

# 압축기\_마운트 시스템의 진동 전달경로 제어를 통한 냉장고 진동음 저감 A study on the vibroacoustic reduction of refrigerator by controlling the transmission path of comp\_mount system

김정선\*. Tran Ho Vinh Thuy\*. 국정환\*. 왕세명†. 이동현\*\*

Jungseon Kim, Tran Ho Vinh Thuy, Junghwan Kook, Semyung Wang and Donghyun Lee

**Key Words :** Transmission path(전달경로), Grommet(압축기용 Mount), Compressor(압축기), Vibroacoustic(진동음)

## ABSTRACT

In this paper, we present our method of controlling the transmission path of compressor vibration to reduce the vibroacoustic of refrigerator. Firstly, to reduce the vibroacoustic radiated from compressor \_ mount system, main transmission path was found experimentally and applied partial contact to transmission path to minimize the transmissibility from compressor operation to base plate. In order to verify our method, we designed changing of the connection part between grommet and base plate. Through experiment with modified connection part, we certificate experimentally the noise reduction of refrigerator. Finally, we apply previous connection part to grommet inner shape to enhance the effect of the system. From experimental results, we make certain the possibility of noise reduction of refrigerator through this approach.

## 1. 서론

최근 경제 성장에 따른 생활환경에 대한 관심도가 점차 증가함으로 인해 가전제품의 저 소음 및 저 진동에 대한 인식은 소비자들의 제품 선택에 있어 중요한 선택 조건이 되어가고 있다. 이에 따라 설계 단계에서부터 소음진동 관점의 설계가 추가로 필요하다. 그림 1 은 냉장고의 주요 소음원인 압축기의 복잡한 진동 전달경로를 보여주고 있다. 압축기 구동 부에서 발생된 회전력이 압축작용을 하면서 기계진동을 발생시켜 각각의 전달경로를 통해 압축기 셸, 베이스 플레이트, 파이프 등을 가진 하여 진동음을 발생시킨다. 이러한 압축기 기인 진동발생에 의한 진동음 저감 방안으로는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째로 압축기 내부 구동에서 발생하는 소음원인 모터의 밸런싱, 피스톤 왕복구조, 밸브 형상, 머플러 구조 등을 제어하는 방법이 있고, 두 번째는 진동음 발생현상을 규명하여 전달경로 제어를 통해 진동음을 제어할 수 있다. 본 연구에서는 쉽게 제품 개선이 가능한 전달경로 제어를 통한 진동음 저감을 위해 실험적인 연구 방법을 제시하고자 한다. 진동 전달경로제어 시, 제어에 따른 시스템 고유 주

파수 변화 발생으로 인한 압축기 구동 주파수와 공진 회피를 고려해야 하는데, 이점을 고려할 때 되도록 최적의 효과와 간편한 제어가 가능한 전달 요소 선정 및 제어를 위해서는 실험적인 방법을 통한 연구가 필요하다. 또한, 냉장고용 압축기 \_ 마운트 시스템과 같이 여러 개의 다양한 형상의 파이프 연결과 베이스 플레이트 \_ 마운트 체결조건과 같은 복잡한 경계조건을 가진 시스템을 해석을 통한 제어를 위해 정확한 유한 요소 모델을 확보하는 것이 매우 어려운 작업이다.

