

# 소형 공기 압축기의 진동감쇠를 위한 주름 형 판 스프링의 특성해석

## Characteristic of the pleated leaf springs for vibration isolation of small air compressors

\*김승찬<sup>1</sup>, 지석환<sup>1</sup>, #이문규<sup>2</sup>, 이태수<sup>2</sup>

\*S. C. Kim<sup>1</sup>, S. H. Chi<sup>1</sup>, #M. K. Lee(abraham@sogang.ac.kr)<sup>2</sup>, T. S. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서강대학교 대학원, <sup>2</sup>서강대학교 기계공학과

Key words : Pleated Leaf Spring, FEM, Dynamic Characteristic, Vibration Isolation

### 1. 서론

압축기와 같이 회전기계에서 발생하는 진동 및 소음의 저감에 대한 개선은 소비자의 제품에 대한 선호도를 증가시킬 수 있는 요인뿐만 아니라 공학적으로 해결해야 할 중요한 문제점 중 하나이다. 한국소비자원의 2005년 조사에 따르면 에어컨에 대한 소비자의 품질관련 만족도 조사에서 소음 및 진동이 작동이상과 냉방능력 저하 다음으로 소비자들의 불만이 높은 것으로 보고되었다. 소음과 진동의 원인은 팬, 모터, 압축기에 기인하는데 이중 압축기에 의한 소음 진동이 가장 크다고 볼 수 있다[1,2]. 따라서 기존 연구들 중 압축기의 거동에 대한 동적거동 해석 및 곁판스프링의 감쇠력 조절에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[1-3].

소음과 진동을 줄이기 위한 방법으로는 가진력 성분을 변경하거나, 질량 또는 강성을 변화시켜 공진 주파수보다 높거나 낮게 설계하는 방법, 댐핑을 크게 해서 공진 주파수에서 전달률을 저감 또는 동흡진기를 이용하는 방법 등을 고려해 볼 수 있다[1]. 하지만, 현재 소형의 압축기와 같이 회전기계에서 발생하는 소음의 주요원인인 진동을 억제하기 위해서 일반적으로 사용되는 코일 스프링을 가장 많이 사용하고 있다. 이러한 코일 스프링은 4개의 독립적인 부품으로 구성되어 있어 조립이 용이하지 않고 수평을 정확히 맞추기가 어려워 효과적인 진동감쇠 효과를 갖기가 어렵다[4]. 이에 본 연구에서는 소형 공기 압축기의 진동감쇠를 위해 사용되는 코일스프링을 대신하여 새로 고안된 주름형 판스프링을 소개하고 정적해석을 통한 구조설계 및 동적해석을 통한 진동감쇠특성을 분석함에 있다.

### 2. 방법

#### 2.1 모델링

본 연구에서 선정된 압축기(2660CGHI42, Thomas Industries Co., Sheboygan, Wisconsin, U.S.A)는 소형 모터 압축기로 240×140×180mm의 크기에 약 100N의 무게를 갖으며 최대 1400rpm 회전속도를 갖는다[Fig.1]. 이를 본 연구에서 고안한 주름형 판스프링에 고정하였다. 주름형 판 스프링은 두 가지 타입으로 스프링이 바닥면에서 상단으로 진행할 때 주름이 바깥쪽에서 안쪽으로 들어가는 타입 A와 안쪽에서 바깥쪽으로 진행하는 타입 B가 있다 [Fig.1]. 타입 A의 경우 바닥면에 안정적으로 지지하는 장점이 있으나 접촉되는 바닥면이 넓기 때문에 고정에 제약을 가질 수 있는 단점이 있다. 타입 B는 총 길이가 상대적으로 짧아 재료의 비용이 절감될 수 있고 타입 A와 상반되는 특징을

갖는 스프링이므로 이러한 두 가지 타입에 대해 정적 및 동적특성을 분석하였다.

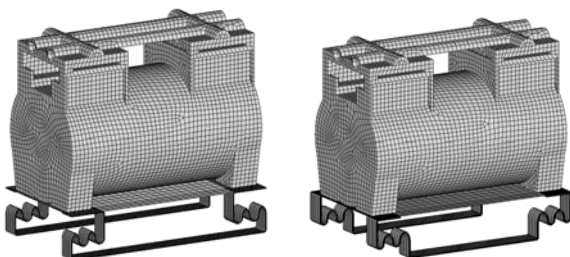
본 연구에서 주름형 판스프링의 모델링은 Hyper Mesh 7.0을 사용하였고 정적해석과 동적해석을 수행하기 위해 ABAQUS 6.5를 사용하였다. 스프링의 경우 3차원 연속체 특성을 갖는 2차 요소망(Element)을 사용하였고 압축기는 질량을 갖는 강체(Rigid body)로 구성하였다. 스프링의 요소개수는 약 2만개이고 절점수는 약 8만 여개로 구성되었다. 스프링 재료의 물성은 ASTM 규격에 따른 스프링 강으로 탄성계수는 각 200GPa이고 푸아송(Poisson's ratio) 비( $\nu$ )는 0.3이며, 항복 응력은 160GPa이다. 스프링과 압축기는 완전고정을 시켰고 스프링의 바닥면 또한 각 방향의 변위에 대해 구속조건을 주었다. 주름형 판스프링의 주요 설계변수는 주름 수, 판스프링의 두께 그리고 주름의 높이로 설정하였다. 이러한 설계변수에 따라 정적해석을 수행한 후 응력분석을 통해 각 타입에 대해 가장 적합한 한 가지 모델을 선정하여 이에 대한 동적특성을 분석하였다.

