의 공조장치 단품 소음 실험을 수행할

* 선문대학교 기계 및 제어공학부

** 선문대학교 대학원 기계공학과

*** (주)현대모비스 기술연구소

E-mail: jwk@sunmoon.ac.kr

수 있다. 풍동 무향실은 무향실과 방음실, 풍동실로 구성되어 있으며 무향실의 cut-off frequency는 125Hz이고, 암소음 (background noise)은 17dBA이다. 풍동 무향실의 고유진동수는 6Hz이하로 설계되었으며, 방음실의 암소음은 36 ± 1 dBA이하로 설계되었다. 풍동은 4~80CMM(m^3/min)까지의 유량범위가 측정 가능하며, 풍동에 설치되어 있는 보조송풍기는 airfoil형 터보 팬으로 95CMM, 200mmAq성능의 장비를 장착하였다.

2.2 소음 측정 장치

무향실에 설치된 공조장치와 마이크로폰, 보조 덕트를 나타낸 것이 Fig. 2이다. 소음측정 대상인 공조장치는 현재 양산 중인 차종의 공조장치로 Fig. 2에 나타난 것처럼 동일 차종의 크래쉬 패드와 조립된 상태이다. 블로워가 작동되면 공기는 방음실로부터 보조 덕트를 통해서 공조시스템으로 유입되며 공조시스템을 통과한 공기는 무향실 내부에서 풍동실의 풍동으로 빠져나가게 된다. 이때 풍동에서는 부압을 걸어서 무향실 내의 압력이 대기압으로 유지될 수 있도록 하였다.

보조 덕트는 두 가지 역할을 담당하게 된다. 공조장치를 통과하는 모든 공기는 보조 덕트를 통해서 외부로부터 들어와서 풍동으로 나가기 때문에 공조장치를 통과하는 유량을 측정할 수 있게 되며 한편으로는 보조 덕트 내부에 흡음재 (32KPU) 처리를 하여 블로워의 팬 소음이 직접 마이크로 입사 되는 현상을 방지하는 기능을 하게

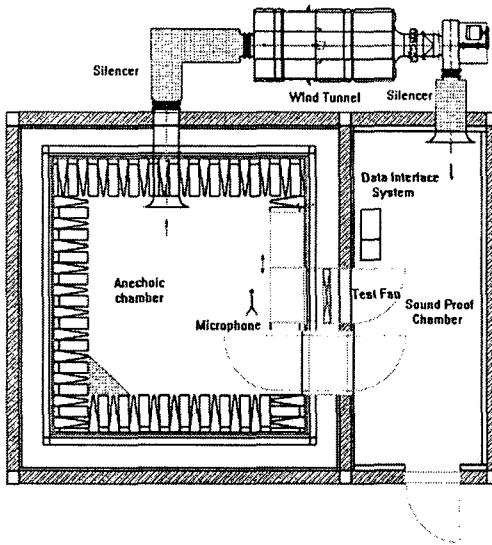


Fig. 1 Anechoic chamber with wind tunnel

된다. 본 연구에서는 흡음재로 마감 처리한 보조 덕트의 차음 성능을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 보조 덕트 차음 성능은 흡음발생기를 이용하여 스피커에 원하는 주파수의 음을 발생하게 하고 이를 보조 덕트를 통과하게 해서 마이크로폰으로 측정할 경우와 보조 덕트 없이 무향실 내에서 동일한 음을 측정할 경우를 비교하였다. 이 경우에 스피커는 마이크로폰과 수평으로 3m 떨어진 부분에서 설치하였다. Fig. 3에 나타난 차음 성능 실험 결과를 보면 평균적으로는 11dBA 이상 감소하여 평균적인 차음성능은 적당하지만 1kHz 근처에서 차음 성능이 떨어지는 것으로 나타나 개선의 여지가 있음을 알 수 있었다.

