

음향파워 측정에 의한 에어컨 컴프레서의 차음 구조 결정

Selection of Sound Insulation Structure of Air-conditioner Compressor by Measurement of Sound Power

°이진교* · 김진섭* · 모진용* · 박득용* · 김봉준*

Jinkyoo Lee, Jinseop Kim, Jinyong Mo, Deugyong Park, Bongjun Kim

Key Words : Air-conditioner(에어컨), Compressor(컴프레서), Sound insulation /absorption material(흡차음재), Felt(펠트), Sound power(음향파워)

ABSTRACT

The compressor is one of major noise sources in air conditioner outdoor units, especially deteriorating the sound quality. Therefore, the sound insulation materials layered with sound absorption materials are applied around compressors. In this study, the performance of the sound insulators is examined by measuring the insertion losses in power base and the effects of sound absorption materials, method of application and the shape of the insulators are also investigated. The importance of minimizing the opening is revealed well.

1. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

가전제품에서 고객들의 소음에 대한 인식이 점차 증대됨에 따라, 제품의 개발 및 제조 시에 소음에 대한 품질을 확보하기 위해 다양한 방법을 강구하고 있다.

에어컨의 실외기 소음 발생원은 크게 2가지로, 유체 역학적 송풍소음(air-borne noise)과 냉매 압축 컴프레서에서 발생하는 소음과 진동이 공기 전달(air-borne noise)로 나타나는 것과 구조기인 소음 진동음(structure-borne noise)으로 나타나는 것으로 구분할 수 있다.⁽¹⁾

송풍소음은 제품에 따라 차이는 있으나 분리형

실외기의 경우 전체소음의 약 40~50 %를 차지하고 있으며 스펙트럼상 넓은 주파수 범위에서 고르게 퍼져 있는 광대역소음(broad band noise)이다.⁽¹⁾

로터리 컴프레서의 소음은 기계부의 불평형성, 윤활 부위의 마찰음, 모터의 자기력, 냉매의 압력 맥동, 밸브 시스템, 머플러 및 음향 공동의 공진 등에 의하여 넓은 주파수 대역에 걸친 다수의 이산 주파수 형태를 보인다. 이러한 컴프레서의 소음은 그 특성상 송풍소음에 비하여 음질이 불량하여 수치로 나타나는 소음 레벨에 대한 기여도는 50 % 이하인 경우에도 체감소음에 미치는 영향도가 커서 이에 대한 소음 저감이 요구되고 있다.⁽²⁾

이러한 소음 발생 원인을 근본적으로 규명하고 제거하는 것이 직접적이고 효과적이거나 제품의 성

* 삼성전자 시스템가전사업부 에어컨개발그룹

능에 미치는 영향, 제작상의 어려움 등으로 단기간에 개선하는데 제약이 많다. 따라서 대부분의 제품에서는 실외기 세트를 조립할 때 컴프레서를 둘러싸는 흡차음재를 장착하여 소음 레벨을 저감시키고 있다.

본 연구에서는 흡차음재를 장착하였을 때 컴프레서로부터 방사되는 음향 파워를 ISO 3745 규격⁽³⁾에 의하여 측정하고 그 결과를 비교하여 컴프레서의 흡차음재에 사용되는 재료의 재질과 효과적인 차음 구조를 선정하도록 하였다.

1.2 연구 방법 및 절차

실외기에서 컴프레서의 소음은 케이스를 진동시켜 전달되는 고체 전달 소음과 실외기 캐비닛 내부의 공간을 통과하는 공기 전달 소음의 형태로 외부로 방사된다. 컴프레서에서 방사되는 소음을 차단하여 실외기의 소음 레벨을 저감하기 위하여 대부분의 에어컨 실외기에서는 컴프레서 주위를 펠트(felt)나 폴리우레탄폼(Polyurethane foam)과 같은 흡음 재질과 PVC, EVA 등의 차음 재질이 2중 또는 3중으로 집착된 시트(sheet) 상의 부품으로 둘러싸고 있다. 제품에서 이러한 재질을 선정할 때에는 기본적으로 요구되는 흡음 특성과 차음 효과 이외에도 재료비, 화재시의 안전성과 같은 추가적인 요인을 심각하게 고려해야 한다. 또한 소음원이 되는 컴프레서는 고유의 소음 방사 특성을 갖고 있으므로 흡차음재의 형상과 장착 방법에 따라 같은 재질이라 하더라도 최종적인 차음 특성은 크게 달라지게 된다.

