

에어컨 압축기 진동전달률 개선을 위한 그로메트 연구

A Study of Improving Transmissibility for Grommets in Air conditioner Compressor

박홍을* · 이재권** · 모진용** · 박득용** · 한형석**

Hongul Park, Jaikwon Lee, Jinyong Mo, Deugyong Park and Hyungsuk Han

Key Words : NR(Natural Rubber), BR(Butadiene Rubber), EPR(Ethylene+ Propylene), EPDM(EPR+ Diene)

ABSTRACT

This paper studies the designing method and application for grommets, rubber material used to absorb vibration on the air conditioner compressor. The existing grommet with hardness 40 degrees, EPDM, has the high transmissibility on the compressor that causes additional structure born sound. The problem for EPDM is transformation over long time usage possibly due to its design in which stress is concentrated on a certain position. In order to resolve it, silicon material was previously used with the same design in some models. The vibration performance did improve, but the cost became high. Below are the major developments regarding improvements in compressor rubber material, vibration performance and durability through design change, and new grommet to attain cost reduction.

- 1 The optimum grommet design for stress even distribution through FEM methods
2. Comparison for grommet material and design for improved transmissibility
3. Assess for grommets durability and product applications

1. 서 론

에어컨 실외기에 사용하는 압축기는 실외 소음과 진동을 유발하는 매개체로서 이에 대한 소음 진동 저감에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 건물 옥상에 용량이 큰 실외기를 설치 할 경우 압축기 진동에 의한 이차적인 소음 유발의 원인을 제공한다. 본 연구는 에어컨 압축기 방진고무인 그로메트 설계 방법 및 적용에 관한 것이다. 기존의 사용되었던 그로메트는 재질이 EPDM의 경도 45도 재질로 진동 전달률 떨어져 압축기 진동이 세트를 가진하여 부가적인 진동음이 발생하고, 응력이 집중되는 형상으로

설계되어 있어서 장기간 사용시 변형이 되는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 일부 모델에서는 기존과 동일한 형상의 실리콘 소재의 그로메트를 사용하였는데, 진동은 개선되지만 원가가 올라가는 문제가 있다.

압축기 방진고무의 재질 개선 및 형상 변경을 통해서 진동 성능 및 내구성을 확보하고, 원가 절감을 달성하는 신규 그로메트 개발에 관한 것으로 주요 개발 내용은 다음과 같다.

- 1) 해석을 통한 그로메트 형상의 응력 분포 설계 최적화.
- 2) 방진고무의 전달률 개선을 위한 그로메트 재질별 형상별 비교 평가.
- 3) 방진고무 내구성 평가 및 제품 적용 평가.

* 삼성전자 주식회사 공조개발팀

hongul.park@samsung.com

Tel: 031-200-2265

** 삼성전자 주식회사 공조개발팀

2. 에어컨 압축기 진동 개요

에어컨 세트에서 진동을 발생시키는 주 원인은 압축기이며, 압축기에서 발생한 진동은 그로메트와 흡입

토출 파이프를 통하여 세트로 전달된다. 세트로 전달된 진동은 실외기 캐비닛을 가진하여 소음을 발생시키고, 또한, 지지대나 실내기로 연결된 파이프를 통하여 2차적인 진동이나 소음을 유발시킨다. 이와 같이 압축기에서 발생한 진동을 전달하는 주 경로인 그로메트와 파이프 설계는 에어컨 세트 진동의 관점에서 매우 중요하다

이런 관점에서 보았을 때, 그로메트 설계시의 중요한 요소는 다음과 같다

- ① 형상설계
- ② 동적 강성 설계
- ③ 내구성

①형상설계는 그로메트가 받는 하중을 적절히 분포하도록 하여 응력 집중을 피하게 설계하고, 변형이 특정값 이하가 되게 설계해서 기구적인 간섭이나 유통낙하시 문제가 되지 않게 해야 한다. 이러한 형상 설계를 통해서 그로메트 재질의 사용을 최소화 하여 원가를 줄이는 것이 목적이다.