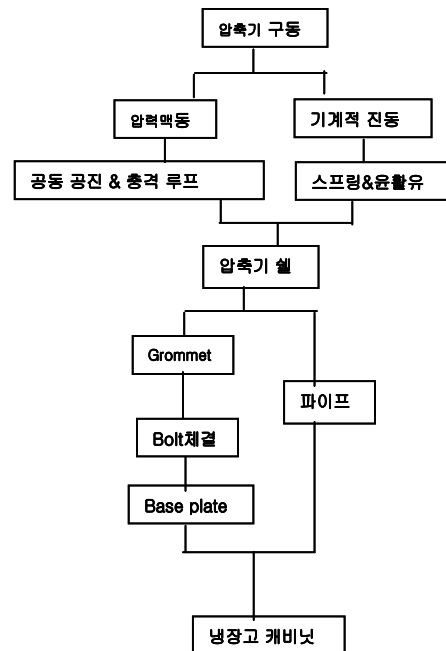


그림 1. 냉장고용 압축기의 진동 전달경로

† 광주과학기술원 기전공학과 교수

E-mail : smwang@gist.ac.kr

TEL : 82-62-970-2390, FAX : 82-62-970-2384

\* 광주과학기술원

\*\* 삼성전자(주) 냉기개발팀

본 논문의 2 장에서는 압축기 \_마운트 시스템의 진동전달 경로 중 볼트 제어를 통한 소음 진동 실험

험을 통해 주 전달 경로를 규명하고, 3 장에서는 진동음 저감을 위한 전달경로 제어를 위해 새로운 체결 구조물을 적용한 실험을 통해 그 효과를 규명하였으며, 진동음 저감이 가능한 체결 구조물 형상이 적용된 Grommet 을 제작하여 냉장고의 진동음 저감을 위한 방안을 제시하였다.

## 2. 압축기\_마운트 시스템의 진동 전달경로 규명

### 2.1 소음 진동 실험을 통한 압축기 진동음 규명

일반적으로 냉장고에서 발생하는 소음을 주파수 분석을 하면 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 1khz 미만의 모터 자기소음 또는 구조진동에 의한 소음 영역과 1khz 이상의 유체음 또는 압축 작업 시 발생하는 마찰음 영역 등으로 구분될 수 있다. 그림 (2)~(4)는 동일한 압축기 구동 RPM 에서 ISO 규정에 따른 전면 측정 점에서 12Khz 와 1khz 까지의 냉장고 소음 측정 결과와 압축기 가까운 지점의 베이스 플레이트의 진동 실험 결과이다. 그림 (2)~(4)를 보면 1khz 이하 영역에서 대부분의 소음 진동 성분들이 있음을 알 수 있으며, 이러한 성분들은 압축기 운전 주파수와 그 하모닉 성분임을 알 수 있다. 이러한 실험 결과를 통해, 압축기 주위에서 발생하는 소음과 전면에서의 소음은 대부분 압축기 진동에 의한 진동음인 것을 확인할 수 있으며 압축기 진동전달 최소화를 통한 진동음 저감에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다.

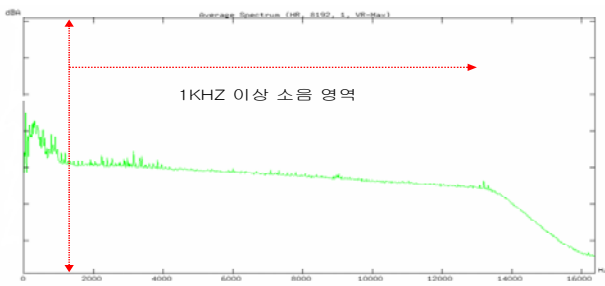


그림 2. 전면에서 12KHz 까지 냉장고 소음 그래프 (dBA)

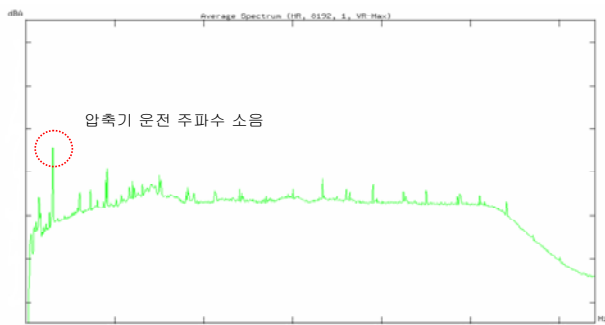


그림 3. 전면에서 1KHz 까지 냉장고 소음 그래프 (dBA)

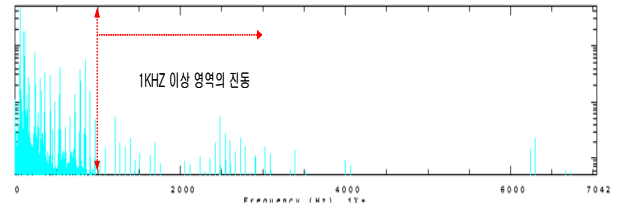


그림 4. 7KHz 까지 Base plate 진동 그래프

### 2.2 Bolt 와 Grommet 의 Contact 에 따른 진동음 변화 규명

압축기 진동의 전달경로는 4 점 지지된 4 개의 Grommet 을 통한 진동 전달과 파이프를 통한 진동 전달로 구분 되어진다. 본 논문에서는 다양한 형상의 파이프 시스템으로 인한 대표성 있는 시스템의 실험 데이터 확보가 불가능하여 Grommet 을 통해 전달되는 진동전달에 중점을 두었다. 압축기를 지지하는 Grommet 을 고정하기 위해 볼트를 이용하여 Base Plate 와 체결 되어진다. 이러한 체결로 인해, 볼트로 전달되는 진동에 의한 냉장고 진동음의 변화를 확인하고자 아래와 같은 볼트 조건을 적용하여 실험 하였다. 실험은 소음문제가 가장 심한 압축기 구동 상태에서 냉장고 전면소음실험을 수행하여, 그림(5)에 그 결과를 나타내었다.

