

운행 중 변형형상을 이용한 에어컨 실내기 캐비닛의 소음/진동 특성 파악 및 제어

Noise, vibration Characteristic Identification and Noise Control of Indoor Air-Conditioner's Cabinet using Operational Deflection Shape

이성진*· 오재응**· 이정윤***· 강태호****

Seong Jin Lee, Jae Eung Oh, Jung Youn Lee, and Tae Ho Kang

Key Words: Air-conditioner(에어컨), Sound Intensity(음향인텐시티), Operational Deflection Shape(운행 중 변형형상), Noise Control(소음제어), Structure Borne Noise(구조기인소음)

ABSTRACT

An indoor package air-conditioner (PAC) has complex noise sources such as motor noise and fluid noise caused by the fan motor, heat transfer and shroud. Sound intensity techniques and ODS(Operational deflection shape) techniques are applied to identify the noise characteristics of an indoor air-conditioner's cabinet. The sound intensity is used to visualize the noise source locations, and the ODS to visualize the vibration pattern and to obtain the dynamic characteristics of the noise source. Acoustic intensity and operational deflection distribution are obtained in space domains as well as frequency domains. Using the visual information of source locations and its dynamic characteristics, the damping patch is applied to reduce structure borne noise in the cabinet. As a result, the noise emitted by the cabinet is reduced by 5dB.

1. 서론

경제력의 향상과 더불어 소비자들의 요구가 고급화되고 다양화 되면서 소음과 진동이 제품의 질을 판단하는 중요한 척도가 되고 있다. 특히 에어컨은 수요가 급증함에 따라 제품의 질적 고급화 현상이 두드러지고 있으며 에어컨의 소음 문제가 제품의 구매에 결정적 요소가 되고 있다. 따라서 각 제조업체들은 제품의 소음과 진동으로 인한 불쾌감을 줄이기 위해 많은 연구와 투자를 아끼지 않고 있으며, 자사 제품의 정숙성을 적극 홍보하여 타사 제품과의 차별성을 강조하고 있다. 따라서 저소음 실내기에 대한 요구는 제품개발에 있어서 필수적인 연구분야가 되고 있다.

일반적으로 실내기 에어컨 운전 중 발생하는 소음은 냉매 유동음, 열교환기 Pin 떨림음, Fan의 BPF(Blower Passing Frequency)등의 유동기인소음(Air Borne Noise)과 Fan Motor에 의한 자체 방사소

음, Motor 진동에 의한 2f 자기음 및 에어컨 실내기 구조물(Motor Bracket, 캐비닛, 흡입그릴)의 공진, 기구간섭 등의 구조진동에 의하여 발생하는 구조기인소음(Structure Borne Noise)으로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 에어컨 실내기 시스템에 있어서 Fan Motor의 회전 진동과 Fan의 BPF에 의해 가진되는 캐비닛의 구조기인소음을 제어함을 목적으로 한다. 이를 위하여, 우선 Fan Motor 및 BPF에 의한 캐비닛의 소음 특성을 음향인텐시티(Acoustic Intensity)를 이용하여 분석하고, 이러한 Fan Motor 및 BPF로부터의 가진 특성이 에어컨 실내기 캐비닛에 미치는 응답특성은 운행중변형형상(Operational Deflection Shape : ODS)을 측정하여 평가한다.

또한 에어컨 실내기의 소음제어를 위하여, 음향인텐시티 및 운행 중 변형형상(ODS) 측정에 의한 공간 및 주파수 영역에서의 소음 및 진동의 가시화를 통하여 소음원의 위치와 성격을 음향학적 입장에서 분석하고 이에 적절한 제어방법을 제시하겠다.

* 한양대학교 대학원 자동차공학과
E-mail : flivver@ihanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

** 한양대학교 기계공학과

*** 경기대학교 기계시스템 디자인공학부

**** 위니아만도㈜

2. 에어컨 실내기 소음 특성

Fig. 1 은 에어컨으로 방사되는 소음 스펙트럼의 형태를 보여준다. 측정은 무향실에서 에어컨 전면 1m, 높이 1m 지점에서 측정하였다. Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 높은 음압값을 보여주는 주파수는 120Hz 와 488Hz 이다. 이들 주파수 중 120Hz 영역에서의 소음은 팬 구동모터에서 직접 방사되거나, 모터에서 발생된 가진력에 의하여 사시 구조물이 진동함으로써 발생하는 소음과 관련되어있고 500Hz 영역에서의 소음은 팬 날개(Fan Blade)와 공기와의 이탈(Cut-off)에 의한 소음으로 Fan 의 날개 수(48 개) 및 회전 수(610 rpm)와 관련된 BPF(Blower Passing Frequency) 소음이다.

