

구조 변경 기법을 이용한 로타리 컴프레서의 방사소음특성 분석 및 소음저감

Experimental Study on the Radiation Noise Characteristics and Noise Reduction of Rotary Compressor Using Structural Modification Technique

박상영 · 이상현(서울대 대학원) · 이장무(서울대 공대)
이수일 · 소순갑 · 이승갑 · 박윤서(삼성전자 생활시스템 연구소)

Abstract

In this paper, sound radiation of a rotary compressor used in room air-conditioner is investigated. structural eigenmodes are identified through modal test. Since accumulator is found important factor of sound radiation, damping material was added around accumulator to reduce sound radiation level of rotary compressor. As result, sound radiation was reduced to 3 dB.

Key Words : sound radiation(소음방사), noise reduction(소음감소), compressor(압축기), damping(감쇠), modal testing(모달실험)

1. 서 론

흔히 가정에서 사용되는 에어컨과 냉장고에 사용되는 압축기에 대한 연구는 오랜 기간동안 성능·효율향상 및 가공 기술면에 대한 연구가 수행되어져 왔다. 그러나 최근 소음 측면이 부각되면서 소음의 주원인인 압축기 소음 저감에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

압축기의 소음 저감을 위해서는 소음원과 소음 전달 경로에 대한 두 가지 연구가 병행되어야 한다. 이 때까지의 연구로 밝혀진 로타리 컴프레서의 소음원은 기계부의 불평형성, 윤활 부위의 마찰음, 모터의 자기력, 냉매의 압력 맥동, 밸브 시스템, 머플러 및 음향 공동의 공진 등이 있다. 이러한 소음원을 규명하고 제거하는 것이 직접적이고 효과적이거나, 압축기 내부를 변경하는 것은 제품의 성능과 밀접한 관계가 있어 제약이 많다. 또, 소음이 전달되는 경로로는 케이스를 진동시켜 전달되는 고체 전달 소음과 캐비티에 의한 케이스의 진동으로 전달되는 공기 전달 소음으로 나뉜다. 이 두가지 모두 케이스는 최종적으로 소음을 전달하는 작동기 역할을 하므로, 케이스에 대한 연구를 통해 효과적으로 소음 저감의 결과를 가져올 수 있다

먼저, 작동중 컴프레서의 방사 소음을 측정하여 문제 주파수 대역을 선정하였으며, 이 상태에서의 구조 진동을 측정하여 소음 특성과 비교 검토하였다. 이를 통해 문제 주파수에서의 구조 주 소음원을 규명하였다. 현상을 분석한 후 구조 모달 실험을 수행하여, 각 부분별로 구조 모드를 규명하였으며, 문제 주파수 대역에서 공진

이 일어나는 구조 모드를 규명하였다. 구조 변경 방안으로 이 구조 모드의 피크 크기를 줄이는 감쇠 부가 방안을 마련하였다. 감쇠를 부가한 후, 구조 주파수 응답 함수를 측정하여 변경 방안이 효과가 있음을 확인하였고, 실제 작동 상태에 적용한 후 방사 소음을 측정하여 변경 방안의 효과를 확인하였다.

2. 현상 분석

2.1 방사 소음 특성

실험 모델의 방사 소음의 주파수 특성 및 문제 주파수를 알아보기 위해 작동 사이클에 연결하여 동작 상태에서 방사 소음의 음압을 측정하였다. 실험 결과는 Fig.1과 Fig.2와 같이 측정 시간에 따라 서로 다른 주파수 특성을 보이고 있다. 이는 압축기의 가진원은 대부분 압축기 내부 모터의 회전에 의해 비롯되며, 주파수 특성은 이 회전수의 정수배이다. 실제 작동 중 냉매는 액체 상태와 기체 상태가 공존하는데, 이들 양은 작동 상태에 따라 수시로 달라지므로, 모터에 걸리는 부하가 상태에 따라 달라지게 된다. 즉 회전 주파수가 57 Hz에서 57.5 Hz로 0.5 Hz만큼 변화하였을 때, 2.3 kHz 대역은 40차 조화성분이므로 약 20 Hz 만큼 변하고 4.6 kHz 부근에서는 약 40 Hz 변한다. Fig.1에서는 2.3 kHz에서 가장 큰 음압 피크를 가지고 있고, Fig.2에서는 1.5 kHz 대역에서 큰 피크를 보이고 있다.