소음측정 계측기는 LMS사의 Pimento 계측기를 이용하였다. 계측기는 20kHz 16 channel, V/ICP input module의 FFT analyzer로 구성되어 있다. FFT 소프트

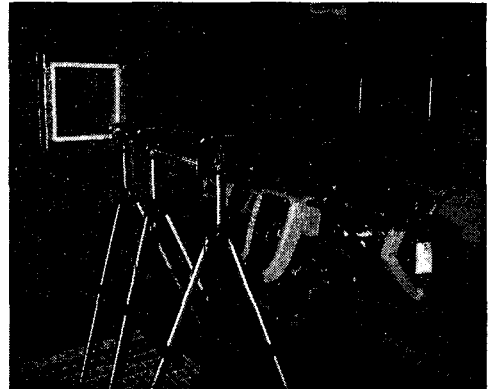


Fig. 2 Configuration of experiment set-up

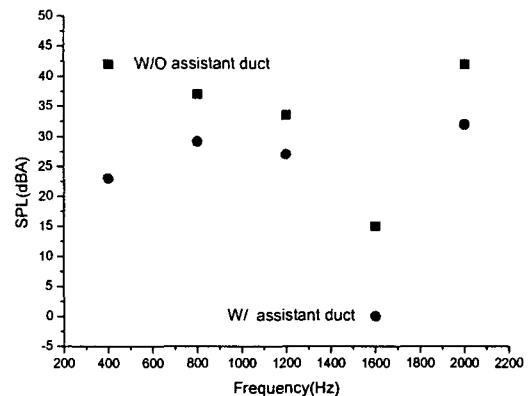


Fig. 3 Effects of assistant duct: ■; noise level without duct, ●; with duct

웨어는 Time Data Acquisition and Analysis를 이용하였으며 마이크로폰은 1/2 Pre polarized Mic. & ICP Pre amplifier microphone을 이용하였으며, 그 정확성을 위하여 G.R.A.S Sound & Vibration사의 GRAS Type 42AB calibrator를 사용하여 영점 조절을 실시하였다. 측정된 모든 소음 데이터는 A-weighting factor로 보정하였다.

2.3 실험 방법

본 연구에서 수행되는 실험은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 환기모드 (vent mode)에 대한 단품 실험이며 두 번째는 제상 모드 (defrost mode)에 대한 단품 실험이다. 제상 모드의 경우는 차량의 전면유리의 효과를 고려하기 위해 차량의 전면유리의 형상을 추가한 경우의 실험도 병행하였다. 위의 두 경우는 현재 양산 중인 차종 P의 공조 장치에 대한 실험이다. 세 번째 실험은 차종 P의 블로워, 히터 유닛에 차종 Q의 덕트를 부착하여 소음을 측정하는 실험이다. 차종 Q도 역시 양산 차종이며 두 차종의 공조 덕트의 입구는 동일한 형상을 가지고 있다. 각각의 단품 실험은 블로워 (B), 블로워+히터 유닛 (BH), 덕트 (V, D), 히터 유닛+덕트 (HV, HD), 블로워+히터 유닛+덕트 (BHV, BHD) 5개의 실험으로 이루어지게 된다. 이후의 내용에서 B, H, V, D는 각각 블로워, 히터 유닛, 환기 모드에서의 덕트 (이후 내용에서는 vent duct), 제상 모드에서의 노즐 및 호스(이후 내용에서는 defrost duct)를 의미한다. 차종 Q에 대해서는 (*)를 붙여 구별하였다. 각 단품 실험에 있어서 블로워가 포함된 경우는 블로워를 가동하여 공기 흐름을 만들었으며 블로워가 포함되지 않은 경우에는 풍동에서 부압을 걸어서 공조장치 전체일 경우 (BHV나 BHD)와 동일 유량의 공기 흐름을 만들었다. 블로워의 입력 전압은 공조장치의 2단과 4단에 해당하는 7.5V와 12V로 실험을 수행하였으며, Table 1에 블로워 입력 전압 12V인 경우에 대한 각 단품 실험의 조건을 정리하였다.

각각의 단품 실험에 있어서 마이크의 위치는 블로워 단독의 경우는 토출구 전방 1m, 블로워+히터 유닛의 경우는 히터 유닛 토출구 전방 1m이며 덕트가 포함된 실험의 경우는 운전자 오른쪽 귀 위치로 하였다.

3. 실험 결과

3.1 환기 모드 (Vent Mode)

차량 공조시스템의 통상적인 환기 모드는 블로워를 통

과한 공기가 히터 유닛 내부의 증발기코어를 거치면서 찬공기가 되어 환기 덕트를 통해 승객에게 전달되는 작동 모드이다. 본 실험에서는 두 가지 모드 모두 온도의 변화는 없다.