- ② 동적 강성 설계

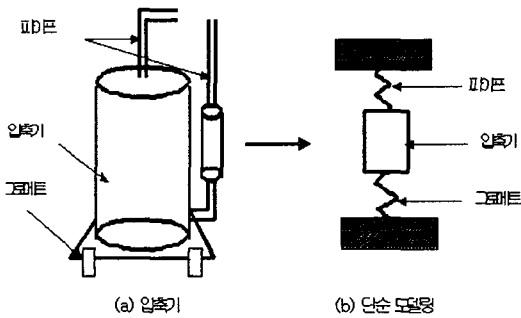


그림1. 저강성 그로메트 적용 원리

그림1.에서 압축기를 질량과 스프링 시스템으로 단순 모델링할 수 있는데, 압축기를 중심으로 파이프와 그로메트가 병렬로 연결되어 있다. 이는 그로메트가 장착된 압축기에 파이프를 연결하였을 때에, 시스템 전체의 고유 진동수가 상승할 수 밖에 없다. 그러므로, 그로메트의 강성이 높게 설계 되었을 때에는 파이프가 연결되면서 고유 진동수가 운전 주파수 가까이로 이동할 수 있고, 그 결과 시스템 전체의 진동이 크게 유발될 수 있다. 시스템 진동의 측면에서는 그로메트의 댐핑과 강성이 동시에 중요하나, 공진 회피 설계 측면에서 강성이 더 중요하다고 할 수 있다.

③ 내구성은 그로메트의 형상과 밀접한 관계가 있지만, 그로메트의 재질 선정과도 밀접한 관계가 있다. ①,②에 의해서 결정된 형상에 대해서 재질에 따른 형상을 제작하고, 내구성 가속 시험을 통해서 적절한 재질을 결정하는 것이 목적이다.

3. 에어컨 압축기 그로메트 실험 및 해석.

압축기와 그로메트 시스템의 고유 진동수와 고유 모드를 LMS의 Modal analysis를 이용하여 구하였다. 사용한 압축기는 44A052 모델이었으며, 그로메트는 현재 사용되고 있고 있는 모델(경도 40)을 선택하였다. 압축기의 탄성 모드는 무시하고, 압축기와 그로메트에서 얻어질 수 있는 강제 모드 6개를 구하였다. 사용한 좌표축은 그림 2와 같다.

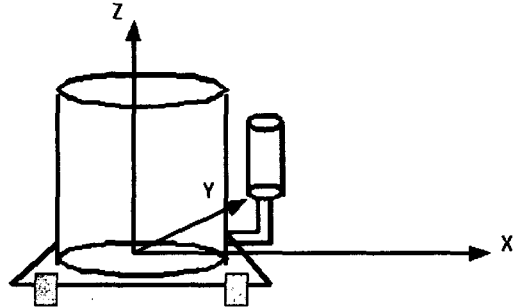


그림2. 압축기와 그로메트 시스템의 좌표계

표1. 압축기와 그로메트 시스템 모드 해석 결과

고유 진동수 (Hz)	고유모드
1	9.9 병진모드: Accumulator 직각 방향(Y축방향)
2	10.5 병진모드: Accumulator 쪽 방향(X축 방향)
3	25.4 회전모드: 평면 내에서 회전(Z축회전)
4	32.1 Bouncing Mode: 상하방향(Z축방향)
5	36.6 Pitching Mode: Accumulator 직각방향으로 회전(X축 회전)
6	37.8 Rolling Mode: Accumulator 방향으로 회전(Y축회전)

표1.의 6개의 모드 중에서 압축기의 운전과 직접적인 영향이 있는 모드는 3번째 모드이며, 5,6번째의 회전 모드도 압축기의 토크 변동과 관련하여 가진되는

모드이다. 그로메트 설계에 있어서 상하방향 모드인 고유 진동수를 줄이는 것이 가장 큰 관건이다.

그로메트 성능을 향상시키기 위해서는 재질적인 개선과 최적형상 설계 두 조건을 만족 시켜야 하는데, 일반적으로 고무 재료는 시간이 지남에 따라 경화가되는데 경화를 가속시키는 조건은 온도, 하중, 첨가제의 종류등 많은 인자가 있다. 설계시에 조건을 달리 경도 변화가 과도하게 발생할 경우에 고유진동수 상승에 따른 진동의 발생, 파이프의 파괴등이 발생할 수 있고, 댐핑의 저하로 진동에너지 흡수할 수 없는 여러가지 문제가 발생을 한다.

