

# 압축기 셸의 방사소음에 관한 연구

## A Study on Noise Radiation of Compressor Shell

채 승 훈† · 황 원 굴\* · 오 일 권\* · 박 성 우\*\* · 류 기 오\*\*

Seung-Hoon Chae, Won-Gul Hwang, Il-Kwon Oh, Sung-Woo Park, Ki-O Ryu

**Key Words :** Reciprocating Compressor(왕복동 압축기), Noise Radiation(방사소음), Modal Testing(모드해석).

### ABSTRACT

The noise level of refrigerating units is becoming more important to the manufacturer and the user of the product. Invariably, the compressor is a significant contributor to the overall noise level. Especially a major portion of the noise radiated by the vibration of the compressor shell. This paper presents an approach to relate the dynamic characteristics of the compressor shell with the noise radiation properties and the methods of redesigning the compressor shell to reduce the noise radiation. To relate the dynamic characteristics of the compressor shell with the noise radiation properties, the vibration and radiated sound were measured with the running compressor. Based on the results of these tests correlations between the shell vibration characteristics and the noise radiation properties are identified. It was found that the vibration on the compressor shell and the noise radiated from the compressor were strongly correlated in certain frequency bands.

## 1. 서론

소비자들의 요구가 고급화되고 다양화 되면서 소음과 진동이 가전제품을 선택하는데 있어 중요한 척도가 되어가고 있다. 특히, 냉장고의 질적 향상에 있어 저소음화, 저진동화는 필수적이다. 하지만, 그 동안 많은 기술 발전에도 불구하고 여전히 냉장고 소음은 소비자들의 불만사항 중 하나로 나타나고 있다. 냉장고에서 가장 큰 소음원으로 압축기와 팬을 들 수 있다. 그 중에서도 압축기 소음의 경우, 소음에 기여하는 소음원과 소음의 전달경로는 매우 많고 복잡하게 결합되어 있으며 제품의 가공정도나 운전상태의 조건에 따라 변화가 크므로 어느 한 요소만의 연구로는 소음을 저감시키기에 어려운 점이 있다. 본 연구에서는 압축기의 소음/진동 저감을 위한 목표주파수대역을 설정하고, 압축기를 구성하는 각 요소의 진동 특성 및 운동 특성으로부터 각 주파수 대역에서의 소음을 유발하는 소음원/진동원을 규명하고 저감하고자 한다. 이런 연구를 통하여 압축기의 가장 중요한 소음원인 셸의 소음/진동원을 규명 할 수 있으며 이를 이용하여 압축기의 진동 방사소음 및 투과소음의 저감방안을 도출할 수 있다.

## 2. 모델 및 측정장치

### 2.1 압축기 소음원과 전달경로

압축기로부터 대기로 소음이 전달되는 과정은 압축기 본체가 음원이 되고, 이 본체에서 발생한

음은 셸내의 냉매로 전달되고 셸을 투과하여 대기로 방사된다. 또한, 본체에서 발생한 진동은 압축기의 각 부품을 공진시켜 공진음을 발생시키며, 토출관 및 스프링으로 전달되어 마지막 으로 압축기 셸을 통해 주위로 방사된다. 이 중 일차적인 소음원으로 실린더내의 압력맥동, 기계부의 불평형성, 윤활부위의 마찰음, 모터의 마그네틱 가진력을 생각 할 수있고, 이차적으로 흡입측과 토출측의 밸브시스템과 머플러, 캐비티 공진등을 생각할 수 있다. 또한, 마지막 전달과정인 압축기 셸의 진동 특성과 압축기 마운트계의 진동전달특성도 소음 특성에 기여하고 있다.

이상과 같이 소음의 전달경로는 본체의 진동-스프링-셸-지지부로의 고체전달과 펌프로부터의 냉매가스를 통하여 셸로부터 방사되는 공기 전달 소음으로 구분된다. 따라서 본체-스프링-셸계의 동역학적인 해석을 통하여 본체의 스프링지지 위치, 스프링 상수, 마운트 위치 등이 진동 절연에 적당하도록 선택하여야 한다.

### 2.2 물성치

압축기 셸 재료는 SHP2 steel 이나 재료의 가공으로 인해 탄성계수와 같은 재료의 물성치가 변할 수 있으므로 필요한 물성치를 직접 측정하는 것이 바람직하다. 셸 재료의 탄성계수 추정을 위해 셸의 소재로 외팔보를 만들어 고유진동수를 측정하여 다음 식에서 탄성계수를 역추적하였다.<sup>1)</sup>

$$E = \frac{\rho A l^4}{I} \left( \frac{2\pi f_n}{(\beta_n l)^2} \right)^2 \quad (2.1)$$

여기서,  $\beta_n l$ 은 상수값으로  $\beta_1 l = 1.875104$  이고,  $E$ 는 탄성계수,  $I$ 는 극관성모멘트,  $\rho$ 는 밀도,  $A$ 는 단면적,  $l$ 은 길이이다.