Test 1 : 볼트 유무에 따른 소음 실험

Test 2 : 볼트 외경을 2mm 줄여서 소음 실험

Test 3 : 볼트 외경을 3mm 줄여서 소음 실험

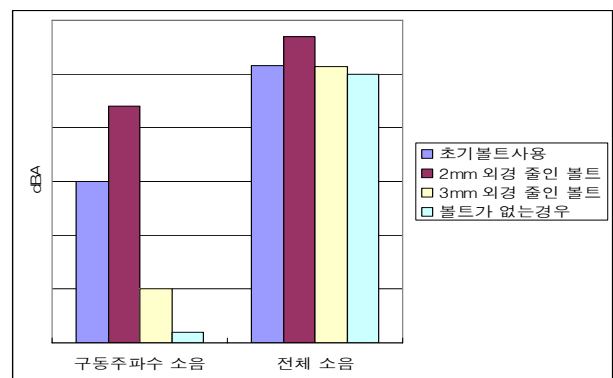


그림 5. 볼트와 Grommet 의 Contact 조건에 따른 소음

그림 (5)를 보면, 볼트 제거를 통해 압축기 진동 전달을 없앨 경우 진동음의 뚜렷한 감소를 확인할 수 있다. 하지만 2mm 외경을 줄인 볼트의 경우, 볼트와 Grommet 의 완전한 Contact 을 피했음에도 불구하고, 그림 (6)처럼 불완전한 장착에 의해 더욱 심각한 소음 문제를 발생 할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 진동음에 영향이 가장 큰 압축기 구

동주파수 소음이 급격히 감소함에도 불구하고 전체소음이 1dBA 이내 감소함은 볼트 구속조건이 사라진 압축기 진동의 진폭이 커져서 파이프 진동이 커짐으로 인한 결과라고 예측 할 수 있다.

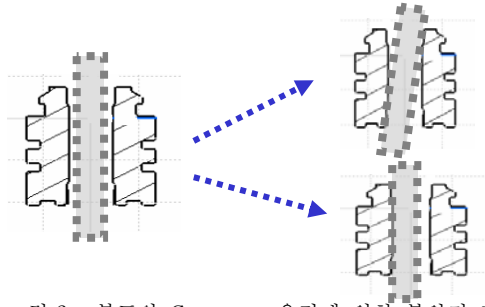


그림 6. 볼트와 Grommet 유격에 의한 불완전 장착특성

이러한 결과들을 통해, 볼트와 Grommet 의 Contact 면적 제어를 통한 진동전달 최소와 볼트와 Grommet 의 장착성을 고려한 전달경로 제어를 통해 진동음을 저감 시킬 수 있음을 확인하였다.

### 3. 진동음 저감을 위한 진동전달경로 제어

#### 3.1 볼트 장착성과 진동전달 최소화를 고려한

##### 새로운 볼트 체결구조물 적용

앞선 연구를 통해, 압축기로부터 기인된 진동 전달을 최소화 하기 위해서는 Grommet 과 Base Plate 를 연결하는 볼트와의 Full Contact 을 피하고, 이때 문제소음을 발생시키는 불완전 장착특성을 피하기 위한 새로운 볼트체결 구조물이 필요함을 알았다. 또한, 새로운 볼트 체결 구조물에 따른 시스템 공진 주파수의 변화로 인한 압축기 구동 주파수와와의 공진을 피하는 구조물 제안이 필요하므로 그림 (7)과 같은 볼트와 Base Plate 를 연결하는 구조물을 제작하였다.