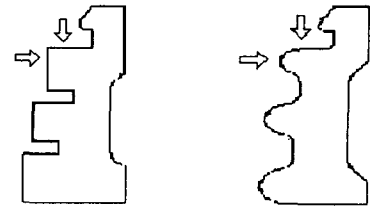
3.1. 형상 설계 및 해석

그로메트의 형상설계는 범용 소프트웨어인 Ideas의 static analysis 모듈을 이용하여 실시했다. 해석은 그림 3과 같이 압축기 하중을 그로메트에 화살표 방향으로 상단에서 수직하게 가했을 경우와 수평으로 가했을 경우에 대해서 그로메트 내부에 걸리는 응력을 계산하는 것으로, 응력을 집중을 방지하여 그로메트의 체적을 줄이는 형상을 찾는 것이 목적이다.

당사에서 사용중인 압축기는 압축기 크기에 따라서 44frame, 48frame, 55frame 급으로 구분 할 수 있는데, 각 프레임에 따른 압축기 무게 차이가 크게 발생하기 때문에 하나의 그로메트의 형상을 사용하기는 최적화에 어려움이 있어서 3가지 그로메트의 형상을 개발하는 것을 목표로 하였다. 본 논문에서는 44프레임만 해석하였다.

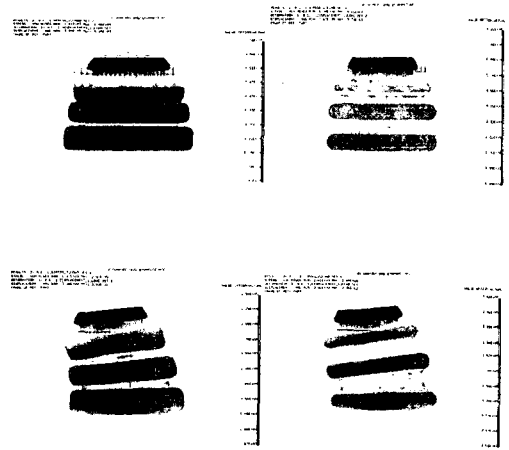
표2. 44프레임용 그로메트 형상 설계

설계변수	기존형상	44 프레임용	증감율
부피(mm ³)	16255	14903	8.3% ↓
무게중심(mm)	14.08	9.66	4.42mm ↓
표면적(mm ²)	6505	6077	6.6% ↓
상하최대응력	1.06E05	0.77E05	27.4% ↓
상하최대변형량	5.45E-3	5.03E-3	7.7% ↓
횡최대응력	2.50E05	2.48E05	0.8% ↓
횡최대변형량	3.53E-2	3.50E-2	0.8% ↓



(a) 기존 형상 (b) 개선형상

그림3. 44프레임용 압축기 그로메트 단면형상과 하중방향



(a) 기존 형상 (b) 개선형상

그림4.44프레임용 압축기 그로메트 응력 및 변형률 해석

압축기 그로메트 형상이 복잡해지고, 하나의 그로메트가 받는 하중이 크므로 설계식을 유도하는 데는 매우 복잡하므로 이 경우에는 선형적 유한요소해석을 이용하였다. 고무 경도는 그림3.은 기존, 개선 단면형상을 나타내며, 압축기 무게가 44프레임 경우에 14kg으로 그로메트 한 개당 받는 하중은 4kg 이상의 하중을 받는다. 그림4(a)는 기존 형상은 응력하중 분포가 한곳에 집중되고, 변형률이 큰 것을 볼 수 있으며, 그림4(b) 신규형상인 경우에는 응력 분포가 골고루 되어 있고, 작은 변형률을 나타내고 있다. 이와 같은 해석을 통하여 형상이 가장 최적의 그로메트 설계 조건 임을 찾을 수 있었다. 또한, 변형률 분포를 통하여 피로 수명을 예측할 수 있다. 특히, 표2.에서 그로메트의 내구성과 관련된 상하 하중에 의한 응력집중이 27%정도 개선되고, 변형량도 감소 됨을 알 수 있다.

