

Base Plate 연구를 통한 냉장고 진동 저감 방안 고찰

A study on the Base Plate to reduce vibration for Refrigerator

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

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

Key Words : Base Plate (베이스 플레이트), FEM (유한요소 법), Operating Deflection Shape (운전 중 변형형상), Optimal Design (최적설계), Modal Analysis(모드해석), Compressor(압축기), FDM (유한차분법)

ABSTRACT

In this paper, we present our method to reduce vibration of the base plate of a refrigerator by avoiding resonance between base plate and compressor operation. To verify the modes of the base plate, FE models of the base plate with free-free condition and applied boundary condition were built and validated by results from experimental modal analysis. Operating Deflection Shape analysis was applied to find the sensitive area on the base plate during compressor operation. In optimization process, Finite Difference Method - based sensitivity analysis is used to detect the most sensitive area. Finally, based on this numerical result, we will make beads on the base plate to reduce vibration of refrigerator.

1. 서론

최근 현대사회의 경제적 향상에 따른 생활환경에 대한 관심도가 점차 증가함으로 인해 가전제품의 저 소음 및 저 진동에 대한 인식은 소비자들의 제품 선택에 있어 더욱 중요한 조건으로 되어가고 있는 실정이다. 현대 생활에 필수 가전 제품인 냉장고의 경우, 주요 진동발생원으로는 크게 압축기 (compressor) 등의 기계구조물에 의한 진동 발생과 팬(fan)과 같은 유체유동에 의한 진동 발생으로 구별할 수 있다. 이 중에서 압축기 진동은 방진고무를 거쳐 기계실 내부의 베이스 플레이트로 전달되며, 이 진동은 냉장고 캐비닛으로 전달되어 진동음을 발생 한다. 그림 1 은 압축기로부터 기인된 진동 및 소음의 발생경로를 보여주고 있다. 그림 1 의 간접음의 원인인 압축기로부터 기인된 진동을 저감 시키기 위해서는 베이스 플레이트의 구조적인 설계가 필수적이다. 따라서 베이스 플레이트는 압축기와 응축기에 의한 하중을 충분히 견디는 동시에 압축기의 가진 주파수와 시스템의 공진을 회피하도록 설계 되어야 한다.

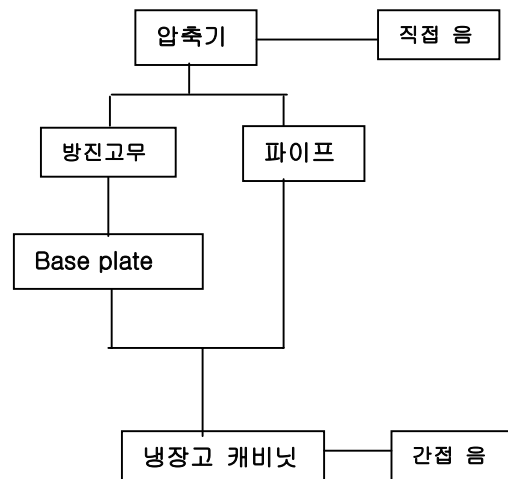


그림 1. 압축기의 진동 및 소음 발생 경로

본 논문의 2 장에서는 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 자유조건 하에서 Base Plate 의 동 특성을 규명하고, 해석 모델의 타당성을 검증하기 위해 실험적 모드 해석을 수행하였다. 또한 냉장고 SET 상태, 즉 실제 경계 조건을 고려하여 Base Plate 의 동 특성 규명을 위한 해석적, 실험적 모드해석을 진행하였다. 3 장에서는, 2 장에서의 결과로부터 Base Plate 의 변형 모드가 압축기의 가진 주파수와 공진 발생을 피하기 위한 최적 설계 기법 적용에 앞서 운전 중 변형 형상 (Operating Deflection Shape) 해석을 통해 압축기 구동에 의한 냉장고 SET 상태에서의 Base Plate 의 진동 발생이 지배적인 위치를 확인하기

† 광주과학기술원 기전공학과 교수

E-mail : smwang@gist.ac.kr

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

* 광주과학기술원

** 삼성전자(주) 냉기개발팀

위한 연구를 진행하였다. 4 장에서는 2, 3 장에서 연구한 결과를 바탕으로 실제 경계조건하의 Base Plate 의 문제 변형 모드를 이동시킴으로써 압축기 구동에 의한 시스템 공진 발생을 회피하고, 이로부터 냉장고의 진동 저감 및 냉장고의 안정적인 운전여건을 형성하기 위한 최적 설계 기법이 유한요소 해석모델에 적용되었다.