종전에는 이러한 흡차음재의 성능을 평가할 때 컴프레서 무향실에서 시험 대상 컴프레서를 운전하며 흡차음재 시료를 장착하고 각 제조사별로 지정된 위치와 거리에서 음압 레벨을 측정하여 그 결과를 비교하였으나 이 경우 소음 방사의 방향성이 고려되지 않기 때문에 정확한 평가를 할 수 없었다. 따라서 소음원으로부터 방사되는 소음 에너지를 전체적으로 측정하기 위하여 음향 파워 측정법을 이용하기로 하고, ISO 3745에 규정된 반무향실에서의 음향 파워 측정법에 의거하여 시험을 수행하였다. 규격에서 정해진 위치에 마이크로폰을 고정할 수 있는 반구형의 프레임을 제작하여 10 개의 위치에 마이크로폰을 설치하고 반구형의 중심 위치에 측정 대상인 로터리 컴프레서를

설치하고 흡차음재가 없을 때의 음향 파워를 측정하여 기준 값으로 설정한 뒤 6 종의 흡차음재를 로터리 컴프레서에 차례로 장착하면서 음향 파워를 측정하고 그 결과를 비교하여 가장 효과적인 흡차음 재질과 구조를 결정하는 것으로 하였다.

2. 본 론

2.1 로터리 컴프레서의 소음원과 전달 경로

로터리 컴프레서의 소음은 흡입, 압축, 토출의 냉매 압축과정의 반복에 의해 발생되며, 이러한 과정의 주기적 특성에 의해 펌핑 주파수의 하모닉스에 해당하는 소음 성분을 발생시키게 된다. 밸브 포트를 통한 압축 냉매의 난류성 유동은 광대역의 소음 성분을 발생시키고, 밸브 시트와 밸브 백커에 가해지는 임팩트 소음은 특정 대역에서 증폭된 소음을 야기한다. 압축기 내부에서 발생한 소음은 기계적 경로와 냉매가스 경로, 그리고 공기 전달 구조의 세가지 경로를 통해 외부로 전달되는데, 냉매가스를 통한 경로의 경우 캐비티 공진이 일어나게 될 때 소음이 크게 증폭되고 만약 셀의 구조 공진과 연성이 일어나면 그 주파수에서 상당한 소음이 발생할 수 있다. 기계적 경로에 대한 주파수 반응 특성은 공진 주파수 이하에서는 기계적 강성에 의해, 공진 주파수 이상의 주파수 범위에서는 시스템의 기계적 질량에 의해 지배되는 특성을 갖게 되며, 공진 주파수 대역에서는 상당히 증폭된 에너지 성분이 외부로 전달된다. 그러므로 압축기의 지지 및 배관 설계는 공진 주파수가 가진 주파수에 비해 훨씬 낮은 값을 갖도록 설계되어야 하며 그 경우 압축기는 질량 지배 영역에 해당하며, 연결부나 냉매 가스의 배관을 통하여 전달되는 소음을 상당히 감소시킬 수 있다. 케이스의 셀은 소음 전달의 중요한 경로가 되며, 외부로의 전달 특성은 소음원의 가진 특성 및 셀의 구조 특성에 의해 좌우된다. 따라서 셀의 고유 진동수가 가진 진동수와 가까이 있지 않도록 하는 것이 바람직하나 압축 과정의 하모닉 성분이 광대역에 분포하게 되므로 상당한 어려움이 있다.⁽²⁾

에어컨 실외기에서 사용하는 흡차음재는 이러한 셀로부터 방사되는 소음을 차단하기 위한 것으로

펠트(felt)나 폴리우레탄폼(Polyurethane foam)과 같은 흡음 재질과 PVC, EVA 등의 차음 재질이 2중 또는 3중으로 접착된 시트(sheet) 상의 부품을 대상이 되는 컴프레서의 형상에 맞도록 적당한 형상으로 재단하여 사용한다. 그러나 Reference xx에서와 같이 로터리 컴프레서는 모터와 펌프 위치에 의해 고유한 소음 방사 특성을 갖고 있어 방사되는 소음이 심한 부위를 확실하게 밀폐할 필요가 있다.

2.2 로터리 컴프레서의 음향 파워 측정

(1) ISO 3745에 의한 음향 파워 측정법

음향 파워 측정법에는 무향실 및 잔향실법과 음향 인텐시티를 이용한 방법 등 여러 가지 방법이 규정되어 있으나, 본 연구에서는 로터리 컴프레서에 적합하다고 생각되는 방법인 ISO 3745에 의한 측정법을 사용하였다. 본 장에서는 본 연구에서 실제로 시행된 음향 파워 측정 방법을 간략히 소개한다.