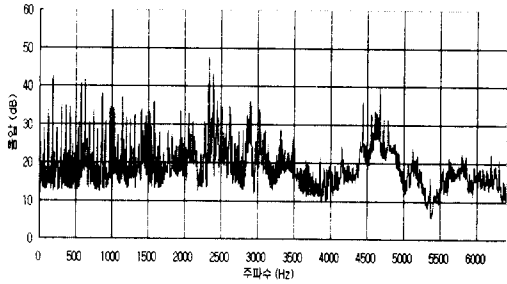


Fig.1 Radiation noise spectrum 1 of compressor in cycle

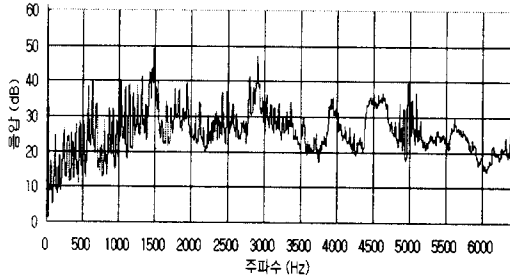


Fig.2 Radiation noise spectrum 2 of compressor in cycle

2.2 소음 · 진동 주파수의 상관 관계 분석

방사 소음 측정과 함께 각 구조 별로 구조 진동을 측정하여 주파수 특성을 비교하였다. 문제 주파수에서 기여도가 큰 구조 부위를 확인할 수 있다. Fig.3에 소음 스펙트럼과 어큐뮬레이터, 본체 셀 그리고 삼각 받침대의 구조 진동을 차례로 나타내었다. Fig.3에서 알 수 있듯이 어큐뮬레이터에서 2.3 kHz의 큰 구조 진동 피크를 가지고 있으며 이를 통해 어큐뮬레이터에서의 소음 방사가 주요함을 알 수 있다.

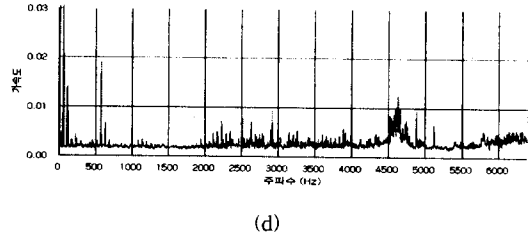
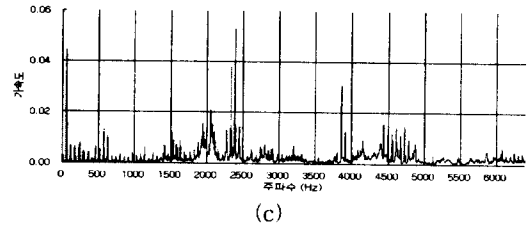


Fig.3 Comparison of radiation noise and vibration spectrum
(a) Sound spectrum (b) Acceleration of accumulator
(c) Acceleration of shell (d) Acceleration of base

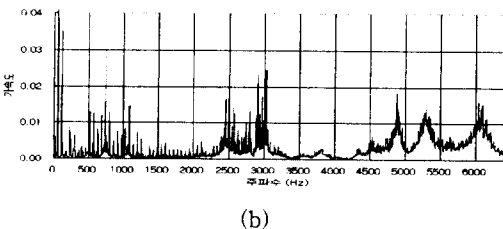
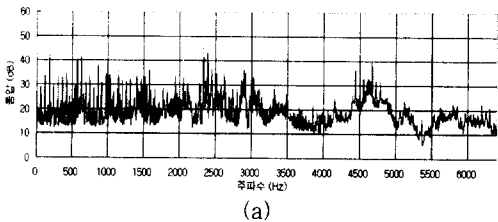
3. 동특성 분석

3.1 구조 동특성 분석

컴프레서 시스템의 구조 모드 실험을 수행하여 각 부분별로 고유 모드를 추출하였다. 가진기를 이용하였으며 자유단 상태에서 모드 실험을 수행하였다. 고유 진동수와 고유 모드 형상은 Table 1과 같다. 또, 문제 소음 주파수 1.5 kHz와 2.3 kHz 부근에서의 고유 모드 형상을 각각 Fig.4와 Fig.5에 나타내었다. 1.7 kHz는 어큐뮬레이터 하단부가 움직이는 병진 모드이고 2.3 kHz는 어큐뮬레이터 (3,1) 링모드이다.

