

## 로터리 컴프레서 셸 진동에 의한 소음 방사

### Noise Generation Of The Rotary Compressors From The Shell Vibration

왕 세명\* • 박 종찬\*\* • 황 인수•권 병하\*\*\*

Semyung Wang, \* Jongchan Park\*\*, Insoo Hwang, and Byoung-ha Kwon\*\*\*

#### ABSTRACT

Shell vibrations of the rotary compressor, which account for considerable portion of the noise from compressor, are caused by various sources. Among them is the vibration of the inner part or cylinder assembly, which undergoes severe compression process and rotational motion. But little researches have been carried out about the behavior and effect of the inner part because of its structural complexity. Furthermore, the shell of the rotary compressor is hermetic type that experimental approach is very difficult.

This research studied the structure-born noise of the Rotary compressor using FE analysis. The comparison between sound pressure spectrum and natural frequencies of the shell vibration implies that shell vibrations contribute significantly to the noise. It is found that inner part vibrations are responsible for those through the FE analysis.

Design modification of the inner part, which shifts the target frequencies, reduced overall noise level of the compressor.

#### 1. 서 론

컴프레서로부터 방사되는 소음은 고압 유체의 유동과 단속적인 압축행정에 따른 맥동, 기구적 공진 현상, 전기적인 가진 등 소음원이 복잡 다양하며 문제가 되는 주파수 영역 또한 넓게 분포하고 있기 때문에 소음 저감 대책을 세우기가 매우 어렵다. 따라서 냉장고나 에어컨 등의 주요한 소음원인 컴프레서의 소음 저감을 위해서는 소음 발생의 원인을 정확히 분석하고 그에 따른 소음 저감 대책을 수립하지 않으면 안 된다<sup>1</sup>. 그러나 로

터리 컴프레서는 구조가 복잡할 뿐 아니라 압축기 내부가 압축된 냉매의 유로가 되는 밀폐식이기 때문에 구조기인 소음에 대한 연구는 외부의 support plate, grommet, accumulator, 등에 한정되어왔다.

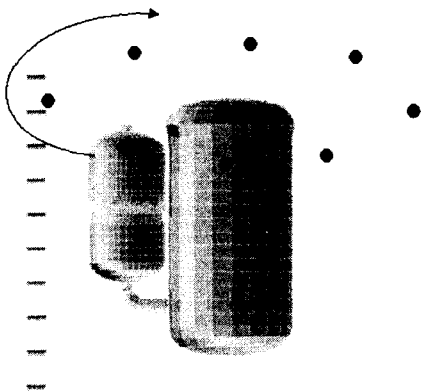
로터리 컴프레서의 구조기인 연구<sup>2</sup>는 컴프레서 셸 공진에 의한 소음 방사가 비중이 높다는 것을 보여 주었다. 따라서 본 연구에서는 구조적인 관점에서 컴프레서 shell 과 내부 기구부의 진동으로 파생된 소음을 분석하고 소음 원과 소음의 원의 전달 경로를 파악하여 설계변경을 통한 소음 저감을 위한 연구를 수행하였다.

\* 광주 과학기술원 정교수  
smwang@kjist.ac.kr  
(062) 970-2390, Fax : (062) 970-2429  
\*\* 광주과학기술원 박사과정  
\*\*\* Carrier Limited Korea