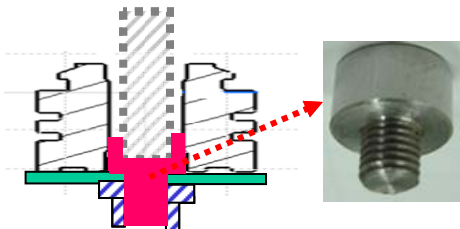


그림 7. 볼트와 Grommet 체결 구조물 제작

새로운 체결 구조물을 통해 볼트와 Grommet 의 접촉면적을 줄여 진동전달을 최소화 하고, 볼트와 Grommet 의 체결 위치를 고정시켜줌으로 해서 불완전한 장착을 피해 예상하지 못한 문제소음 발생

을 피할 수 있다. 그림 (8)은 제작한 체결 구조물의 접촉 면적을 변화를 통해 냉장고 압축기의 4 개 운전 모드에서의 소음 실험 결과 이며, Table (1)은 체결구조물 적용에 따른 시스템 공진 주파수 변화로 인해 압축기 구동 주파수와와의 공진 발생을 확인하기 위해 냉장고 Set 상태에서 압축기\_마운트 시스템 Modal Test 를 한 결과이다.

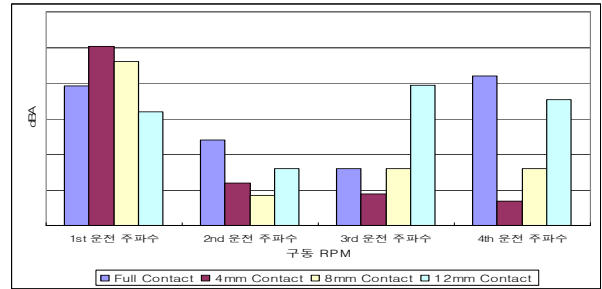


그림 8. 체결구조물 적용에 따른 압축기운전 주파수 소음

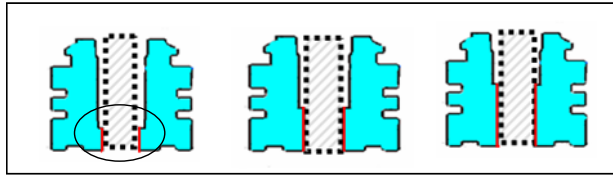
	Translation Mode			Rotation Mode		
	X 축	Y 축	Z 축	Yawing	Rolling	Pitching
4mm 접촉 구조물 적용 SET	14	18	33	? Hz,	68Hz,	74Hz
8mm 접촉 구조물 적용 SET	14	18	35	? Hz,	68Hz,	74 Hz
12mm 접촉 구조물 적용 SET	16	21	37	48 Hz,	69Hz,	74Hz
초기 냉장고 SET 상태	20	32	42	? Hz,	65Hz,	75Hz

Table 1. 체결구조물 적용에 따른 Modal Test 결과

그림 (8)과 Table (1)을 볼 때, 볼트 체결구조물을 적용하여 진동 전달경로 제어를 통해 압축기 구동 주파수 소음의 뚜렷한 감소를 확인할 수 있으며, 특정 운전 주파수에서 문제 소음 발생에 대한 원인을 Modal Test 를 통해 공진 발생 유무를 확인함으로써 알 수 있었다. 전체 소음 또한 약 2dBA 까지 감소함을 확인하였으며, 이러한 결과를 토대로 진동전달을 최소화 하며 압축기 운전 주파수와와의 공진을 피하는 단일 Grommet 형상의 필요성을 제시하여 제작 및 결과 검증을 진행하였다.

#### 3.2 체결 구조물형상을 적용한 Grommet 효과 검증

앞선 3.1 의 결과를 토대로 원가 절감 및 불완전한 장착성을 피하고 압축기 진동 전달을 최소화 할 수 있는 간편한 시스템 구성과 체결구조물 마모 가능성을 고려하여 체결 구조물 형상이 적용된 Grommet Sample 을 제작하여 실험 진행을 통해 진동음 저감을 확인하였다. Grommet Sample 은 그림 (9)와 같이 앞선 체결 구조물제작과 동일한 조건의 높이들로 제작하여 소음 및 Modal Test 를 진행하였다. 그림 (9)는 제작 Grommet 을 보여주고 있다.



높이 : 4 mm      높이 : 8 mm      높이 : 12 mm  
그림 9. 체결 구조물 형상이 적용된 Grommet Sample

그림 (10)와 Table (2)는 제작 Grommet 적용에 따른 효과 검증을 위한 냉장고 전면에서의 냉장고 압축기의 4 개 운전 모드에서의 소음실험과 압축기 운전주파수와와의 공진 발생 여부를 확인하기 위한 각 Grommet Sample 장착에 따른 Set 상태에서의 압축기\_마운트 시스템 Modal Test 결과를 보여주고 있다.

