

자동차용 벨로우즈의 구조해석에 관한 연구

나완용*, 김미수⁺, 오용석⁺⁺

(논문접수일 2004. 2. 5, 심사완료일 2004. 9. 16.)

A Study on Structural Analysis of Bellows for Automotive

Wan Yong Rha*, Mi-Soo Kim⁺, Yong Suk Oh⁺⁺

Abstract

The purpose of the study is to perform structural analysis of Ω type bellows for automotive. The bellows joint which was used as a absorber or safety equipment to prevent the deformation or fracture of a structure, has been analyzed by the FEM modeling using axi-symmetric conical frustum element. Using FEM the general behavior of bellows analysis can be investigate easily, as well as the stability of the analysis can be guarantee. The results of finite element structural analysis and actual result gave a good agreement.

Key Words : Bellows(벨로우즈), Ω Type(오메가형), FEM(유한요소모델), Load condition(하중조건), NASTRAN(나스트란)

1. 서론

자동차용 벨로우즈는 자동차의 배기량 및 배기계의 재질 등 여러 가지의 형태에 따라서 그 구조 및 형태가 상이하게 적용되고 있다. 또한, 그 용도는 주로 배기계의 진동을 흡수하는 역할을 담당하고 있어서 배기계에서 상당히 중요한 부분을 담당하고 있으며, 배기계의 기능성 부품으로서 자동차회사에서 많은 관심을 가지고 구조해석과 피로한계 등 다방면에서 연구를 진행하고 있다^(1,2). 또한 지금까지 자동차용 벨로우즈에 관한 연구는 주로 전체 길이를 동일하게 하고 산의 수를 변경해 가면서 최적의 형상을 찾는 사례가

대부분이었다. 따라서, 본 연구에서는 조건을 달리하여 차량의 배기량에 따른 벨로우즈의 길이가 다르므로 실제 상황에 맞게 길이는 실제 차량에 사용되는 치수를 사용하고 재료물성치와 하중조건 및 구속조건 등을 동일하게 한 후에 Ω 형태의 벨로우즈의 구조해석을 통하여 벨로우즈의 해석 결과를 검토하였다.

벨로우즈의 연구는 Shell의 지배방정식을 이용하여 Bellows Joint에 발생하는 응력 및 변형량을 구하는 이론식은 이미 상당수 제안되어있다. 만약 Shell의 지배방정식을 이용할 경우 Corrugation의 형상을 정확하게 표현할 수 있는 장점은 있지만 복잡한 계산과정을 수행해야 하고 연속적으로

* 신성대학 기계자동차계열
+ 국민대 자동차전문대학원
++ 교신저자: 거창기능대학 자동차과 (ysoh@kopo.ac.kr)
주소: 670-802 경남 거창군.읍 송정리 700

해석을 할 수 없는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 해석에서 나타난 문제점 등을 보완하기 위하여 FEM을 이용하여 실제 자동차에서 발생하는 문제점을 기초로 하여 구조해석을 실시하고 이론적인 타당성을 검증하여 해석의 안전성을 도모해 보고자 하였다. 추가적으로 본 연구의 목표가 성공적으로 달성되기 위해서는 Ω 형 벨로우즈의 성형방법 즉 급형에 대한 정보와 성형 후의 변형특성에 영향을 주는 각종 변수를 파악하여 해석에 참고하였다.

2. 해석이론

2.1 이론적 고찰

Fig. 1과 같이 Ω 형 벨로우즈의 한 피치에 대한 기하학적 형상으로부터 다음과 같은 설계변수들간의 관계식을 구할 수 있다.

$$H = (R + r)(1 - \cos \psi) + b \sin \psi \quad (1)$$

$$\frac{P}{2} = (R + r) \sin \psi + b \cos \psi + s \quad (2)$$

$$R_e = A + r(1 - \cos \psi) + b \sin \psi - R \cos \psi \quad (3)$$

여기서, H는 주름의 높이, R은 중심까지의 산의 곡률반경, ψ 는 산의 곡률부 각도, b는 경사면의 직선부 길이, r은 중심까지의 골의 곡률반경, P는 피치를 나타내며, s는 골의 직선부 길이, R_e 는 벨로우즈의 중심에서 산의 중심까지의 길이, A는 벨로우즈의 중심에서 골까지의 길이를 나타낸다.