2. Base Plate 의 동 특성 규명 연구

2.1 자유 조건하의 Base Plate 의 모드 해석

Base Plate 의 동 특성을 규명하기 위해 상용 프로그램인 ANSYS 를 사용하여 자유 조건 상태에서의 유한요소해석을 통해 Base Plate 의 정규모드 해석을 수행 하였으며, 모델의 유한 요소해석 결과의 검증에 위해 Impact 가진에 의한 실험적 모드 해석을 수행하였다. 실험 시 자유 경계 조건을 만들기 위하여 Base Plate 를 스폰지 위에 올려놓고 실험을 수행하였다. Table 1 은 자유 경계 조건에서의 Base Plate 의 해석적, 실험적 모드 결과를 비교하여 보여주고 있다. 실험과 유한요소 해석에서 구한 고유진동수는 2,3 차 모드를 제외하고 2% 미만의 오차를 가지며, 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

Mode number	Analysis (Hz)	Experiment (Hz)	Error (%)
1	44.5	45	-1.1
2	175	156	10
3	200	177	11
4	218	220	0.9
5	271	271	0
6	382	375	1.8
7	474	478	0.8
8	578	577	0.1

Table 1. 실험 과 FEM 모드해석 결과 비교

2.2 실제 경계조건을 고려한 Base Plate 의 모드 해석

냉장고의 set 상태에서 베이스 플레이트의 유한요소모델을 확보하기 위해서는 2.1 절에 논의된 자유 경계 조건하의 FE 모델에 실제 경계 조건을 적용하여야 한다. 이를 위해 본 절에서는, 방진고무의 스프링 상수를 구하여 적용하고, 실제 압축

기와 동일한 질량의 구조물과 연결되도록 모델링 하였다. 또한, 나머지 연결구조에 대해 냉장고에 체결된 Base Plate 의 경계조건과 가장 유사한 경계조건을 적용하여 모드 해석을 수행하였다. 경계조건이 적용 된 상태에서 Base Plate 의 실험적 모드 해석을 위해 실제 냉장고를 약 30 cm 들어 올려 Base Plate 의 밑 면에서 Impact 테스트를 하였으며, 이때 세점에서 지지 된 냉장고의 바퀴 부분은 바닥조건과 유사한 강체 위에 지지 되도록 구성하였다. Table 2 는 실제 경계조건이 적용된 Base Plate 의 실험적, 해석적 모드 해석 결과를 비교하여 보여 주고 있다. Table 2 로부터 FEM 해석에서 구한 고유진동수와 실험에서 구한 고유진동수가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 한편 모드 해석결과로부터 SET 운전 주파수 범위 (약 33Hz~60Hz) 안에 첫번째 모드(43Hz)가 있는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터, 압축기가 운전 주파수 범위 안에서 가변적인 운전을 하므로 Base Plate 의 첫번째 모드와 공진이 발생하게 되면 냉장고 전체의 진동을 유발하여 시스템의 불안정한 운전여건이 형성됨을 예상 할 수 있다.

Mode number	Analysis (Hz)	Experiment (Hz)	Error (%)
1	43	43	0
2	93.3	87	-7.2
3	104	112	7.1
4	161	164	1.8
5	215.8	196	-9.6
6	229	263	-14
7	250.9	271	7.4
8	302	315	4.1
9	365	378	3.4
10	419	449	6.6

Table 2. 실험 과 FEM 모드해석 결과 비교

3. Base Plate 의 운전 중 변형 형상 (Operating Deflection Shape) 해석.

3.1 압축기 운전에 따른 Base Plate 의 변형 형상

2 장에서 연구한 Base Plate의 동 특성 규명으로부터 실제 경계조건이 적용된 냉장고 SET에서 Base Plate의 첫번째 모드가 냉장고 운전 주파수