실험을 통하여 그림 2.1 과 같은 FRF 를 얻었으

† 전남대학교 기계시스템공학부 대학원  
E-mail : shnaya0179@naver.com  
Tel : (062) 530-0211, Fax : (062) 530-1689

\* 전남대학교 기계시스템 공학부

\*\* 삼성광주전자㈜

며, 1 차고유진동수를 (식 2.1)에 대입하여 탄성계수  $1.83 \times 10^8 \text{ kg/mm}^2$ 를 구하였다.

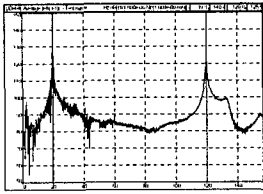


Fig. 2.1 FRF of cantilever

2.3 모드측정

모드 측정에는 임팩트 해머와 가속도계, charge 앰프, 그리고 FFT 분석기가 사용되었고, 임팩트 해머 팁은 고주파 범위까지 가진이 가능하도록 steel 팁을 사용하였다.

측정위치는 그림 2.2 에서 보는바와 같이 총 17 군데에서 측정하였다.

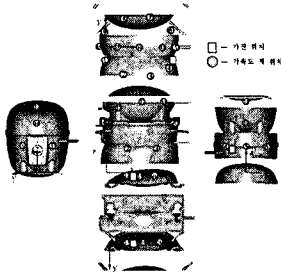


Fig. 2.2 Position of excitation and accelerometer

3. 압축기 셸의 모드해석

3.1 자유경계조건

압축기에서 발생하는 2kHz 이상의 고주파 소음은 압축기 셸의 공진모드에 해당되는 주파수영역으로서 압축기의 불균형힘, 마그네틱힘, 마찰력 등으로부터 야기되는 구조물 가진음과 압축기와 셸 사이에서 발생하는 캐비티 공진인 공기음으로 구분될 수 있다. 이 발생 소음들의 마지막 전달체인 압축기 셸의 근본적인 모드형태를 관찰하고 고유진동수를 알아보기 위해서 동특성 해석을 수행하였다. 또한 정확성을 검증하기 위해 모드측정을 수행한 후 공진주파수를 비교하였다. 표 3.1 에 FEM 해석과 모드측정을 비교하였다.

Table 3.1 Comparison natural frequencies at FEM analysis & Modal testing to free-free condition(Hz)

Mode	Modal testing	FEM analysis
1	2451.6	2457.4
2	2553.9	2673.4
3	2791.4	2785.3
4	2831.7	2834.8

5		3183.1
6	3241.7	3204.2
7		3302.7
8		3446.5
9	3509.1	3463.1
10	3614.6	3494.7

3.2 브라켓을 구속한 경우의 모드

실제 압축기는 브라켓 부분이 냉장고에 부착이 되어 셸을 구속시킨다. 그럴 경우 셸의 구조적 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위해 브라켓을 구속한 후 FEM 해석하였다. FEM 해석을 검증하기 위해 모드측정을 병행하였다. 표 3.2 에 FEM 해석과 Modal testing 을 비교하였다.

Table 3.2 Comparison natural frequencies at FEM analysis & Modal testing to clamped-free condition(Hz)

Mode	Modal testing	FEM analysis
1	2556.3	2544.5
2	2693.8	2656.9
3	2881.3	2905.7
4		2964.1
5		3245.2
6	3287.5	3301.5
7	3359.4	3305.0
8	3412.5	3464.8
9	3553.1	3507.9
10	3625.0	3706.9

3.3 기구부의 영향 및 운전조건에서의 모드측정

기구부가 설치되어있을 경우 셸에 미치는 영향을 확인하기 위해 기구부가 설치된 셸에 대해 모드측정을 하였다. 또한 윤활유 유무의 영향을 확인하기 위해 두 경우의 모드측정도 병행하였으며, 냉매의 압력값에 의해 셸의 구조적 특성을 확인하기 위해 실제 운전조건과 동일한 압축기 상태에서 FFT 실험을 하였다. 표 3.3 은 고유진동수를 나타낸 것이며, 기구부의 영향과 운전조건에서의 결과를 비교하였다.

Table 3.3 Comparison natural frequencies at Modal testing(Hz)

Mode	Shell+Suspension (free-free condition)	Shell+Suspension +Oil (free-free condition)	Shell+Suspension +Oil+Refrigerant (clamped-free condition)
1	2457.0	2204.7	2262.5
2	2559.4	2521.1	2462.5
3	2793.1	2781.4	2543.8
4	2843.2	2883.2	2684.4
5	2951.8		2962.5
6	3079.3	3074.1	3137.5
7	3201.6	3214.6	3284.4
8	3412.7	3421.6	3440.6
9	3503.1	3594.2	3628.1
10	3647.2		3790.6

## 4. 압축기 셸의 음향해석 및 측정

### 4.1 셸의 음향해석

압축기 셸에서 방사되는 소음의 특성을 파악하기 위해 SYSNOISE 를 이용하여 음향해석을 수행하였다.