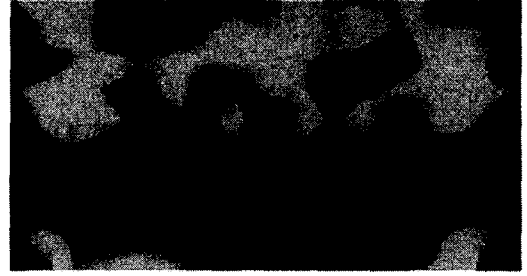
## 2. 셸 진동에 의한 소음 발생

로터리 컴프레서의 셸은 고압의 맥동 성분을 가지는 냉매의 압력용기이며 또한 냉매를 압축하는 전기부, 기구부를 지지하고 있다. 소음 측면에서 컴프레서 셸은 소음방사의 최종인자로서 grommet 과 pipe 계로 지지 되어 있다. 내부의 고압 조건과 기구부의 격심한 가진 원에 의한 컴프레서의 공진현상은 주로 저주파에서 Rigid body mode 와 고주파에서 Elastic mode 의 공진 모드로 인하여 컴프레서 소음의 주요한 소음 원이다<sup>3</sup>. 컴프레서 셸은 3mm 이상의 steel 이고 또한 내부에 stator 가 열 박음 되어 있기 때문에 셸 구조 자체의 강성은 상당히 높다. 그러나 컴프레서 셸과 세 점에서 용접 되어 있는 cylinder assembly 를 통한 가진은 컴프레서 셸에 대해 구조적 측면에서 주요한 소음 원이 될 수 있다

Fig.1 은 작동중인 컴프레서 주위의 원통면을 이루는 측정면에서 측정된 소음을 가시화 한 것 중 3kHz 대역의 값을 나타내 주고있다.



a. Compressor and array sensors



b. High density of sound pressure at the lower part

Fig.1 Sound Pressure at 3.6kHz around the compressor

Fig.1 에서 컴프레서 하단부 cylinder 높이에 떠 모양으로 나타난 높은 소음 값의 분포가 형성된 것을 볼 수 있다. 이러한 국부적인 소음 발생 현상은 컴프레서 하단의 셸의 국부적인 공진현상에 인한 것이다. 본 연구의 모달 실험과 유한요소 해석은 내부 기구부의 공진이 셸을 가진하는 것을 가시화 한다.

## 3.모달 실험과 유한요소해석

셸의 진동과 소음의 관계를 파악하기 위해서 컴프레서에 대한 모달 실험과 유한요소 모델이 구성되었다. 유한요소 모델을 통한 구조물의 해석은 구조물이 복잡해 질수록 신뢰성이 저하 된다. 따라서 구조물을 구성하는 단품들에 해석부터 단계적으로 완성품에 대한 해석을 수행하게 된다. 더욱이 단품의 거동에 대한 이해는 복잡한 구조물의 동적 거동에 대한 물리적 이해를 명확하게 해준다. 따라서 본 연구에서는 rotary compressor 를 이루는 부품들에 대한 구조해석을 단계적으로 수행하였다.

### 3. 1 Shell model

Shell 은 컴프레서로부터 방사되는 소음의 최종인자로써 내부에 cylinder assembly 와 stator 가 용접 되지 않은 상태에서는 600Hz 정도의 낮은 주파수에서부터 공진이 발생한다. 그러나 내부에 stator 의 열 박음과 cylinder assembly 의 열 박음으로 강성이 상당히 증가하여 full model 에 대한 모달 해석은 3.5kHz 대역에서 stator 하부의 공간부분에서 공진 현상을 일으키고 있다. Table. 1 은 cylinder assembly 와 stator 가 용접 되지 않은 셸에 대한 모달 실험결과와 유한요소 모델의 해석결과를 비교해 보여주는데 충분히 신뢰할 수 있는 모델임을 보여준다.

Table 1 Comparison of the normal mode analysis

Mode number	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>
FE analysis	616Hz	1712Hz	2465Hz	2813Hz
Modal test	635Hz	1742Hz	2464Hz	2731Hz

### 3.2 Shell stator model

컴프레서 assembly 에서 shell 은 stator 의 열 박음으로 강성이 상당히 증가 되는데, 다음에 주어 진 실험 결과는 stator 하부의 cavity 높이에서 수행되었다.

Fig.2 는 모달 실험결과와 유한요소해석모델의 mode shape 을 보여주는데, 4kHz 까지 유한 요소해석 모델이 실제 shell 의 거동을 잘 나타내주는 것을 보여준다.