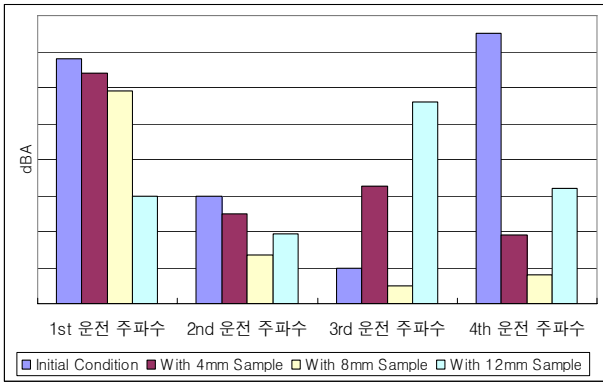


그림 10. 제작 Grommet 적용 시 압축기 운전주파수 소음

	Translation Mode			Rotation Mode		
	X 축	Y 축	Z 축	Yawing	Rolling	Pitching
4mm 접착 Grommet 적용 SET	13	18	30	47 Hz, 68Hz, 73Hz		
8mm 접착 Grommet 적용 SET	14	19	31	? Hz, 69Hz, 74 Hz		
12mm 접착 Grommet 적용 SET	16	21	32	47 Hz, 69Hz, 74Hz		

Table 2. 제작 Grommet 적용에 따른 Modal Test

그림 (10)와 Table (2)의 결과를 보면, 앞선 볼트 체결 구조물 적용시의 결과와 유사한 경향을 보였다. 압축기 운전 주파수에서의 소음이 뚜렷하게 감소하였으며, 전체 소음 또한 약 2dBA 정도 감소하였다. 또한 체결 구조물과 달리 고무에 의한 형상 대체로 인해 더 Soft한 시스템이 구성되어 공진 주파수가 낮아져 앞선 체결 구조물에서 발생한 1<sup>st</sup> 운전 주파수에서 발생하였던 공진으로 인한 문제 소음도 발생하지 않았다. 전반적으로 체결 구조물 적용경우와 비교 시, 원가절감과 좋은 장착성과 진동 전달을 최소화 시키며, 소음 저감 측면에서도 더 좋은 실험 결과를 볼 때 압축기로부터

기인된 냉장고 진동음 저감을 위한 방안으로 제시할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 냉장고의 진동음 저감을 위해, 압축기 운전으로 인한 대표적인 진동 전달경로인 Grommet 과 Base Plate 의 연결부가 압축기 운전으로 인한 대표적인 진동 전달 경로를 규명하고 제어를 통한 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- (1) 냉장고 소음 중 압축기 진동으로 인한 발생소음이 큰 부분을 차지함을 확인하였고, 압축기 진동 전달경로 제어를 통해 냉장고 진동음이 저감됨을 보였다.
- (2) 냉장고용 압축기 뿐만 아니라 다른 동적 구조물을 지탱하는 마운트 시스템 제어를 통한 소음진동 저감 연구 시, 연결 구조물로 전달되는 진동을 최소화 하기 위해 접촉 면적을 최적화 하고 불완전한 장착특성으로 인한 문제 소음 발생을 고려하며, 시스템 공진 회피를 고려한 제어방법을 제시하였다.
- (3) 복잡한 시스템의 정확한 유한요소 모델 확보의 어려움 발생 시, 진동 전달경로 제어를 통해 문제요소 규명을 위한 실험적 접근의 용이함을 보였다.

#### 후 기

본 연구는 삼성전자의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 아낌없는 지원을 해주신 연구원 분들께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

#### 참고문헌

- (1) D. J. Ewins, 2000, Modal Testing: Theory, Practice and Application, Research Studies Press Ltd., Hertfordshire.
- (2) 오재용, 1991, "냉장고의 소음진동 제어", 한국소음진동공학회지, 제 1 권, 제 2 호, pp.95~101
- (3) 유원희 등, 1996, "압축기소음과 냉장고소음의 관계 규명", 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 32~36.
- (4) Lawrence E. Kinsler, 2000, Fundamental of Acoustics, John Wiley & Sons Inc..