Table 1 Conditions of experiments at 12V

	유량 (CMM)	전류 (A)	회전수 (rpm)
BHV	6.78	13.7	2710
BHD	6.21	13.1	2770
BHD(W)	6.04	13.2	2775
BH(vent)	7.35	13.6	2700
BH(defrost)	6.92	14	2649
B	8.94	18.5	2320
BHV*	7.17	14.5	2760
BHD*	6.53	13.7	2830

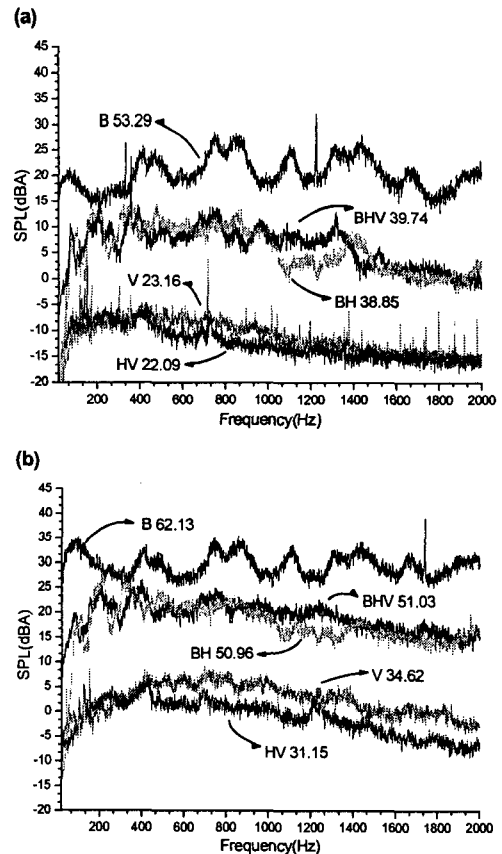


Fig. 4 Sound pressure levels in case of vent mode for (a) 7.5V and (b) 12V

Fig. 4에 환기 모드로 작동할 경우에 발생하는 소음을 5가지의 단품 및 조합 실험에 대하여 나타내었다. 7.5V 일 경우 (Fig. 4a)와 12V일 경우(Fig. 4b)로 나누어 나타내었으며 10kHz까지의 소음 레벨 (overall sound pressure level)를 같이 도시하였다. 7.5V와 12V 모두 $HV < V < BH \sim BHD < B$ 의 순서로 소음의 크기가 크게 나타나고 있다. 블로워 단독일 경우에는 7.5V와 12V에 대해 1200Hz와 1800Hz 근처의 BPF (blade passing frequency)에서 피크를 나타내고 있지만 다른 단품과 조합될 경우는 이런 피크가 사라진 것을 관찰할 수 있다. 블로워 단독일 경우와는 달리 다른 단품 조합의 경우에는 1kHz 이상의 대역에서는 주파수가 높아질수록 소음의 크기가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 제상 모드에서도 동일한 양상을 띄었다. (Fig. 5)

3.2 제상 모드 (Defrost Mode)

차량 공조시스템의 통상적인 제상 모드는 블로워를 통과한 공기가 히터 박스 내부의 증발기코어와 히터코어

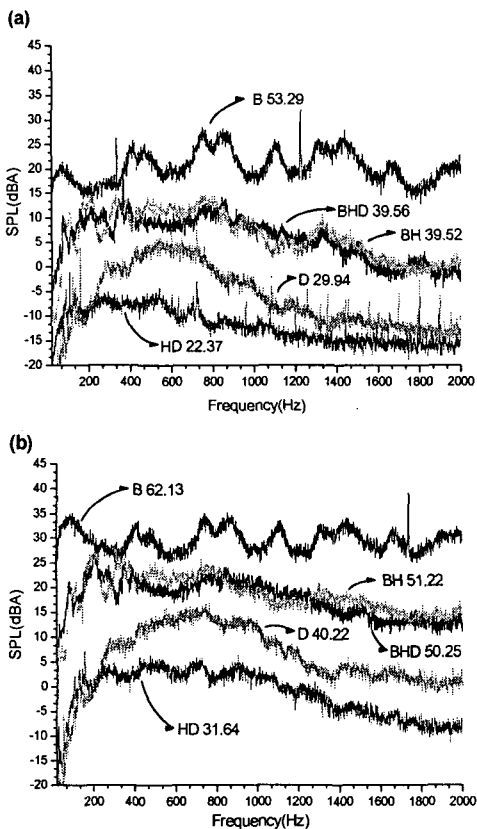


Fig. 5 Same as Fig. 4 except for defrost mode

를 거치면서 뜨거운 공기가 되어 제상덕트를 통해 차량의 전면유리 및 측면유리로 향하게 되는 작동 모드이다. 제상 모드에서는 통상 일부 공기가 환기덕트 양쪽 가장자리 덕트로도 흐르게 된다.