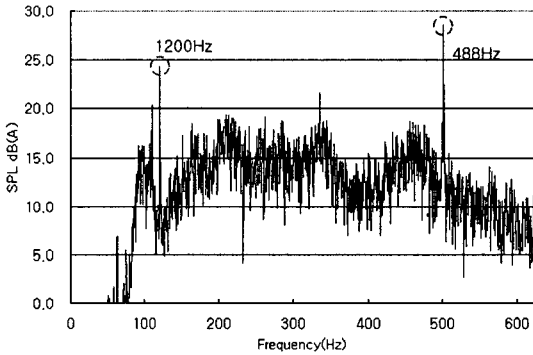


Fig.1 Sound Pressure level of indoor air-conditioner

이러한 소음의 개선을 위해서는 일반적으로 품질이 우수한 모터를 적용한 음원의 제어, 진동 절연을 통한 전달계의 제어 그리고 구조물의 공진회피 및 고강성화 설계 등의 방법이 사용되어 왔다.

3. 음향인텐시티 분포

음향인텐시티는 임의의 위치에서 단위면적을 통과하는 음향에너지의 시간당 변화율로서 음압과 입자속도의 곱으로 나타나는 벡터 량으로 정의된다. 본 연구에서는 에어컨 캐비닛의 근접장에서의 음향 인텐시티 측정에 의하여 소음원을 가시화함으로써, 음원의 위치를 파악하고자 한다.

일반적으로 음향인텐시티는 두 개의 마이크로폰을 이용하여 측정하게 되며 본 연구에서는 상업화된 인텐시티 프르브(B&K3545)를 사용하였고 현재 에어컨의 소음이 1kHz 까지 분석할 필요가 있

으므로 1/4" 마이크로폰과 50mm 스페이서를 사용하였다. 측정 위치 및 측정 점은 캐비닛 후면 30cm 지점에서 6*18 지점에 대하여 공간상 에이리어싱(Aliasing)을 고려하여 10cm 간격으로 설정하였고 각 주파수 별 소음원의 발생 위치를 분석하고자 에어컨 실내기 캐비닛 후면에 대하여 인텐시티 프르브를 Scanning 하여 가면서 에어컨 구동 상태에서 근접장 방사 음향 인텐시티를 측정하였다.

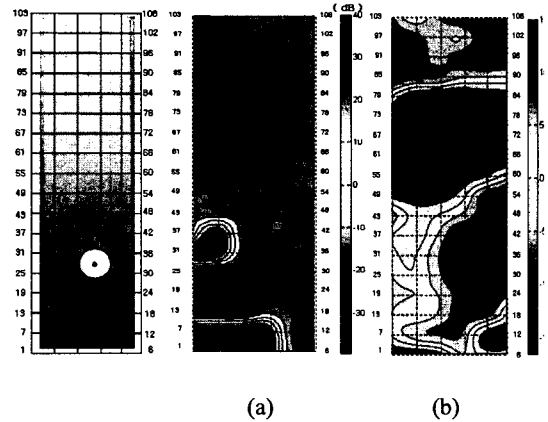


Fig. 2 Sound Intensity Distribution map of back cabinet (a) 120Hz, (b) 500Hz

측정결과는 Fig. 2 에서 보듯이 120Hz 주파수 대역에서는 모터 부위에서 높은 소음(40dB 이상)이 발생하고 캐비닛 후면의 전반에 걸쳐 30~40dB 의 높은 소음이 발생하고 있음을 알 수 있다.

500Hz 주파수 대역인 BPF 소음 영역에서는 120Hz 대역의 소음보다 크기는 작지만 캐비닛 우측 하단과 중앙부에서 높은 소음을 보여준다.

4. Operational Deflection Shape

실내기 에어컨의 음압 스펙트럼과 음향인텐시티 분포로부터 음압 레벨을 결정하는 주요 성분을 파악하였으며 이러한 성분들에 대한 진동 패턴을 파악하기 위해 운행 중 변형 형상(ODS)을 측정하였다.

구조물의 대한 모드 형상 측정에서는 구조물의 자유 진동 형상만을 보여주지만 운행 변형 형상(ODS) 측정을 통해서 는 가진원에 의한 국부적 진동의 형태까지 잘 설명할 수 있다.