3.2 동적 강성 설계 및 해석

그로메트의 상하 방향의 진동 전달률을 평가 하기 위한 지그를 그림5와 같이 구성하였다. 전달률 평가 장치는 그로메트에 압축기 무게에 해당하는 Dummy Mass을 만들어서 Pre load을 받는 상태에서 평가가 할 수 있는 것이 특징이다. 이 Mass는 압축기 그로메트를 끼울 수 있는 브라켓 3개를 구성하였고, 하단 중앙부에는 Force transducer을 조립할 수 있게 구성 되어있다. 진동 전달률은 가진봉 끝단에서의 가진력과 테이블 상단에서의 전달력의 비를 주파수 성분으로 측정하여 구한다

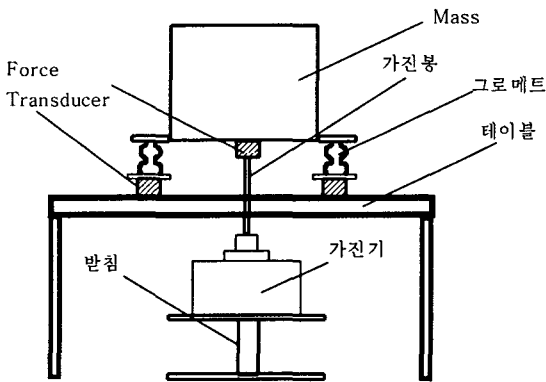


그림5. 진동전달률 측정을 위한 세트 구성

3.2.1. 44 프레임용 그로메트 시험결과 분석

일반적인 진동 전달률은 다음과 같이 표현할 수 있다. 그로메트 감쇠특성은 점성 감쇠를 동반하는 1-자유도계 강제진동 모델은 질량 m , 동강성 k_d , 감쇠계수 c , 압축기 지지기반과 연결 상태에서 질량 m 에 강제 조화 진동이 작용한다고 하면, 바닥 사시에 전달되는 진동 전달률, τ 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\tau = \frac{F_{TR}}{F_0} = \frac{1 + \eta^2 (f/f_0)^2}{\sqrt{1 - (f/f_0)^2 + \eta^2 (f/f_0)^2}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_d}{m}}, \quad \eta = \frac{c}{\sqrt{mk_d}}$$

여기서, F_{TR} 은 사시에 전달되는 힘, F_0 는 강제력의 진폭, f 는 가진 진동수, f_0 는 고유 진동수, η 는 감쇠비를 나타낸다. 따라서, 그로메트의 특성을

나타내는 진동 전달률은 고유진동수 f_0 및 감쇠비 η 에 많은 영향을 받는다. 외부에서 기진되는 진동수 f 가 증가해 가면서 진동 전달률이 정확히 1이 되는 진동수 f 는 고유 진동수 f_0 에 대해설 $f = \sqrt{2} f_0$ 일 때이다.

그림6.은 형상과 재질을 바꾼 NR35도가 기존형상의 EPDM40도, Silicon40도 보다 진동전달특성이 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

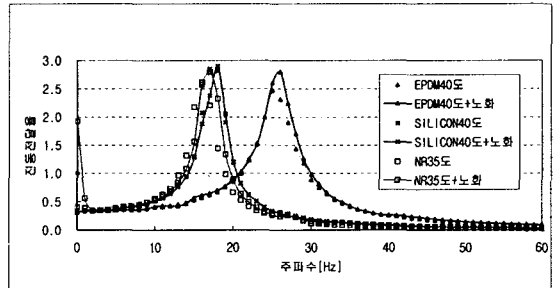


그림6. 44 프레임 압축기 그로메트 진동 전달률

그림6.에서 보듯이 기존 그로메트는 경도 및 재질특성이 너무 강해서 고유치 자체가 높은 주파수 영역에서 형성되고 이에 따라서 압축기 구동 주파수인 50Hz와 60Hz에서의 전달률도 크게 발생함을 알 수 있다.

표3 그로메트의 노화전.후 고유진동수 비교

진동 전달률	초기 노화전			노화후		
	고유진동수 (Hz)	35 Hz	48 Hz	고유진동수 (Hz)	35 Hz	48 Hz
SILICON40°	17	0.117	0.055	18	0.121	0.056
EPDM 40°	25	0.418	0.147	26	0.424	0.165
NR 35°	16	0.074	0.036	17	0.086	0.043

시험 결과 주요 값들을 나타내면 표3.과 같다. 표3.에서 35Hz와 50Hz의 전달률을 비교하였는데, 정적 변형은 기존과 유사한 결과를 나타내면서, 진동 전달률이 낮은 재질은 NR35도임을 알 수 있다.