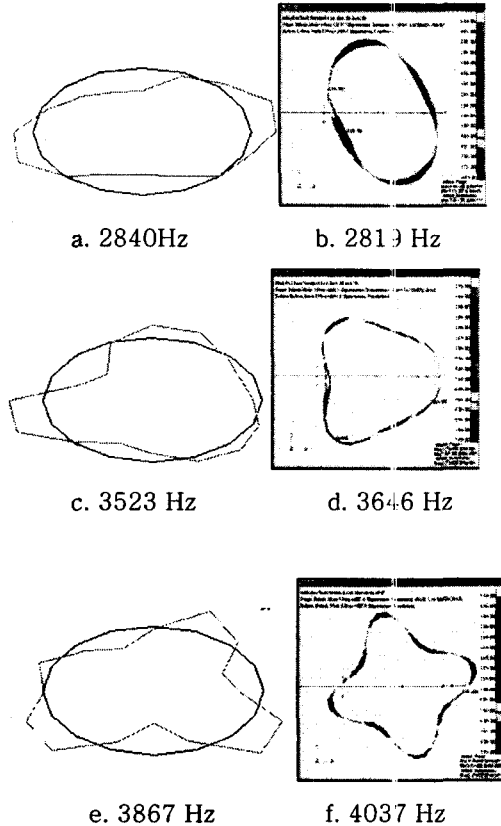
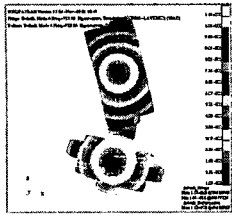


Fig. 2 Mode shape of shell and stator model

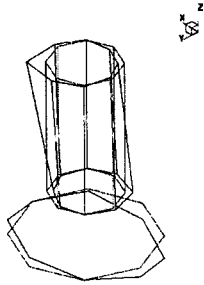
위의 그림은 셸의 단면의 mode shape 으로 일반적인 셸 구조물의 bending mode 를 보여주고 있다.

### 3.3 Shell cylinder block model

본 연구의 주제가 되는 shell 공진의 주요한 원인은 내부 cylinder assembly 의 mass effect 와 축계의 공진으로 인한 것으로 Fig.3 은 cylinder block 의 모델에 대한 해석과 실험결과로써 내부 기구부 즉, cylinder block 의 공진 현상을 보여주고 있다. 이러한 cylinder block 의 공진현상은 로터와 열 박음 되어 있는 축의 공진현상에 의한 것이다.



a. FE model



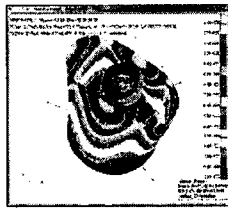
b. Experimental model

Fig. 3 FE model and experimental model of cylinder block

Fig.4 는 shell 에 용접 된 cylinder assembly 의 mode shape 을 비교하여 보여준다.



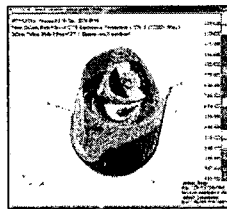
a. 867 Hz



b. 751 Hz



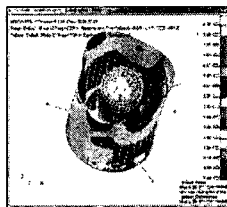
c. 1147 Hz



d. 1277 Hz



e. 1921 Hz



f. 2004 Hz

Fig. 4 mode shapes of the assembly

Fig.4 에서 d 와 f 는 셸의 elastic mode 이고 e 는 shaft 공진에 의한 rigid body mode 이다. 이러한 shaft 공진에 의한 모드는 Full model 에 대해서 rigid body mode 뿐만 아니라 셸의 elastic mode 를 일으키게 된다. 다음의 유한요소해석의 mode shape 분석은 내부기구부의 진동이 셸을 가진하는 것을 보여 줄 것이다.

### 3.4 Full model

Fig.5 는 실험을 위해서 shell 의 뚜껑을 절개한 컴프레서 model 에 대한 모달 실험결과로서 stator 하부의 cavity 높이의 shell 에서 가속도를 측정 한 실험결과 이다.