측정은 두 개의 진동센서와 2 채널 FFT Analyzer 를 이용하면 가능하다. 이러한 ODS 의 측정결과는 절대 변위를 구성되어 있으므로 구조물의 실제 운행 중의 거동을 가시화하는데 효과적

이다. 또한 음향 인텐시티와 ODS 를 연계 분석할 경우 에어컨 캐비닛의 방사소음 성분 및 형태에 대한 좀 더 명확한 정보를 얻어낼 수 있다.

본 연구에서는 두 개의 가속도계 중 하나는 에어컨 뒷면 캐비닛의 진동량을 예비 측정 후 진동량이 가장 많은 DOF 에 참조 신호로 부착 후 나머지 가속도계의 위치를 옮겨가면서 전달함수를 측정하였다. 관심 있는 주파수 영역에서의 Bending wave 파장을 고려하여 10cm 간격으로 18*5 지점에 대하여 측정하였고 하나의 기준 가속도계에서의 Auto-spectrum 과 각 측정 위치 사이의 Transfer Function Data 를 획득하여 분석하였다.

먼저, 실내기 뒷면 캐비닛의 진동 신호의 스펙트럼 측정 결과 Fig. 3 에서 보는 것과 같이 120Hz 에 높은 진동 값이 존재한다. 이는 Fan Motor 의 가진 주파수와 일치한다.

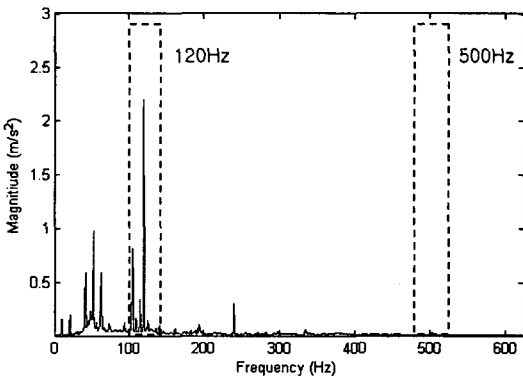


Fig. 3 Vibration Spectrum at the back cabinet.

반면 진동 스펙트럼과 소음 스펙트럼의 결과를 비교해 보면 BPF 인 500Hz 에서의 소음은 캐비닛의 진동에 기여하지 않으며, 캐비닛의 진동에 의한 구조기인소음(Structure Borne Sound)과 상관관계가 없음을 알 수 있다. 인텐시티 측정 결과인 Fig.2 (a)에서도 확인할 수 있듯이 120Hz 에서는 모터의 가진이 캐비닛 전반에 걸쳐 높은 소음으로 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4 는 Fan motor 의 가진 주파수인 120Hz 와 그 원인인 60Hz 에서의 에어컨 캐비닛 뒷면의 운행 중 변형 현상 측정 결과이다. Fig. 4 의 운행 중 변형 현상에서 보이는 것처럼 모터 부위에서 높은 진동량을 보이고 있다. 이는 120Hz 에서의 인텐시티 측정 결과와 비교 했을 때 높은 소음이 발생하는 부분과 높은 진동이 발생하는 부분이 일치함을 보여준다.

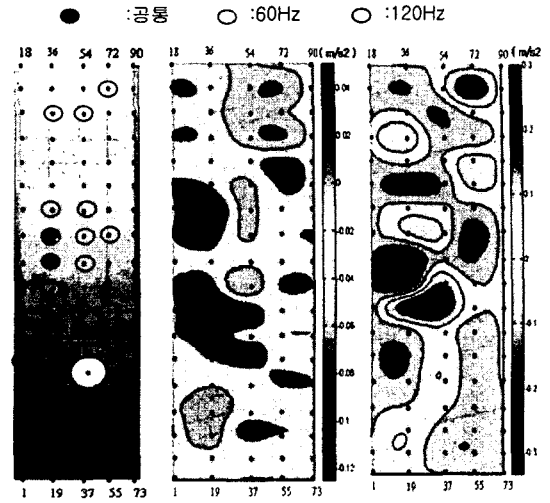


Fig. 4 Operational deflection shape of Back cabinet at 120Hz

이는 모터에 의한 가진이 캐비닛의 방사 소음과 진동 모든 면에서 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 소음제어를 위해서 앞에서 언급한 것과 같이 품질이 우수한 모터를 사용하여 음원을 제어하는 법, 진동 절연을 통한 전달계의 제어 그리고 구조물의 구조변경 및 고강성화 설계 등을 이용할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 캐비닛에 비드형상 삽입등과 같은 고 강성화 설계를 이용하여 소음을 제어를 실시하며 예비 검증용으로 제진재(damping patch)를 캐비닛의 진동이 많은 부분에 적용함으로써 캐비닛을 통하여 방사되는 소음 제어 효과를 확인하고자 한다.