Fig. 5에 제상 모드로 작동할 경우에 발생하는 소음을 5가지의 단품 및 조합 실험에 대하여 나타내었다. 7.5V 일 경우 (Fig. 5a)와 12V일 경우(Fig. 5b)로 나누어 나타내었으며 10kHz까지의 소음 레벨을 같이 도시하였다. 7.5V와 12V 모두 $HD < D < BH \sim BHD < B$ 의 순서로 소음의 크기가 크게 나타나고 있다. 덕트 단독일 경우는 환기 모드에 비해 훨씬 소음의 크기가 크지만 히터 유닛과 결합되면 환기모드와 비슷한 소음 수준을 나타내었다. 제상 모드의 경우는 환기 모드와 달리 덕트출구에서 나온 고속의 공기가 차량의 전면유리나 측면유리와의 충

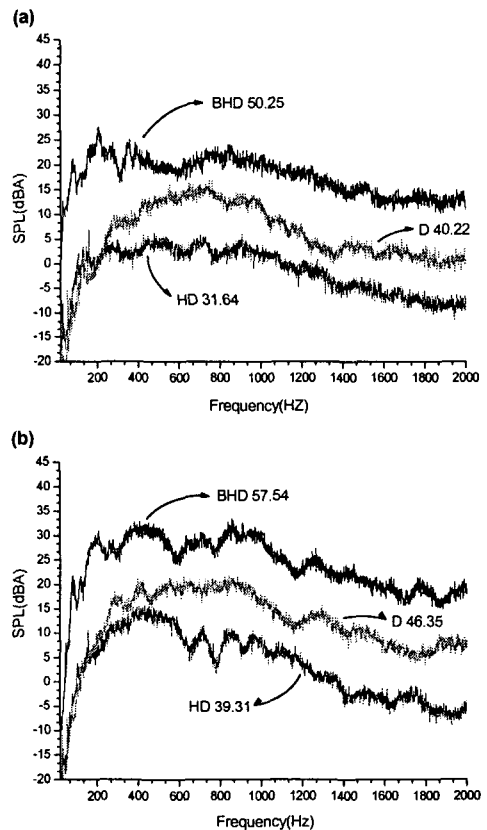


Fig. 6 Effect of windshield glass on sound pressure level in case of defrost mode:(a) without imitation windshield glass, (b) with imitation windshield glass

돌로 인해 급격한 속도 감소가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 차량의 전면유리의 영향을 고려하기 위해 모조 전면유리를 설치하여 제상 모드에 대한 실험을 수행하였다. Fig. 6에 D, HD, BHD의 단품 실험에 대해 모조 전면유리를 설치하지 않은 경우와 설치한 경우의 소음 크기를 나타내었다. 모조 전면유리를 설치할 경우, D, HD, BHD 모든 경우에 6dB이상 소음의 크기가 증가하였으며 400Hz근처의 소음증가가 두드러졌다.

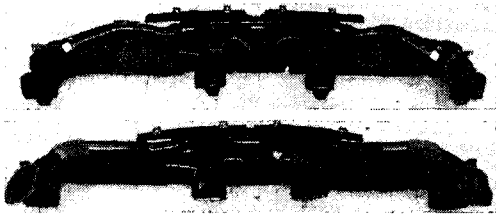


Fig. 7 Photos of duct system for vehicle P(upper one) and Q(lower)