근지역에서의 소음을 해석하기 위해 그림 4.1 과 같이 압축기 중심에서 30cm 떨어진 field point 설정하였고, 위치는 정면(C), 평면(A), 배면(D), 저면(B) 그리고 좌우측면(E, F)으로 6 군데를 선정하여 측정하였다. 그림 4.2 는 각 위치에서의 방사소음을 나타낸다.

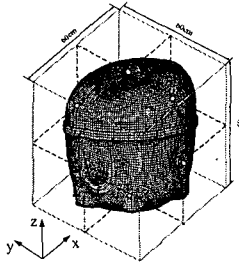


Fig 4.1 Measurement position for radiation noise of shell

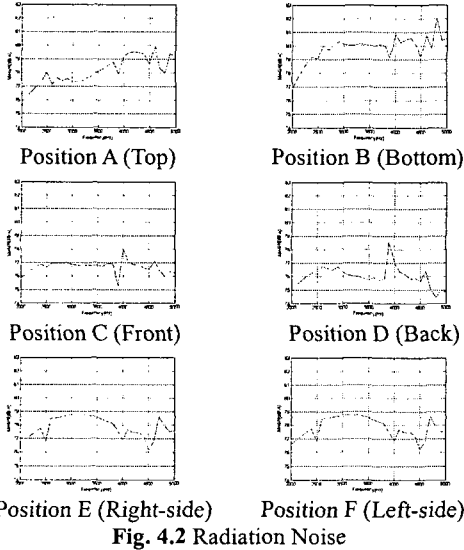


Fig. 4.2 Radiation Noise

모드형상과 방사소음과의 연관성을 확인하기 위해 SYSNOISE 에서 1 차모드의 형상과 방사소음 해석결과를 비교하여 그림 4.3 에 나타내었다.

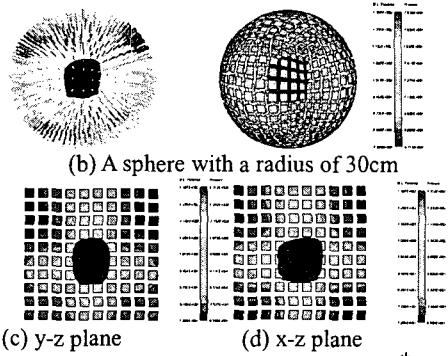
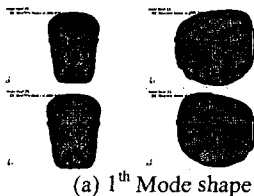


Fig. 4.3 Mode shape & radiation noise at 1<sup>th</sup> Mode

### 4.2 진동 및 방사소음 측정

실제 운전중 진동 및 방사소음을 측정하였다. 측정점은 피스톤 왕복운동의 직각방향으로 tube 반대부와 압축기 셸의 상하진동을 확인하기 위한 top 부분에서 진동과 방사소음을 동시에 측정하였다. 방사소음은 셸 외면으로부터 15cm, 압축기 높이 1/2 위치에서 1600RPM 부터 3800RPM 까지 50RPM 간격으로 측정하였다. 그림 4.4 는 RPM 에 따른 측면과 윗면에서의 소음과 진동의 크기를 나타내고, 그림 4.5 는 측정된 값을 sigma plot 를 이용하여 contour plot 을 나타낸 것으로 저주파수대(0 ~ 1000Hz)와 고주파수대(2000Hz ~ 5000Hz)의 방사소음 및 진동을 파악할 수 있다. 그림 4.6 과 그림 4.7 은 실험결과를 이용하여 side 방향과 top 방향에서의 방사소음 및 진동을 waterfall plot 으로 나타낸 것이다.

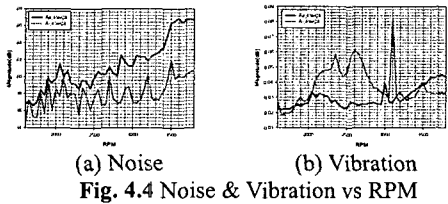
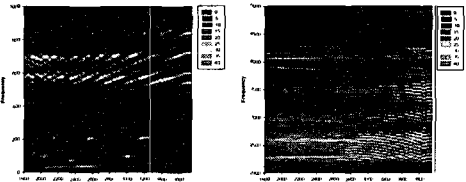


Fig. 4.4 Noise & Vibration vs RPM



Frequency Range : 0~1000Hz      2000~5000Hz  
(a) Radiation Noise at side position