범위 안에 있음을 확인할 수 있었으며, 이러한 Base Plate의 동 특성으로 인한 공진 발생에 의해 냉장고 전체의 진동 및 진동음 발생을 최소화하기 위해 1st (43hz) 모드를 운전 주파수 범위 밖으로 벗어나도록 하는 설계가 필요함을 확인할 수 있었다. 최적 설계 기법 적용에 앞서, Base Plate의 운전 중 변형형상 연구를 통해, Base Plate의 전체 중 압축기 운전에 따른 진동에 취약 부분을 확인할 수 있다. 우선, ODS 해석을 위해 Base Plate에 39 개의 노드 점을 명시하였으며, 운전 중 각 노드 위의 진동을 측정하기 위하여 냉장고를 약 30 cm 들어올려 Base Plate의 밑 면에 가속도계를 부착하여 실험을 진행하였고, 본 실험은 냉장고 운전 중 진동음 발생이 가장 큰 특정 구동 RPM에서 수행되었다. ODS 해석은 측정된 가속도 신호를 MScope를 사용하여 해석하였다. 그림 2 에서는 특정 RPM으로 압축기 운전에 따른 Base Plate의 변형 형상의 주파수 응답 함수를 보여주고 있다. 그래프에서와 같이 운전 주파수에 따른 하모닉 성분에서 Peak이 발생함을 알 수 있다. 그림 3 은 압축기 운전 주파수와 더불어 Peak이 큰 하모닉 성분에서의 Base Plate의 운전 중 변형 형상을 보여주고 있다. 이러한 결과들로부터, 압축기 운전에 따른 Base Plate에서의 운전 주파수 및 그 하모닉 주파수 성분에 대한 Base Plate의 진동 발생이 큰 영역에 대해 알 수 있으며, Base Plate의 강성을 높이기 위한 적절한 비드 설계를 통해 진동을 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

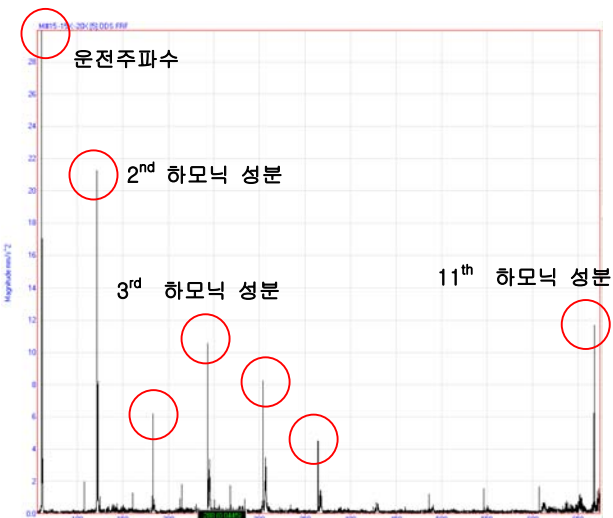
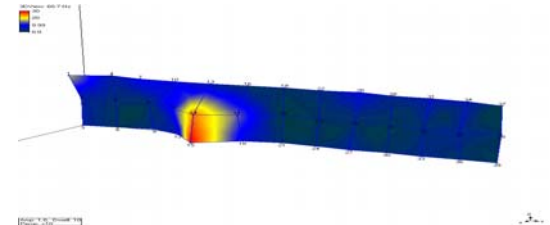


