

# 에어컨의 구조 소음 저감을 위한 실내기 모터 브라켓의 설계

심현진<sup>†</sup> · 김성현\* · 강태호\*\* · 이정윤\*\*\* · 오재응\*\*\*\*

## The Design of the Motor Bracket for Reduction of Structure- Borne Noise in Package Air-Conditioner

Hyoun-Jin Sim, Seong-Hyeon Kim, Tae-Ho Kang, Jung-Yoon LEE and Jae-Eung Oh

**Key Words :** Air-conditioner(에어컨), Vibration(진동), Bracket(브라켓), DOE(실험계획), Orthogonal Array (직교배열표)

### Abstract

In recent years, the demand of a silent indoor air-conditioner is the essential research filed when the product is developed. In this study, through the design modification of the noise and vibration source, the noise and vibration level of the package air-conditioner is reduced. The modal analysis of the motor bracket is performed by FEM. To find the most suitable shape of the motor bracket, Design of Experiments is applied.

### 1. 서론

일반적으로 에어컨에서 발생하는 소음은 공기유동에 의하여 발생하는 유동 기인 소음(Air-borne noise)과 구조물의 진동에 의하여 발생하는 구조 기인 소음(Structure-borne noise)으로 분류할 수 있다. 특히 구조 기인 소음은 구조물의 공진, 기구 간섭 등 구조 진동에 의하여 발생되며, 유동 기인 소음보다 낮은 주파수 특성을 갖는다. 이러한 구조 진동의 낮은 주파수 특성으로 인하여, 흡음 및 차음 등의 일반적인 소음 제어 대책으로는 구조 기인 소음을 효과적으로 저감시키기 곤란하며, 궁극적으로 소음의 직접적인 원인이 되는 구조 진동을 제어하는 것이 소음 품질을 개선시킬 수 있는 방법이다. 에어컨의 소음 품질을 개선시키기 위해서는, 유동기인소음을 저감시키는 노력만으로는 한계가 있으며, 팬과 모터의 구조진동에 의하여 야기되는 구조 기인 소음을 제어하기 위한 연구가 필요하다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 가정에서 쾌적하고 편안한 냉방을 즐길 수 있도록 하기 위하여 에어컨의 소음 진동 품질의 문제점을 구조 기인 소음 제어 관점에서 연구를 진행하였다. 특히 본 연구에서는 제품의 설계 시 실험계획법을 적용하여 에어컨의 주 소음원인 모터 브라켓의 저 소음 저 진동 모델을 확립하는데 그 목적을 두고 있다.

본 연구에서는 에어컨의 주 소음원인 모터 브라켓에 대하여 진동 소음을 저감시킬 수 있는 가장 적합한 설계 안을 도출하고자 한다. 먼저 기존 브라켓 모델을 기반으로 해석 모델을 확립하고 실험을 통하여 실제 브라켓과 캐비닛의 경계 조건을 도출한다. 도출된 경계조건을 기반으로 새로운 모델에 조건을 적용하고, 새로운 모델에서 비드와 홀을 적용하여 다양한 모델을 도출하고, 특히 비드와 홀, 두께를 통한 각 모델을 제작 시 실험계획법을 적용하여 시뮬레이션 회수를 줄이고 가장 영향도가 큰 인자를 선정하였다. 이를 통하여 현재 제품보다 소음 진동 품질 면에서 향상된 설계 안을 마련하고자 하였다.

### 2. 실험계획법을 이용한 에어컨 모터 브라켓의 저소음 설계

<sup>†</sup> 한양대학교 자동차공학과  
E-mail : jiny9438@freechal.com  
TEL : (02)2294-8294 FAX : (02)2299-3153

\* 한양대학교 자동차공학과

\*\* 위니아 만도 기술연구부

\*\*\* 경기대학교 기계시스템디자인공학부

\*\*\*\* 한양대학교 기계공학부

## 2.1 에어컨 모터 브라켓의 모델링

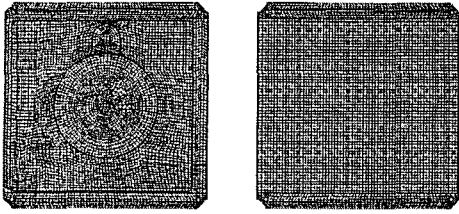


Fig. 1 FE model of motor bracket

본 해석에서 모터 브라켓에 사용된 요소는 각 노드점에서 6 자유도를 갖는 SHELL63 모델이며, 모터와 브라켓이 접촉되는 부분은 모터의 강체 거동을 고려하여 3차원 BEAM 요소인 BEAM4로 모델링하고, 모터는 정하중을 고려하여 MASS21 요소로 모델링 하였다. 유한 요소는 등방성, 등질성, 선형탄성으로 가정하였다.