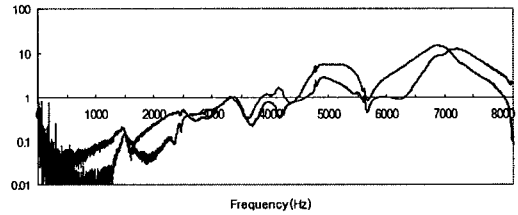
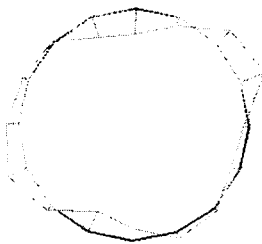
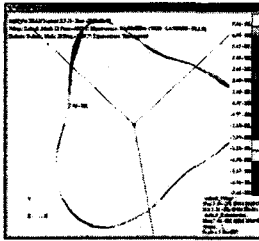


Fig. 5 Modal test result of the full model

Fig.6 은 shell 공진으로 인해서 소음 방사에 영향이 크다고 판단되는 3.5kHz 대역에 발생하는 공진 모드에 대해서 실험에서 구한 mode shape 과 해석의 결과를 shell 의 단면에서 비교하여 보여주는데 두 모델 모두에서 welding point 를 nodal point 로 하여 shell 의 공진모드가 나타남 을 보여 주고있다.



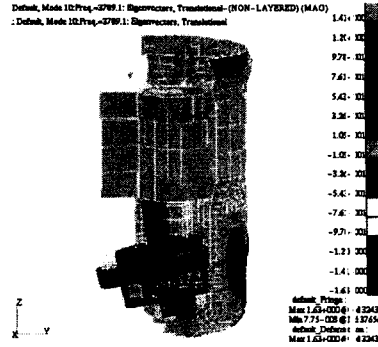
a. 3368Hz



b. 3512Hz

Fig.6 Mode shape of the shell at 3.3kHz and 3.5kHz

Fig.7-a 는 cylinder block 의 축계 공진으로 발생하는 셸의 rigid body motion 이고, Fig.7-b 는 cylinder block 의 공진에 의해 발생하는 셸의 bending mode 를 보여준다

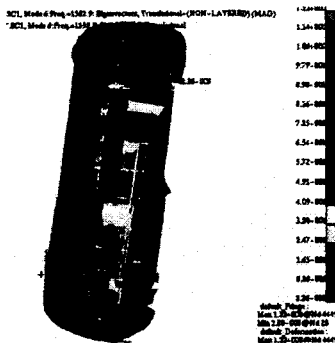


b. Elastic mode

Fig.7 Resonance at 1.5kHz and 3.5kHz

#### 4. 설계변경과 소음 저감

본 연구에서는 셸을 통한 소음발생을 줄이기 위해서 cylinder assembly 의 motor bearing hub 의 길이를 증가 시킨 시료를 제작하여 모달 실험과 소음실험을 수행하였다. Table. 2 는 hub 길이를 증가시킨 motor bearing 을 사용한 cylinder assembly 에 대한 유한 요소 해석결과로 축계 공진에 대한 강성을 증가시키기 위한 설계 변경이 오히려 강성을 저하시킨 것으로 나타났다. 이것은 hub 길이 증가에 의한 강성 증가보다 mass effect 가 더 크게 작용하기 때문이다.



a. Rigid body mode

Table 2 Numerical analysis for the modification

Mode number	Original	Modified	Shift
1 <sup>st</sup>	698 Hz	683 Hz	-16 Hz
2 <sup>nd</sup>	723 Hz	704 Hz	-19 Hz
3 <sup>rd</sup>	1974 Hz	1792 Hz	-186 Hz
4 <sup>th</sup>	2172 Hz	1975 Hz	-197 Hz

Table. 3 은 cylinder assembly 에 대한 모달 실험결과로 Table. 2 의 유한 요소해석 결과와 같은 경향을 보여 주고있다. 따라서 단순한 hub length 의 길이 증가는 cylinder block 의 공진 주파수를 고차로 shift 하는 데는 적합하지 않음을 알 수 있

다.

Table. 3 Experiment for the modification

Mode number	Powder		Cast	
	1 <sup>st</sup>	3 <sup>rd</sup>	1 <sup>st</sup>	3 <sup>rd</sup>
Original	664 Hz	2375 Hz	634 Hz	2160 Hz
Long Hub	627 Hz	2220 Hz	614 Hz	1950 Hz
shift	-37 Hz	-155 Hz	-20 Hz	-210 Hz

Fig.8 은 Cylinder assembly 의 주된 공진 현상인 shaft 변형에 의한 공진모드를 줄이기 위해 제안된 모델에 대한 소음 실험결과 이다. Rotor 를 지지하고 있는 Motor bearing 의 hub 부의 길이를 증가 시킨 이 모델의 소음 경향은 1.5kHz 와 3.5kHz 대역에서 소음이 저감 되는 것을 보여주고 있다.