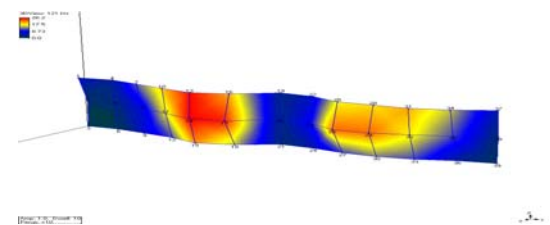
그림 2. 운전 중 Base Plate 의 주파수응답함수



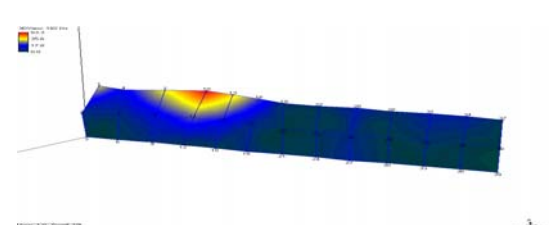
(a) 냉장고 기계실의 Base Plate



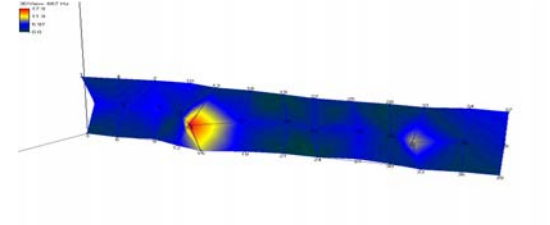
(b) 운전 주파수에서의 변형 형상



(c) 2nd 하모닉 주파수에서의 변형 형상



(d) 3rd 하모닉 주파수에서의 변형 형상



(e) 11th 하모닉 주파수에서의 변형 형상

그림 3. Base Plate 의 운전 중 변형 형상

4. Base Plate 에 최적 설계 기법 적용

4.1 두께 변화를 통한 설계 민감도 해석

앞선 연구를 통해, Base Plate 의 1 차 고유주파수와 냉장고의 운전주파수의 공진을 피하기 위해 Base Plate 의 고유주파수를 올리는 설계가 필요함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 설계 변수로 두께를 가지며, 1 차 고유주파수를 최대화 하는 최적설계를 실시하였다. 최적설계 알고리즘은 SLP (Sequential Linear Programming)를 사용하였고, 민감도 해석을 목적으로 유한차분법(FDM)이 특별히 사용되었다. 주어진 FE 모델의 Element 개수만큼의 설계변수를 선정할 경우 FDM 을 사용한 민감도 해석은 많은 시간이 요구되므로 설계변수를 그림 4 와 같이 12 개의 영역으로 나누어서 FDM 을 사용한 민감도 해석을 수행하였다. 설계 변수인 두께의 제약조건으로 $1\text{mm} < t < 3\text{mm}$ 을 주었으며, 초기 두께는 1mm 로 하였다.

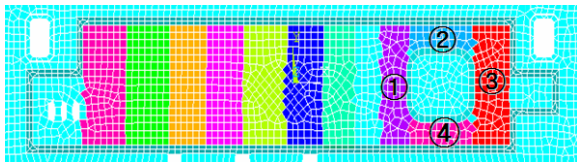


그림 4 Base Plate 최적 설계 영역

그림 4 는 Base Plate 의 최적설계 영역을 나타내고 있다. 해석결과, 그림 4 의 ①~④로 표시된 영역에서 3mm 의 두께가 집중분포하고 나머지 영역에서는 두께 변화가 거의 없었다. ①~④로 표시된 영역을 두께 변화에 따른 더욱 정확한 민감도 해석을 하기 위해서, 그림 5 와 같이 30 개의 작은 구역으로 나누어진 설계 변수를 새롭게 지정하고 최적설계기법을 적용하였다.

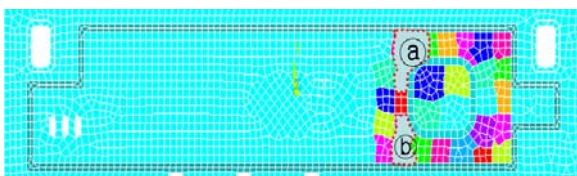


그림 5 Base Plate 최적 설계 부분 영역

결과로부터, 그림 5 의 ①와 ② 지역에 두께 분포가 집중적으로 이루어지며, 그 외의 지역에는 두께분포의 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 이를 토대로 Base plate 의 고유진동수를 올리기 위한

설계 영역으로 ①와 ② 지역을 포함하는 지역에 비드 설계는 압축기 운전 주파수와 공진을 회피하는데 사용될 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 통해 단지 두께를 제어해서는 Base Plate 의 고유주파수를 올리는데 한계가 있으므로 강성을 올릴 수 있는 비드 설계가 필요함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 냉장고의 진동 저감을 위해, 압축기 운전으로 인한 대표적인 진동 전달경로 중 하나인 Base Plate 에 대한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- (1) Base Plate 의 자유 경계조건 과 실제 경계조건을 적용하여 유한요소 해석과 실험적 모드해석을 통해, 압축기 운전 주파수와 Base Plate 의 모드가 공진 발생 가능성이 있음을 확인하였다.
- (2) Base Plate 의 운전 중 변형 형상 연구를 통해, 압축기 운전에 따른 Base Plate 의 진동 발생의 지배적인 위치를 파악할 수 있었다.
- (3) 최적 설계기법을 통해, Base Plate 의 고유주파수를 이동시키기 위한 민감한 영역을 해석적으로 도출하였고, 냉장고의 진동을 저감하고, 안정적인 운전여건을 형성 할 수 있는 방법을 제시하였다.

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) 오재응, 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) Klaus-Jurgen Bathe.,1996, Finite Element Procedures, Prentice-Hall Inc.
- (5) DOT Users Manual Version 4.20
- (6) ANSYS v9.0 User Manual