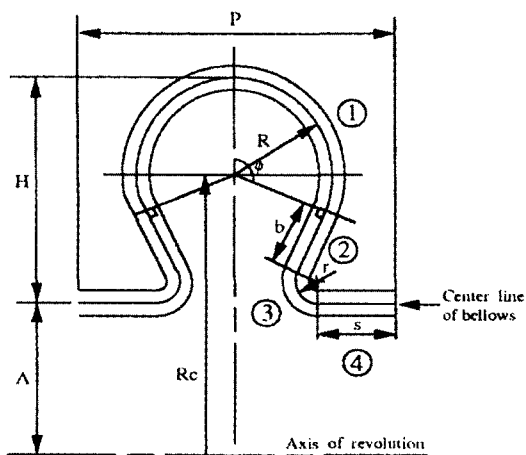


Fig. 1 Ω type bellows

2.2 벨로우즈의 모델링 및 해석

벨로우즈의 해석을 위하여 실시한 모델링은 Fig. 2와 같이 3차원으로 하였다.

2.3 벨로우즈의 해석

벨로우즈의 해석은 주로 NASTRAN을 이용하여 해석을 실시하였으며 축방향, 축직각 방향에 대하여 M-150, J-150 FAM1, EF용 자동차의 벨로우즈에 대하여 해석을 실시하였다.

2.3.1 M-150 벨로우즈의 해석

가. 제품 형상

벨로우즈의 제품 형상은 Fig. 3과 같으며 해석을 하기 위한 벨로우즈의 물성치는 Table 1과 같다.

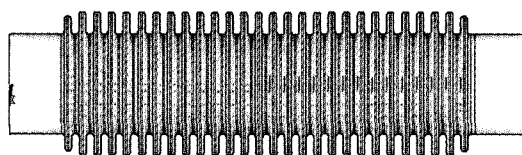


Fig. 2 3D Modelling

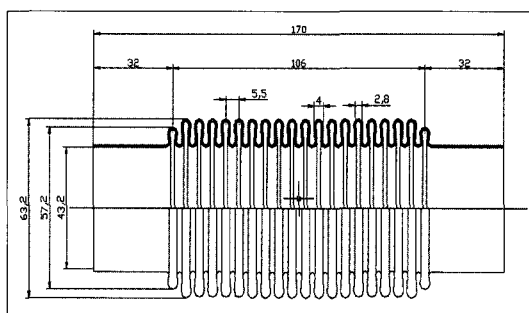


Fig. 3 M-150의 Bellows 형상

Table 1 Property of bellows

Young rate	2×10^5	n/mm^2
Density	7.9×10^6	kg/mm^3
Poisson's ratio	0.3	
Thickness	$t \ 0.3 \times 2 \text{겹} = 0.6$	mm
Yield strength	$3 \times 10^5 \sim 10 \sim 10^5$	N/mm^2
Length	M-150	170
	J 150 FAM1	210
	EF	280
		mm

나. 유한요소 모델

모델의 형상, 하중조건, 구속조건이 좌, 우 대칭이므로 1/2모델로 형상화하였으며 Fig. 4와 같다.

다. 하중조건 및 구속조건

벨로우즈의 하중조건으로는 벨로우즈의 오른쪽 끝단을 축방향 및 축직각방향으로 3mm 강제변위를 적용하였고, 구속조건으로는 벨로우즈 왼쪽 끝단을 완전 고정으로 하였다. 또한 형상으로는 0.3mm 두께가 2겹으로 0.3mm 간격을 두고 떨어져 있는 것이지만 조건을 간단화 하기 위하여 1겹 0.6mm로 이상화시켜 계산하였다.