Table 1. natural frequency and mode shape of compressor system (free condition)

고유 진동수 (Hz)	모드 형상	
	본체	어큐뮬레이터 삼각받침
1348		비틀림
1709		(0,1)
2119		(3,1)
2303		(3,1)
2359	(3,1)	
2557		굽힘
2773	(2,1)	
2885		(4,1)
2917		(4,1)
3312	(2,1)	(5,1)
3844	(2,2)	(5,1)
4651	(3,2)	(4,2)



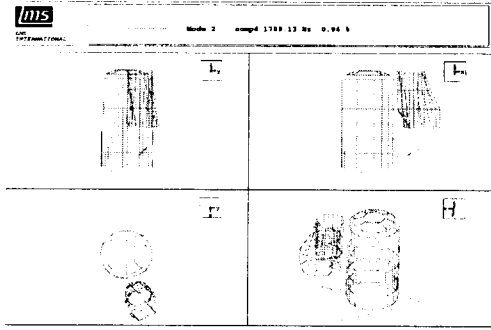


Fig.4 (0,1) mode shape of accumulator (1.7 kHz)

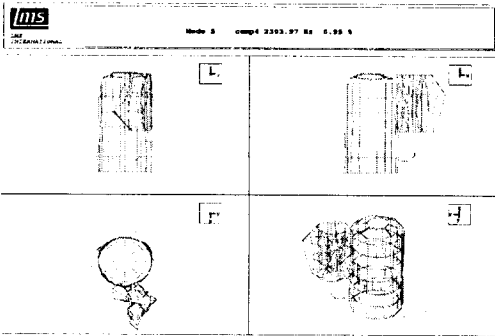


Fig.5 (3,1) mode shape of accumulator (2.3 kHz)

3.2 사이클 장착시 동특성 분석

실제 사이클 장착시에는 자유단 상태와는 다르다. 그러나, 본체 셸은 고온이고, 어큐물레이터는 저온으로 실험하기가 힘들므로 본체 셸과 어큐물레이터 둘레로 25개 점에 대하여 모드 실험을 수행하였다. 장착시에는 냉매 배관이 어큐물레이터와 본체에 연결되고 압축 냉매가 컴프레서 내부를 순환하여 액체 상태와 기체 상태로 공존하게 된다. 따라서 자유단 상태와 고유진동수가 다를 수 있다. 특히 1.7 kHz의 어큐물레이터 고유 모드는 배관이나 냉매의 부가 질량으로 인해 고유진동수의 변화가 있을 수 있는 모드형상을 가지고 있다. 실험 결과는 Table 2와 같다. 어큐물레이터 링 모드는 자유단 상태와 거의 같은 고유 진동수를 가지고 있으나, 어큐물레이터 하단부의 병진 모드는 1.7 kHz에서 1.5 kHz로 변화하였다. 이는 냉매 배관 및 액체 냉매의 부가 질량으로 인하여 고유진동수가 떨어졌음을 알 수

있다.

Table 2. natural frequency and mode shape of compressor system (cycle condition)

고유진동수 (Hz)	모드 형상	
	본체 셸	어큐물레이터
1069		(0,1)
1501		(0,1)
1863		(2,1)
2002		(2,1)
2223		(3,1)
2311		(3,1)
2358	(3,1)	
2917		(4,1)
2922		(4,1)
3161	(2,1)	
3222	(2,1)	
3930		(5,1)
3955		(5,1)

3.3 구조 고유 모드와 소음과의 상관 관계 분석

구조 고유 모드 실험 결과, 2.3 kHz의 소음 피크는 어큐물레이터의 (3,1) 모드의 공진에 의해서 소음 방사가 이루어짐을 알았다. 그리고, 1.5 kHz 대역의 소음 방사는 어큐물레이터의 병진 모드에 의해 소음 방사가 이루어 짐을 알았다.

4. 구조 변경

문제 소음 주파수에서 어큐물레이터의 구조 공진이 문제가 되고 있음을 알았다. 따라서 소음 감소를 위해 어큐물레이터의 구조 변경 방안을 제시하였다.

4.1 구조 변경 방안

가진력은 회전수의 하모닉 성분이고 회전수는 작동 중 부하의 변동으로 인해 변한다. 따라서 가진력의 주파수는 작동 상태에 따라 변하므로 문제가 되는 고유 모드를 가진력이 미치지 않는 주파수로 옮기는 방법은 효과가 없을 것으로 생각된다. 따라서 구조에 감쇠를 추가하여 공진 피크 크기를 낮추는 방안을 마련하였다. 2.3 kHz의 어큐물레이터 (3,1) 모드에 감쇠를 추가하기 위하여 Fig.6과 같이 어큐물레이터 둘레에 제진 밴드를 추가하여 감쇠를 추가하였다. 제진 밴드는 고무 밴드와 이를 감싸는 강철 밴드로 구성되어 있다. 감쇠 추가 효과를 알아보기 위해 어큐물레이터상의 한 점에서 주파수 응답 함수를 감쇠 추가 전과 후에 대해서

비교하였다. 실험 결과는 Fig.7과 같다. Fig.7에서 알 수 있듯이 어큐뮬레이터의 링모드 부근 구조 피크들의 크기가 부가된 댐핑의 영향으로 감소되었음을 알 수 있다.