신규 형상에 신규 재질(NR35도)를 적용하여 개발한 그로메트가 기존 양산에 사용되고 있는 EPDM40도 비해 진동 전달률이 현저히 낮게 나타났고, 또한 인버터

방식의 압축기는 주파수 가변형으로 최저 주파수 35Hz대역까지 낮추어서 기동하므로 35Hz 에서 진동 전달률을 측정 한 결과 NR35도인 경우 가장 양호한 전달률을 보였다.

3.3 내구성 세트 적용 평가

3.3.1 그로메트 노화전,후 물성치 변화량

고무 재질은 시간이 지남에 따라 시효 경화 등의 문제가 있기 때문에 그로메트의 내구성 평가를 실시하였다. 내구성은 온도가 100°C로 유지 되는 오븐 속에 압축기 아래에 그로메트를 놓고 72시간 이후 영구변형성 및 고유치, 전달률 평가를 하였다. 표4.5.는 NR35도 그로메트가 Silicon, EPDM. 계열과 비교해보았을 때 물성 변화량이 적게 나타난 것을 볼 수 있다.

표4. 그로메트의 노화전,후 물성치

물성값	초기물성			내열 노화 물성 변화(100°C /72Hr)		
	경도	인장강도	신장률	경도	인장강도	신장률
SILICOON40°	40	73	511	+1	-5%	-9%
EPDM 40°	40	127	688	+2	-9%	-16%
NR 35°	35	107	673	+1	+6%	+8%

표5. 그로메트의 노화전,후 변형률

처짐량(mm)	경적변형		노화 변화(100°C /72Hr)	
	처짐량	초기(노화전 높이)	노화후높이	처짐량
SILICOON40°	1.2	32.5	31.4	1.1
EPDM 40°	1.0	32.5	31.2	1.3
NR 35°	1.2	32.5	32.0	0.5

표4.5.는 신규 형상에 신규 재질(NR35도)를 적용하여 개발한 그로메트가 기존 양산에 사용되고 있는 Silicon, EPDM40도에 비해 고무강성이 현저히 낮게 나타났고, 노화에 따른 고무강성변화는 거의 없으며, 처짐량도 NR35도인 경우에 가장 낮은 변화량을 나타내고 있다.

3.3.2 세트 적용성 평가

그로메트를 통한 진동전달은 세트에 전달되어 부가적인 소음을 유발하므로 진동 전달률을 줄이는게

큰 관건이었다. 44프레임용(NR35도)와 을 실제 기존 양산에 사용되고 캐비닛에 장착하여 실외기 세트 캐비닛에서 진동량을 측정하였다. 표6.은 기존 사용하는 EPDM40도와 신규개발한 NR35도를 전압 변동에 따라서 비교한 데이터이다. EPDM비해 진동량이 작게 나타남을 확인 할 수 있었다. 또한, 유통낙하 시험에 있어서도 그로메트의 갈리거나 찢어지는 현상은 발생하지 않았다.

표6 그로메트 적용시 세트의 캐비닛 진동량 비교

44Frame 냉방과부 하진동 (m/s²)	NR 35°			EPDM 40°		
	198 Volt	220 Volt	242 Volt	198 Volt	220 Volt	242 Volt
Top	1.41	1.75	2.20	1.51	2.16	2.30
Front	0.72	1.61	2.26	0.91	1.74	2.45
Right	1.17	1.39	1.88	1.24	1.68	2.17
Back	0.97	1.36	1.61	1.05	1.73	2.22

4. 결론

본 연구에는 압축기 진동 줄일 수 있는 압축기 방진고무의 재질 개선 및 형상 변경을 통해서 진동 감소 성능 및 내구성 대한 최적형상설계에 대한 해결 방안을 제시하였다.

압축기 방진고무의 재질 개선 및 형상 변경을 통해서 진동 성능 및 내구성을 확보하고, 원가 절감을 달성하는 하였다.

참고 문헌

- (1) Ctrl M, Harris. "Shock and Vibration Handbook", 4nd edition, pp34.1~.17
- (2) 김원두 등, 2003, " 방진고무재료의 기계적 특성 예측및 평가"소음진동 공학회지 제13권 제 5호, 한국소음진동공학회
- (3) 장한기 등,1999, "진동 절연을 위한 에어캡 압축기의 파이프 배열 기술 개발", 한국 소음 진동 공학회지 제 9권 제 4호, 한국소음진동공학회