## 2.2 에어컨 모터 브라켓의 모드해석 및 경계조건 추출

브라켓을 모델링한 후 모터의 하중(4.2kg)을 고려하여 해석을 진행하였다. 예응력(Pre-stress) 해석을 통하여 모달 해석 전 모터의 하중에 의해 브라켓이 받고 있는 정적 변형량을 고려하였다.

모터와 브라켓이 연결되는 부분은 강체 빔 요소로 모터로 가정한 질량체와 연결하였다. 여기서 질량체는 모터의 실제 하중을 입력하여 예응력 해석을 시행하고 이후 얻어진 각 브라켓 요소의 초기 변위를 가지고 모드 해석이 이루어진다.

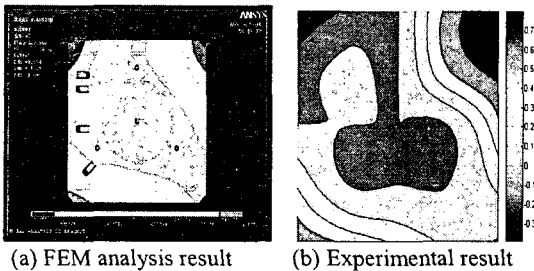


Fig. 2 Comparison of modal analysis using FEM and experimental results of bracket

모드 해석이 이루어지기 전에 경계 조건을 정하여 한다. 실제 에어컨에서 브라켓과 캐비닛이 연결되는 부분은 5 곳이 리벳으로 연결되어 있기 때문에 리벳 연결 부위를 모델링하기 위해서는 그 5 곳의 경계 조건을 추출하여야 한다. 5 곳의 경계 조건을 추출하기 위하여 리벳 연결부위의 노드 조

건을 6 자유도에 대하여 실험 계획법을 통하여 5 곳의 자유도를 변경하여 얻어진 해석 결과와 실험 결과를 비교하여 가장 일치하는 경계 조건을 추출하였다. 추출된 5 곳의 경계 조건을 새로운 모델에 적용하여 개선안을 도출하고자 한다.

위와 같은 방법을 통하여 브라켓의 실제 모델과 근접한 응답을 줄 수 있는 신뢰성 있는 해석 모델을 선정하여 모달 해석 결과를 실제 실험값과 비교하였다. Fig. 2 (a)는 실제 경계조건을 적용하여 FEM 를 통해 얻어진 모드 형상을 나타낸 것이고 (b)는 실험 결과로부터 얻은 모드 형상을 나타낸 것이다. 해석한 결과와 실제 실험 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다

## 2.3 에어컨 모터 브라켓의 개선안 모델링

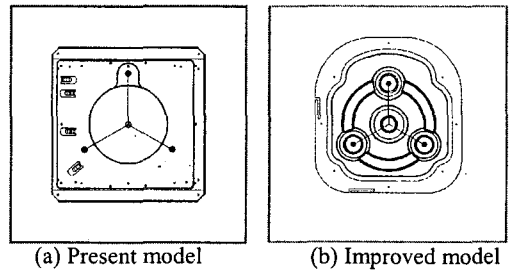


Fig. 3 Comparison of present model and improved Model

Fig. 3 은 현재 에어컨 실내기에 사용되는 모터 브라켓과 새롭게 개념 설계된 모터 브라켓 모델의 형상이다. 이전 모델에 비해 제조 원가를 절감할 수 있는 모델로 설계하였으며, 모터가 결합되는 부위는 비드를 넣어 강성을 보강하였다. 이전 모델과 같이 모터를 고려하여 모델링하였다. 이 제안된 모델에 대하여 실험 계획법을 이용하여 비드와 홀을 추가하여 모터의 하중을 고려한 모드 해석을 실시하였다.

## 2.4 실험계획법의 적용

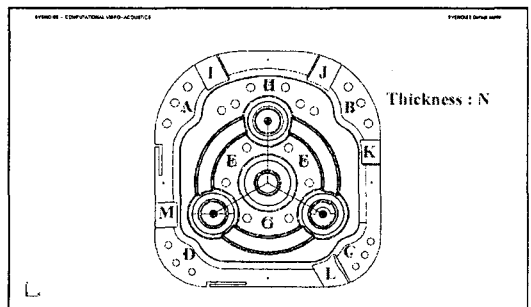


Fig. 4 Overview of motor bracket (factors)

Fig. 4 는 개선안으로 제시된 모델에 비드와 홀을 적용하여 모델링한 결과이다. 비드를 5 곳에 홀을 8 곳에 적용하였다. 여기서 실험계획법을 통하여 120Hz 가진 주파수에서 가장 먼 고유진동수를 갖고 있는 모델을 각 비드와 홀의 최적 조합으로 찾아내는 것이다.