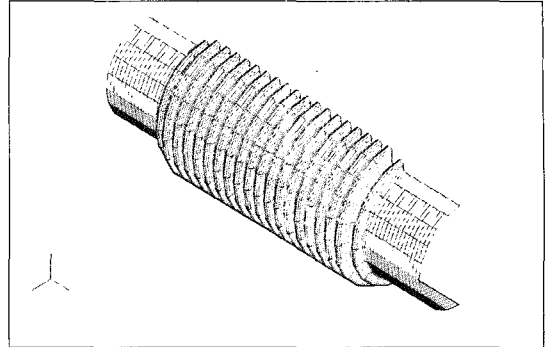


Fig. 4 M-150 bellows modelling

라. 축 방향 및 축직각 변형 해석

축방향에 대한 최대응력과 축직각 변형에 대한 최대응력은 각각 249.3N/mm^2 , 329.6N/mm^2 로 나타났으며, 축방향 변형에 대한 응력분포는 모든 산 또는 골부에서 균일하게 나타났으며 최대응력은 벨로우즈의 골 부분에서 Fig. 5와 같이 발생하고 있음을 알 수 있으며 축직각 변형에 의한 응력분포는 벨로우즈의 중앙부의 산 또는 골을 중심으로 바깥쪽으로 갈수록 크게 발생되며 최대응력은 벨로우즈의 바깥쪽 골부에서 Fig. 6과 같이 발생하고 있음을 알 수 있으며 이 결과들은 실제 자동차에서 발생되고 있는 현상과 유사한 경향을 나타냄으로서 해석의 유효성을 입증하였다.

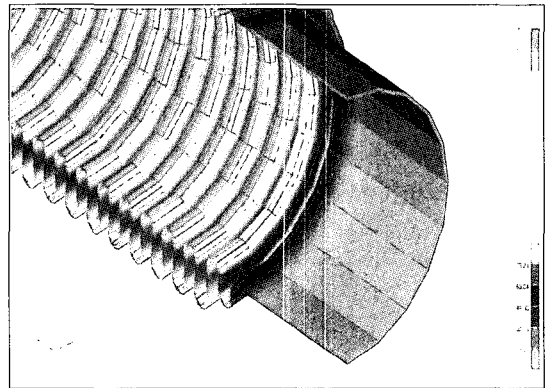


Fig. 5 Result of M-150 bellows(horizontal)

2.3.2 J-150 FAM1 벨로우즈의 해석

J 150 FAM1의 해석방법 및 가정은 M-150 벨로우즈의 경우와 동일하게 실시하였고, Fig. 7의 데이터를 이용하여 해석을 실시한 결과 Fig. 8, Fig. 9와 같은 결과를 얻었으며 축 방향 변형에 의한 응력분포는 모든 산 또는 골부에서 균일하게 나타났으며 최대응력은 벨로우즈의 골 부분에서 발생하고 있었으며 축 직각 방향 변형에 대한 응력분포는 벨로우즈 중앙부의 산 또는 골을 중심으로 바깥쪽으로 갈수록 크게 발생하였으며 최대응력은 벨로우즈의 바깥쪽 골부에서 발생하고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

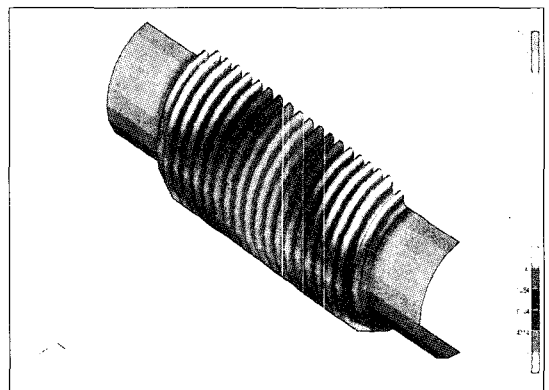


Fig. 6 Result of M-150 bellows(vertical)

2.3.3 EF용 벨로우즈의 해석

벨로우즈 제품의 형상은 Fig. 10과 같으며 해석방법 및 조건은 앞과 동일하다.