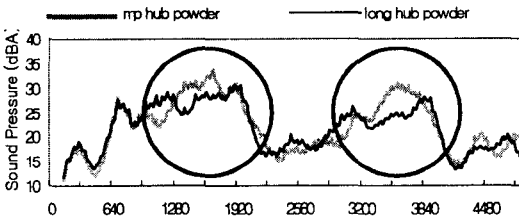
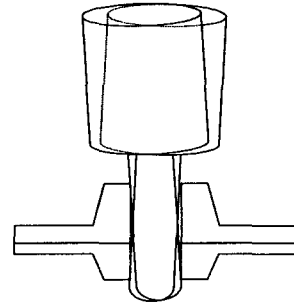
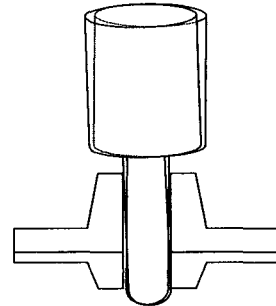


Fig. 8 Sound reduction for the modified motor bearing

Fig.8 의 소음 실험결과는 hub bearing 의 길이를 증가에 의한 shift 효과와 함께 Fig.9 에 나타난 것처럼 회전 운동에 대한 축계의 강성을 증가시킨 것으로 판단된다.



a. Original model



b. Extended hub model

Fig.9 Effect of the extended hub length

### 5. 결 론

컴프레서 방사소음의 가시화는 3.5kHz 의 주파수대역에서 컴프레서 shell 하단에서 국부적으로 높은 소음이 발생하고 있다는 것을 보여주었다. 본 연구에서는 구조적 측면에서 그 발생 원인을 연구하기 위하여 컴프레서의 내부 기구부를 포함하는 유한 요소 모델을 구성하였다. 구성된 모델에 대한 유한 요소해석은 overall 소음에 대하여 기여도가 높은 3.5kHz 대역에 존재하는 컴프레서 shell 의 공진 모드를 제시했다. 이 공진 모드는 내부의 cylinder assembly 의 공진이 용접 점을 통하여 shell 을 가진 시키는 것으로 밝혀 졌다. 따라서 본 연구에서는 3.5kHz 대역의 소음을 저감 시키기 위해서 모터 베어링의 hub 의 길이를 증가 시켜서 3.5kHz 대역에서 발생하는 cylinder assembly 의 공진 현상을 shift 시킴과 동시에 축계의

회전운동에 대한 강건성을 증가시키는 구조 변경을 제시 하였다.

Hub 의 길이를 증가 시킨 모터 베어링에 대한 유한 요소해석과 실험은 단순한 hub 의 길이 증가는 구조적으로 강성을 증가 시키는데 효과적이지 못하다는 것을 보여 주었다. 그러나 소음실험 결과는 hub 의 길이의 증가가 3.5kHz 대역의 소음을 저감 하였는데 이는 주파수 기피와 가진력 발생 억제 라는 효과때문 인 것으로 판단된다.

#### 후 기

이 연구는 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음

#### 참고문헌

1. G. M. Diehl, " Compressor Noise Control" , *Proceedings of the 1972 International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 60-63.
2. 왕 세명 외, " 로터리 컴프레서용 단상 유도 모터의 모델링 및 위상 최적설계" ,Carrier Project 최종 보고서, 광주과학기술원 지능형 시스템 설계 연구실, 2000
3. D. J. Ingalls, " Understanding Noise Radiation from a Hermitic compressor" , *Proceedings of the 1972 International Compressor Engineering Conference a Purdue*, pp. 69-73.
4. Choi, K. K., Shim, I., and Wang, S., "Design Sensitivity Analysis of Structure Induced Noise and Vibration," *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 119, pp. 173-179, 1997