#### 2.2 정적해석

정적해석을 위해 압축기의 무게중심에 100N의 하중을 가하여 스프링의 응력을 분석하였다. 스프링의 주름 수, 주름 높이, 두께를 형상 변수로 선정하여 두 타입에 대해 각각 12가지 모델을 구성하여 구조해석을 수행하였다. 즉, 각 변수 별로 두께는 1과 2mm로 선정하였고 주름의 수는 2와 3개 그리고 주름 높이는 10, 15, 20mm의 3가지 경우로 모델링 하였으며, 해석결과를 바탕으로 최대응력과 변위의 관계를 통해 스프링의 강성을 알아 보았다.

#### 2.3 동적해석

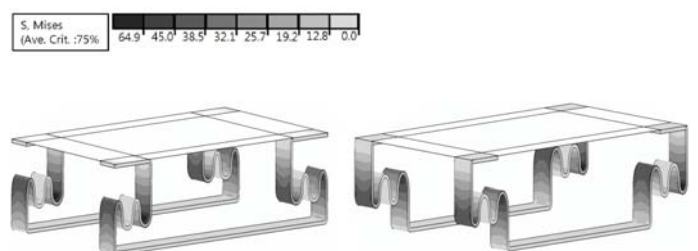
동적해석의 경우 압축기의 회전날개가 돌면서 힘이 Z축 음(-)의 방향으로 가해진 후 다시 힘이 양(+)의 방향으로 가해지면서 시간의 진행에 따라 주기적으로 변화하게 된다. 시간에 따른 하중이 가해졌을 때의 변위를 측정하여, 판스프링의 진동 시스템을 확인하는 방법을 통하여, 스프링이 가진 특성에 대하여 확인한다. 압축기의 힘의 크기를 정현파로 가해주어 Z축 방향의 변위의 변화를 보았다. 이를 통해 스프링이 가진 변형에너지가 진동감쇠에 미치는 영향에 대해서 살펴보고, 감쇠 비를 통한 압축기의 구동에 따른 주름형 판스프링 고유의 시스템 특성을 파악하였다. 압축기에 따른 각각의 주파수를 갖고 있지만 본 연구에서는 압력의 레퍼런스 파형을 고려하여 이에 따른 판스프링의 변위의 응답 속도에 관해 알아보았다[5].



(a) Type A

(b) Type B

Fig. 1 Two types of pleated springs for air compressor



(a) Type A

(b) Type B

Fig. 2 Stress distribution of type A and B

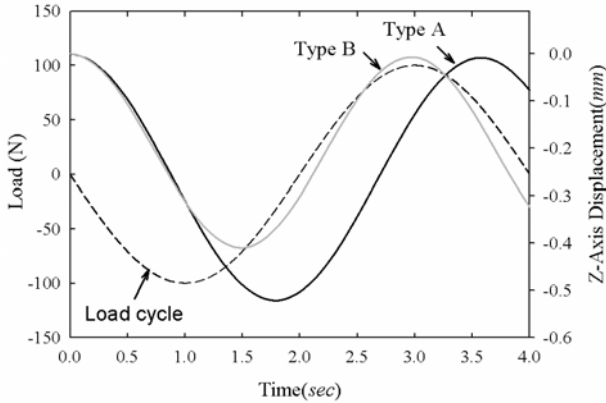


Fig. 3 Displacement and Load of the plate related to load cycle (type A, B, 1400rpm)

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 정적해석

타입 A와 B에 대한 유한요소해석 결과를 보면 주름의 안쪽 부분에서 최대응력이 발생하며, 주름의 안과 바깥부분에서 최대 응력보다 10% 낮은 응력이 발생된다[Fig.2]. 스프링의 방향(Axial direction)의 변위는 타입 A의 경우 0.1984mm이다. B의 경우 0.1982mm로 같은 조건일 때 두 타입 A와 B의 차이는 정적해석의 경우 두 모델이 비슷한 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

전체 타입의 해석결과는 다음과 같은 경향을 보여준다. 두께가 1mm 일 때, 주름의 높이가 같을 경우 주름 수가 2개에서 3개로 늘어날 때 Z축 방향 변위가 약 3배가 늘어나며 강성은 1/3로 줄어들고, 최대 응력이 약 100~200MPa 정도 높다.

주름 수와 주름 높이가 같을 때, 주름의 두께가 1mm와 2mm를 비교하면 두께가 1mm에서 2mm로 증가했을 때 Z축 방향의 변위는 1/8로 줄어들고, 강성은 약 8배가 증가한다. 두께가 1mm, 주름수가 3개, 주름높이가 20mm 일 때, 가장 높은 응력이 발생하며, 두께가 2mm, 주름수가 2개, 주름 높이가 10mm 일 때, Z축 방향 변위가 가장 작으며 최대응력이 가장 작게 발생한다.