여기서 각 인자는 다음과 같다. A 는 11 시 방향의 홀, B 는 1 시 방향의 홀, C 는 5 시 방향의 홀, D 는 7 시 방향의 홀, E 는 중앙의 11 시 방향의 홀, F 는 중앙의 1 시 방향의 홀, G 는 중앙의 6 시 방향의 홀, H 는 중앙의 12 시 방향의 홀, I 는 11 시 방향의 비드, J 는 1 시 방향의 비드, K 는 3 시 방향의 비드, L 은 5 시 방향의 비드, M 은 8 시 방향의 비드, 그리고 N 은 브라켓의 두께이다.

본 연구에서는 효율적인 개선안을 마련하기 위해서 실험계획법 중 직교배열표를 도입하였다. 모터 브라켓의 형상 변경 인자는 총 11 개의 변수로 모두 2 수준으로 나타내었다. 2 수준은 비드와 홀을 있을 경우와 없는 경우로 2 수준을 설정하였고, 두께는 1.0mm, 1.2mm 로 2 수준을 설정하였다. 이를 통하여 실험에 맞는 직교배열표는  $L_{16}(2^{15})$  를 선정하였다. Table 1 에서 수준 -1 은 비드나 홀이 없는 경우와 두께가 1.0mm 인 경우이고, 수준이 1 인 경우는 비드나 홀이 존재하고 두께가 1.2mm 인 경우이다.

Table 1 Table of orthogonal array  $L_{16}(2^{15})$

Exp. No	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
4	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
5	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1
7	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
8	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
9	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
10	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1
11	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
12	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
13	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
14	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
15	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
16	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1

직교배열표를 이용하여 인자와 수준에 맞게 모델을 수정하고, FEM 을 이용하여 모드 해석을 실시하였다. (모터의 하중을 고려하여 모드해석진행)

각 실험에 대한 특성치(고유진동수)를 얻어내고 이 특성치가 최소화하는 수준을 찾아낸다. 평균 분석을 통하여 인자의 수준의 최적 조합을 찾아내고, 직교 배열표상의 실험의 특성치와 비교하여 가장 우수한 실험값을 찾아낸다.

Table 2 Response Table for Means

Factor	Effect	
	-1	1
A	77.0293	76.0975
B	76.6216	76.5053
C	76.6271	76.4998
D	76.6101	76.5168
E	75.9424	77.1844
F	76.5755	76.5513
G	76.7061	76.4207
H	76.6118	76.5150
I	76.6647	76.4621
J	77.2671	75.8597
K	82.3834	70.7434
L	76.9417	76.1851
M	76.5893	76.5376
N	69.5095	83.6173

Table 2 는 망소 특성인 특성치에 대한 결과로 인자와 수준의 효과를 보여주고 있다. 위의 Table 2 를 통하여 각 인자 별 수준의 효과를 비교하여 인자, 수준의 최적 조합을 나타내면 다음과 같다.

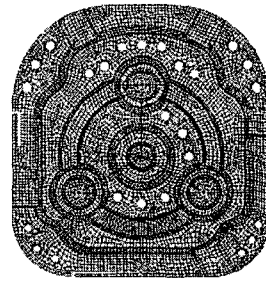


Fig. 5 Improved model using DOE

위에서 얻어진 인자의 수준의 최적 조합은 다음과 같다. E(중앙의 11 시 방향의 홀)는 홀을 제거하고, N(브라켓의 두께)는 1.0mm 로 선정하였다. (나머지 비드와 홀은 존재) 얻어진 최적의 수준 조합을 모델링하여 모드 해석을 실시하였다.

설계인자들의 최적 수준 조합하여 모드 해석한 결과 이전 모델의 125.5Hz 의 고유진동수에서 63.6 Hz 의 고유진동수로 변화하였다. 이는 가진 주파수 120Hz 에서 멀리 고유진동수가 존재하여 가진 시 초기 모델보다 진동 절연의 효과가 나타난다.

### 3. 에어컨 모터 브라켓 개선안의 검증

Fig.6 은 개선된 모델과 이전모델의 진동 전달을 관계를 보여준다. 개선된 모델의 전달율과 이전 모델을 비교해 봤을 때 브라켓의 형상 변경 후 모터에서의 진동이 모터 브라켓과 캐비닛으로 전달되면서 효과적으로 절연되고 있다.