Fig.6 Compressor surrounded with damping band

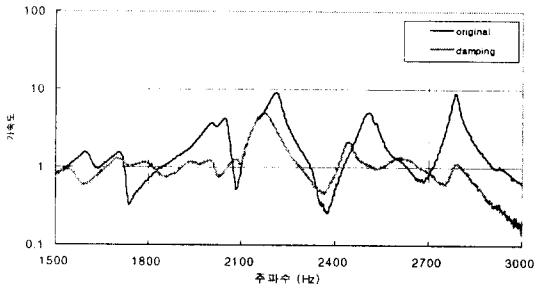


Fig.7 Comparison of structural FRF of accumulator before and after modification

4.2 구조 변경 방안의 적용

제진밴드를 부가한 모델을 실제 작동시 소음을 측정하여 변경 전과 변경 후의 음압 스펙트럼을 비교하였다. Fig.8은 협대역 스펙트럼이고, Fig.9는 1/3 옥타브 밴드 스펙트럼이다. 실험 결과 2.3 kHz 피크 기준에서 9 dB의 음압이 감소하였고 2.5 kHz 옥타브 밴드 기준에서 3.5 dB 감소하였다.

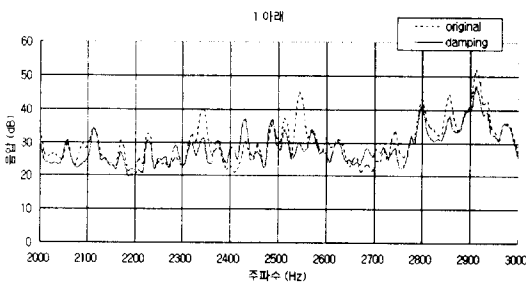


Fig.8 Sound spectrum of modified model (narrow band)

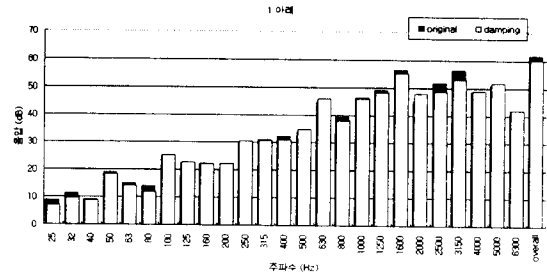


Fig.9 Sound spectrum of modified model (1/3 octave band)

5. 결론

작동 중 컴프레서의 방사 소음을 측정하여 문제 주파수 대역을 2.3 kHz로 선정하였으며, 이 상태에서 측정된 구조 진동과 소음 특성을 비교하여 이 주파수에서 어큐뮬레이터의 진동이 주소음원임을 확인하였다. 자유단 상태와 사이클 장착 가압 상태에서의 구조 모드 실험을 통하여 2.3 kHz에서 어큐뮬레이터의 (3,1) 모드가 있음을 알았다. 소음저감을 위한 구조 변경 방안으로 가진원의 주파수 특성을 고려하여 감쇠 부가 방안을 제안하였으며, 제안한 변경 방안을 구조 주파수 응답 함수를 통해 효과를 파악하고, 이를 실제 작동 상태에 적용하였다. 어큐뮬레이터에 제진 밴드 부가 결과 2.3 kHz의 협대역 소음이 9 dB 감소하였고, 2.5 kHz 1/3 옥타브 대역 기준으로는 3.5 dB 감소하였다.

참고 문헌

- [1] R.Nonaka, A.Suda, K.Matsumoto, "Noise Reduction on Inverter Driven Two-Cylinder Rotary Compressor", Int'l Comp. Eng. Conf. at Purdue, 1992, Vol. 2, pp. 341-350
- [2] S.J.Yang, A.J.Ellison, "Machinery Noise Measurement", Oxford Science Publications
- [3] 김병철, "냉장고 압축기 소음특성에 관한 연구", 서울대학교 공학석사 학위논문
- [4] 이장무, "모달 실험의 이론과 응용", 서울대학교 기계역학실험실