주름의 높이의 경우 두께와 주름의 수가 같을 때, 주름의 높이가 5mm 높아질 때마다 최대응력은 1.3~2배 증가하고, 최소 0.2mm, 최대 2mm까지 차이가 난다. 해석의 결과를 토대로 보았을 때, 설계변수는 주름의 두께, 높이와 주름의 수의 순으로 판스프링의 형상에 영향을 주는 것으로 밝혀졌으며, 주름의 위치 형상에 따른 정적해석 결과 타입A의 경우 타입 B보다 최대응력이 낮게 발생된다는 것을 알 수 있다. 또한 스프링강의 항복응력과 비교하였을 때, 주름 형 판 스프링은 안전계수가 높다.

#### 3.2 동적해석

기존 논문의 레퍼런스 값을 고려하여 본 연구에서는 0.25Hz의 파형을 입력하였다. 강성이 같은 두 타입 A의 경우 100N의 하중이 가해졌을 때의 입력 파형과 Z축의 변위의 최저점을 비교하여보았을 때, 변위와 파형 간에 약 1초간의 지연이 생긴다. 이에 비해 타입 B는 하중의 변화에 따라 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다[Fig. 3].

타입 A와 B의 경우 파형에 따른 일정한 하중이 가해지고 있음에도 그림 4에서와 같이 시간이 지날수록 변위의 폭이 감소하는 경향을 갖는다[Fig.4]. 각 타입별로 최초의 최저점 시간의 변위 크기와 두 번째 최저점 시간의 변위를 통하여 수학적으로 대수감소율을 구하면 타입 A의 대수감소율( $\delta$ )은 0.0328이고, B의

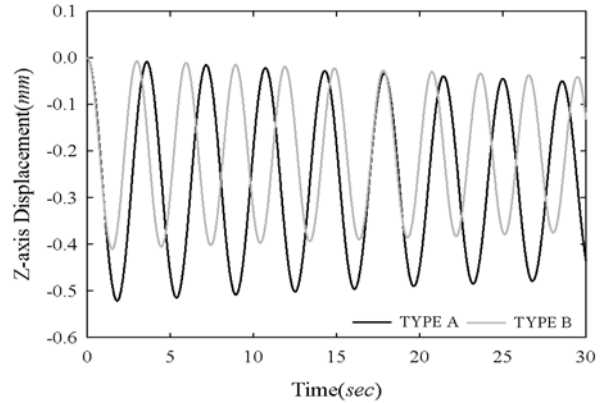


Fig. 4 Displacement change of the plate (type A, B, 1400rpm)

경우 0.0168이다. 이 값을 통해 감쇠 비( $\zeta$ )를 구하면, 각 타입의 감쇠 비는 타입 A는 0.0052, B는 0.0268로써 A는 0.52%, B의 경우 0.26%의 감쇠 비를 갖는다. 이는 타입 A의 감쇠율이 좋다고 볼 수 있다. 이 결과를 통해 보았을 때, 주름 형 판스프링은 진동감쇠의 형태를 갖는 것을 확인 할 수 있다.

### 4. 정리

이상으로 본 연구에서는 소형압축기에 장착되는 주름 형 판스프링의 정적, 동적 유한요소해석을 통과였고, 정적 해석결과로부터 판스프링의 설계 파라미터인 주름의 수, 높이 그리고 두께 중 결과를 토대로 보았을 때, 주름의 두께가 가장 강성이나 응력에 민감하다는 것을 고찰할 수 있었다. 동적해석의 결과로부터 판스프링의 하중이 가해졌을 때, 변위의 응답 시간이 지연되는 것과 판스프링이 진동을 감쇠시키고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 주름 형 판스프링은 장착의 용이성과 탈부착 방지 면에서 우수하기 때문에 코일 스프링의 단점을 보완하여 사용되어질 수 있을 것으로 기대되며, 향후 판스프링을 제작 후 실험을 통한 결과 값과 시뮬레이션 값을 비교하는 것으로 연구를 진행할 것이다.

### 후기

본 연구는 BK21 사업 지원의 일환으로 수행되었음.

### 참고문헌

- 최상현, 박윤식, "Wire Mounting을 이용한 진동저감에 대한 실험 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 403-408, 2001.
- 이영빈, "탄성 기초부 위에 있는 다점지지 마운트계의 진동절연기법연구 및 컴프레서 계에의 응용", 한국과학기술원 석사학위논문. 1998.
- 김태중, "가변속 왕복동형 압축기 본체의 동적 거동해석", 한국소음진동공학회 논문집, 11(8), 374-383, 2001.
- Hyeiksoo Hong, Jeonghoon Yoo and Ho Cheol Lee, 2005, "Optimal Design of the plate spring suspension in an optical pickup actuator", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering collection of learned papers, 15(2), 232-238
- 김중수, 김상도, 제양규, "결판스프링댐퍼에서 측면틈새에 의한 감쇠력 조절", 윤활학회지, 16(1), 2000