Fig. 10의 모델링 위한 데이터를 이용하여 EF용 벨로우즈를 동일한 방법으로 축 방향 변형 및 축 직각 방향에 대한 변형을 해석한 결과 Fig. 11과 Fig. 12와 같은 해석 결과

를 얻었으며 축 방향 변형에 의한 응력분포는 모든 산 또는 골부에서 균일하게 나타났으며 최대응력은 벨로우즈의 골 부분에서 발생하고 있으며, 축 직각 변형에 의한 응력분포

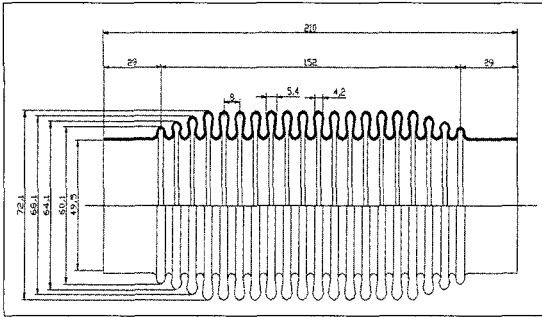


Fig. 7 J-150 FAM1 bellows modelling

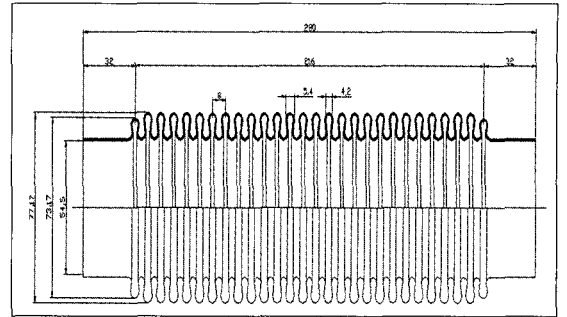


Fig. 10 EF type Bellows modelling

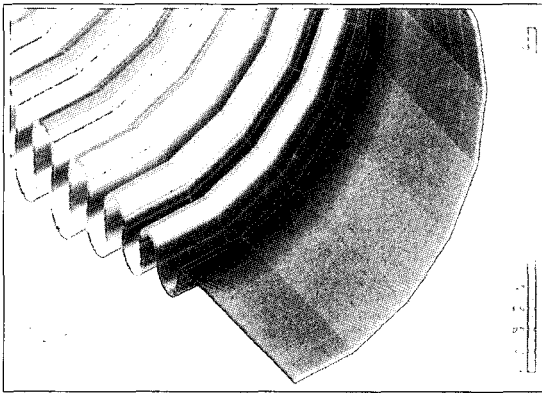


Fig. 8 Result of J-150 FAM1 bellows(horizontal)

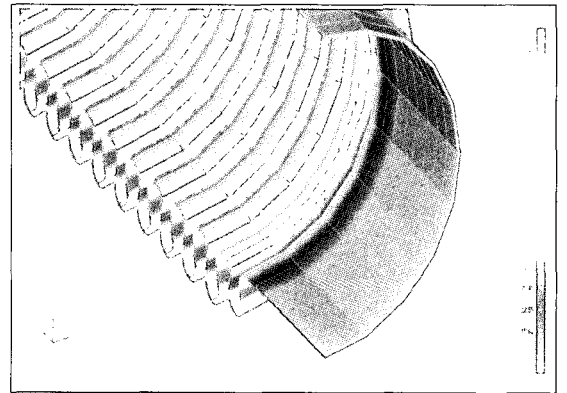


Fig. 11 Result of EF type bellows(horizontal)