우선 로터리 컴프레서를 반무향실에 설치할 하여 기동을 한다. 그리고 마이크로폰을 ISO 3745 규정에 따른 반구형의 지그와 함께 Fig.1과 같이 설치하여 각 점에서의 음압레벨을 1/3 옥타브 밴드로 측정한다. 이를 바탕으로 반구형 측정면에서의 표면 음압 레벨(surface sound pressure level)을 다음 식으로 구할 수 있다.⁽³⁾

$$\bar{L}_p = 10 \log \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pi}} \right] \quad (1)$$

여기서 \bar{L}_p 는 표면 음압 레벨(the surface sound pressure level, in decibels. Reference: 20μPa)을 나타내며, L_{pi} 는 i 번째 측정점에서의 1/3 옥타브 밴드 음압 레벨을 나타낸다. 그리고 N 은 측정점의 개수를 나타내며, 본 실험의 경우에는 10의 값을 갖는다.

식 (1)과 같이 표면 음압 레벨이 구하여지면 다음의 식에 의하여 원하는 음향 파워 레벨을 구할 수 있다.⁽³⁾

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \log(S_1 / S_0) + C \quad (2)$$

여기서 L_w 는 음향 파워 레벨을 의미하며, \bar{L}_p 는

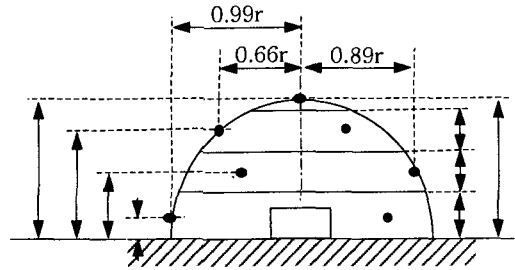
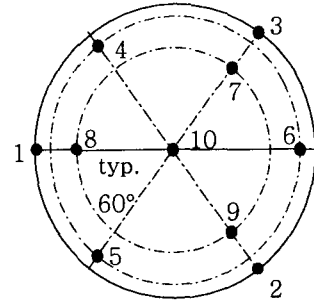


Fig. 1 Array microphone positions according to ISO-3745

앞에서 언급된 바와 같이 표면 음압 레벨을 의미한다.

또한 S_1 은 반지름 r 의 반구형 측정면의 표면적을 뜻하며, S_0 는 1m²의 값을 갖는다. 본 실험에서는 반구형 측정면의 반지름이 1m 이므로 S_1 의 값은 2π 이 된다. 그리고 식 (2)에서 C 는 주위의 온도와 압력에 대한 보정항으로서 다음과 같이 정의된다.

$$C = -10 \log \left[\left(\frac{293}{293 + \theta} \right)^{0.5} \times \frac{p}{1000} \right] \quad (3)$$

식 (3)에서 표현된 보정항 C 은 주위의 온도 θ 와 압력 p 이 각각 20℃와 1000mbar와 크게 다를 때 사용되며 본 시험에서는 압력의 경우 1000mbar의 값을 사용하였으며 온도는 27℃를 사용하였다.

(2) 실험 결과 및 고찰

앞 절에서 언급한 바와 같이 실험을 수행하였으며 실제 실험의 형상은 Fig. 2와 같다. 본 실험에서 비교 대상의 사용된 흡차음 구조는 A, B, C,

D, E, F 등 6가지이며 이를 컴프레서만 설치되었을 때의 음향 파워 레벨과 비교하였다. 사용된 재질들은 흡음재로서는 두께 3mm의 폴리에스터 계열 펠트(이하 Felt), 두께 10mm의 PAM 펠트, 두개의 펠트층 사이에 스크림이 삽입된 잡모 펠트(이하 scrim felt), 폴리우레탄 폼(이하 PU)이며 차음재로는 두께 2mm의 EVA 재질과 PVC 재질(비중 2)을 사용하였다. 각각의 흡차음 구조에 대한 설명은 Table. 1에 나타나 있으며 실제 사진은 Fig. 7~11에 나타내었다.



Fig. 2 Actual measurement set up

Table 1. Comparisons of components and shapes of each sound insulation structure

명칭	흡차음 구조의 구성요소
A	Felt+EVA+Felt의 3중 펠트로 컴프레서와 어큐뮬레이터를 동시에 감쌈.
B	A의 구조에 같은 재질로 두경을 뒀음.
C	A와 같은 재질로 컴프레서 본체만 감쌈.
D	일체형 구조(재질: PU+PVC)
E	일체형 구조(재질: scrim felt+PVC)
F	A와 같은 구조이나 재질은 PAM+EVA 재질을 사용.