## 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현재 모델에서 FEM 을 통하여 구조 해석을 수행하여 실험과 비교하여 캐비닛과 결합되는 부분의 경계조건을 추출하였으며, 소음 진동 측면에서 개선된 모델을 찾아내기 위하여 다양한 비드와 홀을 삽입하여 실험 계획법을 통하여 브라켓의 비드와 홀의 최적 조합 사양을 도출하였다. 그 결과 브라켓 형상 변경 후 이전 모델은 모터의 가진 주파수인 120Hz 에 근접하게 브라켓의 고유진동수 (125.5Hz)가 존재하여 이들 고유 진동수에 의한 공진의 가능성이 존재하였지만, 개선된 모델은 고유진동수가 보다 멀리 떨어진 63.6Hz 로써 이전 모델에 비하여 가진 주파수를 많이 회피하여 보다 공진의 가능성을 저감시켰다.

5. 구조 해석을 수행하여 최종적으로 도출된 개선안을 실제 제작하여 진동 전달량과 음압에 대하여 실험한 결과 진동 전달량은 Fig.6 와 같이 효과적으로 절연되고 있으며 음압 측정 결과 120Hz 에서 기존 제품 대비 4.7dB(A)의 소음저감 효과를 확인하였다.

## 후기

본 연구는 위니아 만도(株)의 “에어컨 실내기 구조물의 방사소음 예측 및 개선에 관한 연구” 로써 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- (1) F.J.Fahy, 1989, “Sound intensity”, 2nd E&FN SPON.
- (2) Frank J.Fahy, 1977, “Measurement of acoustic intensity using the cross-spectral density of two microphone signals”, JASA, Vol.62, pp1057~1059.
- (3) T.J.Schultz, 1975, “Measurement of acoustic intensity in reactive sound field”, JASA, Vol. 57, pp.1263-1268.
- (4) Pavic,G, 1977, “Measurement of sound intensity”, JSV,51, pp533~546
- (5) Chung,J.Y, 1978, “Cross-spectral method of measuring acoustic intensity without error caused by instrument phase mismatch”, JASA., Vol. 64, pp1613-1616.
- (6) Adin Mann,J, 1987, “Instantaneous and time-averaged energy transfer in acoustic fields”, JASA, Vol 82, pp17-30.

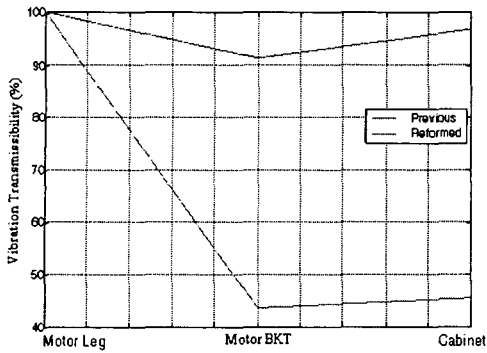


Fig. 6 Vibration transmissibility ratio at 120Hz

Fig.7 과 Fig.8 은 개선 전후 에어컨의 소음을 무실에서 측정된 결과이다. Table 3 은 개선 전후의 결과를 비교한 것이다. 측정결과 120Hz 에서 4.7dB 로 소음 저감 효과를 보이고 있다. 이는 초기 모델에서 나타나던 120Hz 의 높은 소음을 효과적으로 제어한 것으로 고찰된다.

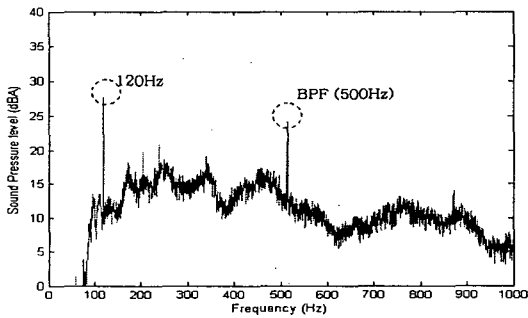


Fig. 7 Sound pressure level of the present model

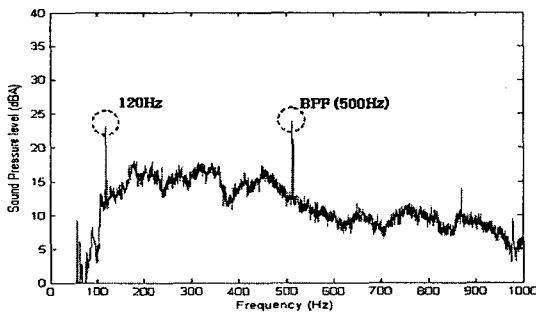


Fig. 8 Sound pressure level of the improved model

Table 3 Sound pressure level

	120Hz
Present Model	27.7 dB(A)
Improved model	23.0 dB(A)
Difference	4.7 dB(A)