5. 소음 제어

Fig. 5 는 에어컨 캐비닛 후면에 제진재를 적용한 그림이다. 사용된 제진재는 부틸테이프 (Butyl Tape)을 사용하였고 운행 변형 현상과 음향 인텐시티 측정 결과를 연계 비교하여 소음과 진동이 높게 나오는 부분에 제진재의 위치를 선정(case1)하여 효과를 확인한 후 실제 시스템에 적용 가능한 case3~case10 에 대하여 제진재 부착 전 후의 소음 저감 효과를 확인하였다.

소음 측정 결과 Table.1 에서 보듯이 case3 의 경우 120Hz 에서의 음압은 제진재 적용 전의 소음에 비해 5.8dB 정도의 소음 저감 효과를 확인할 수 있다. 하지만 전체 소음을 비교 하였을 때는 소음 저감 효과가 미약하였다. 그 이유는 서론에

서도 언급했듯이 에어컨의 여러 가지 소음 인자들 중에서 본 논문에서 제어의 대상이 된 부분은 Fan Motor 의 가진 주파수인 120Hz 에 의한 캐비닛의 방사소음 저감이었기 때문이다.

추후 Case3 에 대하여 실제 시스템에 비드를 삽입하여 실제 효과를 확인할 예정이다.

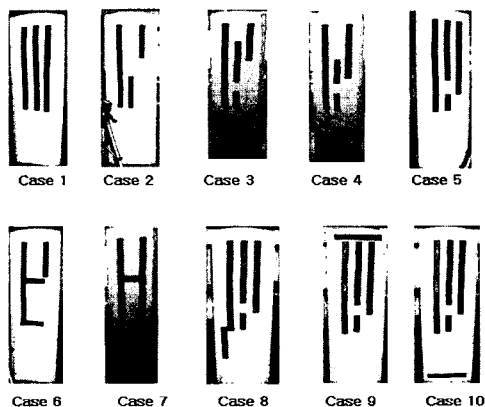


Fig. 5 Applied damping patch at the back cabinet

Table. 1 Reduction of sound pressure level

순위	Case #	With damping patch		Without damping patch		차이	
		125Hz	O.A(dBA)	125Hz	O.A(dBA)	125Hz	O.A(dBA)
1	1	42.3242	47.5982	48.3222	47.7165	5.9975	0.0183
2	3	39.5986	47.3418	45.464	47.254	5.8754	-0.0878
3	7	41.834	47.4088	46.167	47.3255	4.333	-0.0833
4	5	42.4399	47.7924	46.647	48.0595	4.2072	0.2671
5	9	42.610	48.916	46.721	49.259	4.111	0.443
6	8	43.613	48.453	47.689	48.080	4.0745	-0.393
7	10	43.592	48.862	47.647	48.0595	4.055	-0.8025
8	2	43.0528	47.859	46.992	47.7595	3.3392	-0.0995
9	6	42.0072	47.4636	45.284	47.186	3.2768	-0.2778
10	4	42.362	47.309	45.464	47.254	3.102	-0.055

6. 결론

패키지 에어컨(Package Air-conditioner)의 실내기 캐비닛으로부터 방사되는 소음의 정확한 분석을 위하여 음압 스펙트럼 및 음향인텐시티, 진동 스펙트럼 그리고 운행변형형상(ODS)를 측정하고 가시화하였다. 이러한 실험적 가시화를 통하여 소음원에 대한 정보를 주파수 영역 및 공간영역에서 체계적으로 파악 하였고 캐비닛의 고강성화를 통하여 캐비닛으로부터 방사되는 음압 중 120Hz 에 대한 성분을 5dB 정도 저감하는 효과를 확인하였다.

후기

본 연구는 위니아 만도(株) 지원으로 수행중인 “에어컨 실내기 구조물의 방사소음 예측 및 개선에 관한 연구” 결과의 일부이다.

참고 문헌

- (1) O.Dossing, “ Structure Stroboscopy - Measurement of Operational deflection shape”, B&K 1988, pp18~26
- (2) F.J Fahy, “ Sound Intensity”, 2nd E&FN SPON, 1995
- (3) 최 현 등, 2001, “에어컨 실내기 팬 모터용 방진 고무의 동특성 측정에 관한 연구”, 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 185~190.
- (4) 냉장고 저소음화에 관한 연구 - 1992, LNVC
- (5) 김장권 등, 1994, “ 에어컨의 소음저감을 위한 기술동향”, 한국소음진동공학회지 제 4 권 제 2 호 pp116~110