측정된 음향 파워 레벨의 결과는 Fig. 3~6에 나타나 있다. Fig. 3~5는 1/3 옥타브 밴드로 나타낸 음향 파워 레벨을 비교한 것이며 Fig. 6는 전체 음향 파워 레벨의 비교를 나타낸 것이다.

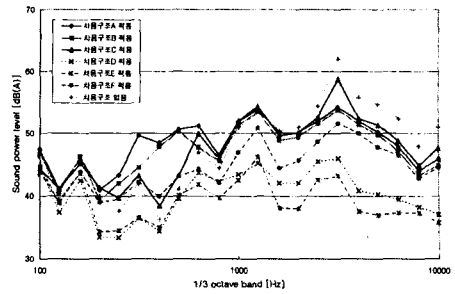


Fig. 3 Total comparison of sound power levels measured in 1/3 octave band

Fig. 3을 살펴보면 흡차음 구조 D와 E를 적용하였을 때가 다른 구조에 비하여 월등히 낮은 음향 파워 레벨을 보임을 알 수 있다. 이의 원인은 D와 E의 경우 차음 구조 자체가 다른 구조에 비하여 틈이 없이 잘 싸여진 구조인 것에 기인한다고 우선 판단할 수 있다. 다른 구조의 경우 컴프레서 윗 부분과 받침대 부분 등에서 비교적 넓은 틈이 존재하여 이를 통하여 상당한 양의 소음이 방사될 수 있다.

또한 주지하는 바와 같이 흡차음재의 흡차음 능력은 고주파수 대역으로 갈수록 커지며 이는 Fig. 3에서도 알 수 있다. 그러나 특이한 점은 컴프레서를 차음하지 않은 구조에 비하여 저주파수 영역에서 음향 파워 레벨이 오히려 상승하는 구조가 존재함을 알 수 있다.

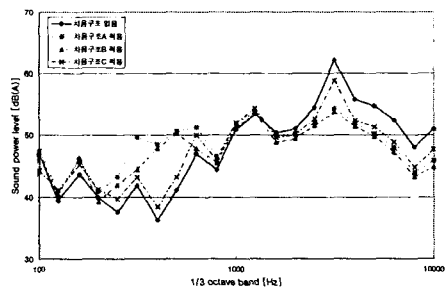


Fig. 4 Comparison of sound power levels of the cases; no insulation, A, B, and C

Fig. 4를 보면 위의 현상을 좀 더 명확히 볼 수 있다. A, B 구조의 경우가 특히 심하게 나타남을 볼 수 있는데, 이의 원인으로 다음을 들 수 있다.

A, B, C구조에 사용된 재질에서 흡음재인 Felt의 경우 압축펠트로서 타 흡음재에 비하여 비교적 딱딱한 재질이다. A, B 구조는 이러한 재질들이 컴프레서와 어큐레이터를 꼭 감싸고 있는 형상이다. 이로 인하여 컴프레서 본체의 진동과 컴프레서와 어큐레이터간의 진동이 흡차음재에 전달이 되어서 흡차음 구조가 또다른 방사체가 됨으로 인하여 발생하는 현상으로 파악된다. C의 경우 역시 흡차음재가 컴프레서 본체와 접촉을 하고 있으므로 A, B의 경우보다 정도는 낮으나 저주파수 영역에서 흡차음 구조가 없을 때보다 약간의 음향 파워 레벨의 상승을 볼 수 있다. 이를 회피하기 위하여서는 소음원인 컴프레서와 흡차음 구조 사이에 적절한 공기층을 두어야 함을 유추할 수 있다.

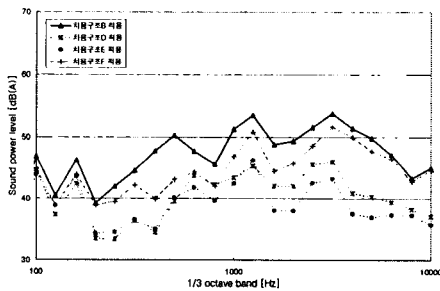


Fig. 5 Comparison of sound power levels of the cases; B, D, E, and F

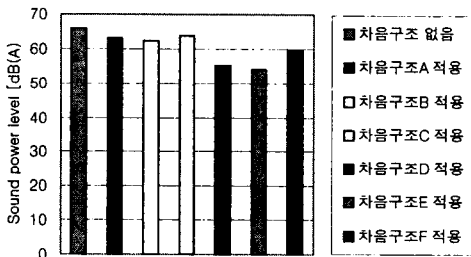


Fig. 6 Comparison of the total sound power levels

B, D, E, F 구조 적용시의 음향 파워 레벨의 비교는 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 D, E 구조 적용시의 음향 파워 레벨이 전 주파