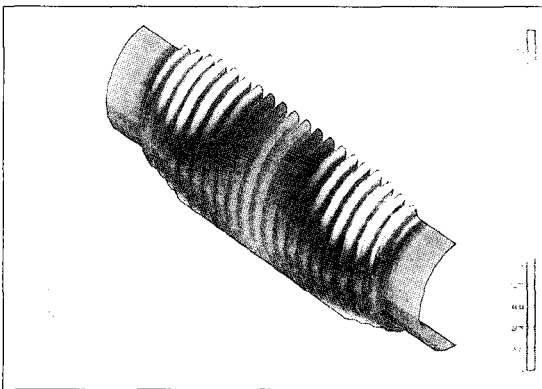


Fig. 9 Result of J-150 FAM1 bellows(vertical)

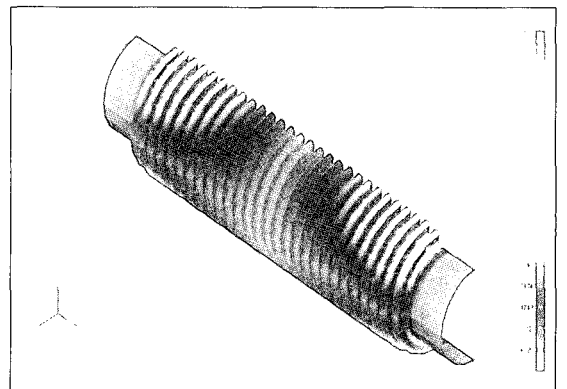


Fig. 12 Result of EF type bellows(vertical)

는 벨로우즈의 중앙부의 산 또는 골을 중심으로 바깥쪽으로 갈수록 크게 발생되고 최대응력은 벨로우즈의 바깥쪽 골부에서 발생되고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 고찰

3가지 종류의 모델을 선정하여 해석을 실시한 결과 최대 변형량을 설계 목표치로 설정하여 해석을 실시한 결과 M-150

모델의 경우는 축방향에 대한 최대응력과 축 직각 변형에 대한 최대응력은 각각 249.3N/mm^2 , 329.6N/mm^2 , J-150 FAMI 모델의 경우는 각각 210.5N/mm^2 , 229.7N/mm^2 , EF용 경우는 각각 111.8N/mm^2 , 94.2N/mm^2 으로서 3개의 모델 모두 축 방향에 대해서는 골부분에 응력이 집중되고 축 직각 방향에 대해서는 바깥쪽 골 부분에서 최대응력이 집중되어 이에 대한 설계 및 벨로우즈의 제작 방법이 개선되어야 한다고 사료된다.

4. 결론

3가지 모델에 각각 축 방향 변형과 축 직각 방향에 대하여 변형량과 응력분포를 해석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 구속조건, 하중조건 등이 동일하고 길이가 각기 다른 벨로우즈를 구조해석한 결과 전체길이가 길수록 최대 응력이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 축 직각 변형에 대한 최대 응력이 축방향 변형에 의한 최대응력 보다 크게 나타났다.
- (2) 벨로우즈의 산의 수가 증가할수록 최대응력은 감소하는

경향이 있으나 실제의 벨로우즈의 생산 현장에서 제한이 있으므로 무한히 많은 산의 수를 생성할 수 없기 때문에 적절하게 산의 수를 조절하면서 최대응력을 기준 응력 이하로 유지시키는 것이 바람직하다.

- (3) 3가지 모델에 대하여 해석을 실시한 결과 실제 자동차에서 발생되고 있는 크랙 및 문제부위가 동일한 경향이 나타남을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Laupa, A., 1962, "Analysis of U-shaped Expansion Joint," *ASME*, Vol. 84, series E, pp. 115~123.
- (2) Clark, R. A., 1970, "An expansion bellows problem," *J. Applied Mech.*, pp. 61.
- (3) Hamada, M., 1963, "On the strength of toroidal shells," *JAMSE*, Vol. 9, No. 197, pp. 142.
- (4) Weaver, Jr. W., and Johnston, R., 1993, *Finite Elements for Structural Analysis*, Prentice Hall, Inc.
- (5) Lee, S. B., 2000, "Design Optimization for Vehicle Pillar Section Shape Using Simple Finite Element Model," *KSMTE*, Vol. 9, No. 6, pp. 133~139.