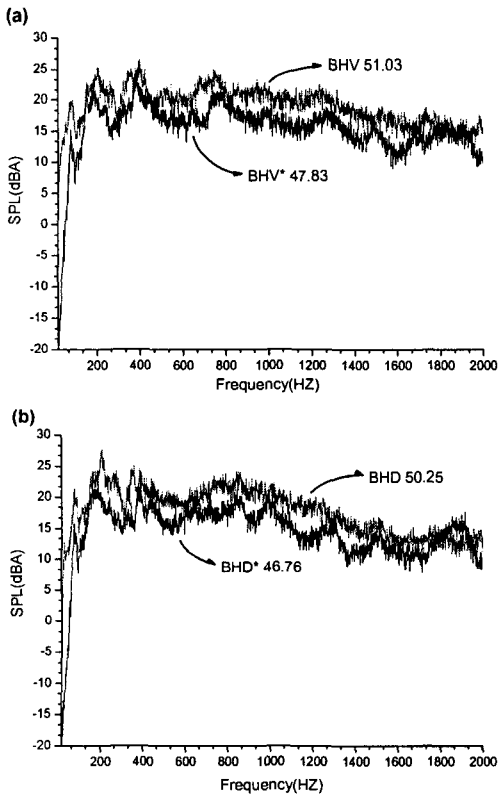


Fig. 8 Effect of duct geometry on sound pressure level: (a)vent mode, (b)defrost mode

3.3 덕트 형상의 영향

덕트의 형상 변화가 차량 공조장치의 공력소음에 미치는 영향을 규명하기 위해 다른 차종 (Q)의 덕트를 기존의 공조장치 (블로워, 히터 유닛)에 조합하여 소음을 측정하였다. Fig. 7은 각각 차종 P와 Q의 환기덕트와 제상 덕트 형상을 나타낸 것이다. 차종 P와 Q의 덕트 입구 형상은 동일하며 차종 Q의 덕트가 단면적이 조금 넓고 환기덕트의 경우에는 출구 근처에서 직각에 가깝게 꺾인 형태를 띄고 있다. Fig. 8에 입력 전압이 12V인 경우의 덕트 형상 변화에 대한 결과를 도시하였다. 차종 Q의 덕트로 대체할 경우 환기 모드와 제상 모드 모두 3dB이상 감소하는 결과를 살필 수 있다. 즉 덕트의 형상이 공조장치의 소음에 미치는 영향이 적지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차 공조장치에서 발생하는 공조소음의 특성을 파악하기 위하여 공조장치의 각 단품들 (블로워, 히터 유닛, 덕트)과 그 조합된 상태에 대하여 소음을 측정하였다. 또한 덕트의 형상 변화가 소음에 미치는 영향을 규명하기 위해 형상이 다른 덕트를 조합하여 소음을 측정하였다.

단품 소음 실험 결과 HV (HD) < V (D) < BH ~ BHV (BHD) < B의 순서로 소음의 크기가 크게 나타나며 블로워 단독일 경우에는 7.5V와 12V에 대해 에서 피크를 나타내지만 다른 단품과 조합될 경우는 이런 피크가 사라졌다. 제상 모드에서는 차량의 전면유리의 소음에 대한 영향이 커서 모조 전면유리를 설치할 경우, D, HD, BHD 모든 경우에 6dB이상 소음의 크기가 증가하는 것으로 나타났다.

차종 P의 덕트를 차종 Q의 덕트로 대체할 경우 환기 모드와 제상 모드 모두 3dB 이상 감소하는 결과를 얻어, 덕트의 형상이 공조장치의 소음에 미치는 영향이 적지 않음을 알 수 있었다.

본 논문에서는 현재 양산 중인 1개 차종에 대한 소음 측정 결과를 다루었으며 향후 다른 타입의 덕트(제상덕트의 경우 크게 nozzle type과 vibration welding type으로 나눌 수 있으며 본 논문에서 다룬 제상덕트는 nozzle type임)가 포함된 공조장치에 대해 추가 실험을 실시할 예정이다. 또한 동일한 입력 전압이 아닌 동일한 유량 조건에서 실험을 수행하여 더 상세한 소음 특성 결과를 얻을 예정이다.

후 기

본 연구는 선문대학교 공조기술연구 센터와 (주)현대 모비스 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) C. Hipp-Kalthoff, A. Eilemann, and J. Kilian,, 1997, "Acoustic Optimization of HVAC Systems," SAE technical paper, 971812.
- (2) N. Humbad,, 2001, "Automotive HVAC Flow Noise Prediction Models," SAE technical paper, 01~1498.
- (3) B. Schillemeit and S. Cucuz,, 2002, "Comparison of Experimental NVH Analysis Techniques on Automotive HVAC Systems," SAE technical paper, 01~1173.