수 영역에서 매우 낮은 값을 보인다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 D, E의 구조가 틈새를 최소화하는 형상으로 된 것에 기인하며 또한 컴프레서와 흡차음 구조 사이에 적절한 공기층이 존재하여 접촉을 회피하였다는 점도 그 원인이 된다.

또한 F 구조 적용시 같은 형상의 A, B 보다도 낮은 레벨을 보이는데 이는 우선 컴프레서와 흡차음 구조간의 접촉이 존재하기는 하나, PAM 펠트가 A, B, C 등에서 사용된 Felt보다 공기층을 많이 포함하는 부드러운 재질이어서 접촉으로 인한 진동 전달의 효과가 감소된 것에 그 원인이 있다고 판단된다. 또한 흡음 성능이 우수한 PAM 펠트로 인하여 흡차음 구조 내부에서 발생하는 음장의 강도가 약해지는데 기인한다고 볼 수 있다. 이는 같은 형상으로 된 D, E 구조에서도 흡음 성능이 좀 더 우수한 scrim felt를 사용한 E 구조가 PU를 사용한 D 구조보다 대체적으로 낮은 음향 파워 레벨 수치를 보이는 것에서도 근거를 찾을 수 있다. 또한 Fig. 6에서 보인 전체 음향 파워 레벨의 비교에서도 위에서 언급한 원인들의 효과를 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 6에서 알 수 있듯이, 차음 구조에서 틈새를 없앨수록 전체 음향 파워 레벨이 줄어들음을 확인할 수 있다.

3. 결론

ISO 3745의 규정에 따라 에어컨 컴프레서에 흡차음재가 없을 때와 6종의 흡차음재를 장착하였을 때의 음향 파워를 측정하고 그 결과를 비교한 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- 흡차음재를 컴프레서에 적용할 때 틈새가 없도록 하는 것이 차음면에서 중요하다. 틈새를 잘 막을수록 전체 음향 파워 레벨이 감소함을 확인할 수 있었다.
 - 또한 우수한 흡음 성능의 흡음재를 사용하여 흡차음 구조 내부에서 발생하는 음장의 강도를 줄이는 것 또한 차음면에 중요한 요소이다.
 - 이와 함께, 소음원인 컴프레서와 흡차음재 간의 접촉을 최대한 회피하여, 특히 저주파수 영역에서의 소음 상승을 원천적으로 막는 것이 또 다른 중요한 요소이다.
- 위의 결론과 실험 결과를 바탕으로, 본 논문에서

적용한 6가지 종류의 흡차음 구조 중에서 가장 우수한 성능의 구조는 E 구조임을 결론 지을 수 있다. 향후 과제로서는 실제로 화재시 안전성 문제와 재료비 등을 고려한 최적의 흡차음 재질의 선정과 좀 더 최적화된 차음 구조의 개발 등을 들 수 있다.

참고 문헌

- (1) "에어컨 실외기의 소음원 규명 및 소음저감", 1998, 한국소음진동공학회지, 제8권, 제6호, pp.1043~1052
- (2) "로터리 컴프레서의 소음 방사 예측 및 저감에 관한 연구", 1997, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소 산학파제 최종 보고서
- (3) "Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for anechoic and semi anechoic rooms", 1977, International Standard ISO 3745



Fig. 7 Shape of the case of No insulation



Fig. 8 Shape of the B structure



Fig. 9 Shape of the C structure

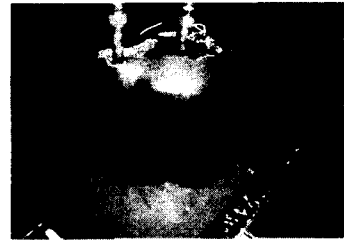


Fig. 10 Shape of the E structure

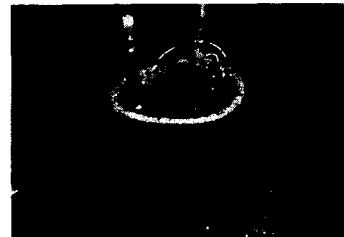


Fig. 11 Shape of the F structure