

다층 구조를 갖는 벨로우즈의 등가 모델링에 관한 연구

정태진(군산대 기계공학부 교수), 김병곤, 조원용*, 유종근(군산대 대학원 기계공학부)

주제어 : 벨로우즈(Bellows), 등가응력, 응력비, 다층(Multi-ply)

벨로우즈는 차량의 배기계나 공장의 덕트 등에 진동 절연을 목적으로 장착되는 부품으로서 제품의 특성상 진동 하중을 많이 받기 때문에 여러 겹으로 설계하는 경우가 많다. 또한, 대부분의 제품이 그러하듯이 유한요소해석을 적용하여 제품의 특성을 조기에 평가함으로써 개발의 효율성을 높일 수 있다. 그러나, 여러 겹으로 되어있는 제품의 특성을 그대로 모델링 하였을 때는 유한요소의 수가 지나치게 증가하는 경향이 있기 때문에 해석을 수행하기 어렵다. 뿐만 아니라 모델링을 간략하게 하고자 여러 겹의 얇은 부재를 한 겹으로 표현하고 두께를 n배로 하였을 때는 부적절한 해석결과를 얻게 되므로 시험 등에 의존한 등가 두께를 적용하는 경우가 많다.

본 연구에서는 벨로우즈와 같은 다층 구조물이 갖는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 평판 이론을 적용한 등가두께를 이용한 모델링 방법을 적용하였다. 그리고, 응력해석의 결과에 등가응력계수를 이용한 평가방법을 적용하여 효과적인 해석을 수행할 수 있음을 제시하였다. 또한, 유한요소 해석결과와 시험결과를 비교함으로써 본 연구에서 제시한 방법의 타당성을 검증하고자 하였다.

본 연구에서 적용한 유한요소 모델은 대형트럭에 장착되는 벨로우즈를 대상으로 하였으며, 전체 절점수는 33,701개이고, MSC/NASTRAN의 4절점 쉘 요소인 CQUAD4를 이용하였다. 경계조건으로는 벨로우즈 하단의 끝단을 구속하였으며, 하중조건은 상단 끝단에 최대 10mm의 변위가 발생하도록 하중을 주었다. 이것은 대부분의 자동차 제작사의 벨로우즈에 대한 시험조건으로 변위량을 10mm내외로 설정하는 것에 기반한 것이다. 해석은 제시된 변위량을 고려하여 대변위해석인 기하학적 비선형해석을 수행하였다. 또한 동일한 대상물에 대한 시험을 통하여 유한요소해석 결과를 검증하였다. 해석 결과에서 벨로우즈의 첫 번째 산의 주응력 방향이 Y방향으로 나타나고 있으므로 이를 고려하여 스트레인 게이지를 모두 4곳에 장착하였으며, SOMAT의 eDaq을 통하여 데이터를 수집하였다. 해석의 경계조건을 구현하기 위하여 전용 지그를 제작하였으며, 벨로우즈의 한쪽 끝단을 고정시키고 다른 끝단은 MTS의 유압액추에이터를 이용하여 변위량을 주었다. 여기에서 변위량은 5개의 단계로 구분하여 2mm, 4mm, 6mm, 8mm, 10mm가 될 때의 변형률을 측정하였다. 최종적으로 각 단계에서 측정된 평균 응력값과 유한요소해석에서 계산된 응력값을 비교 분석하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 해석결과는 시험에서 측정된 응력값과 차이가 있음을 보여주고 있다. 하지만 등가응력계수를 적용하였을 때에는 최대 오차가 0.52kgf/mm² 이고, 오차율은 최대 8.0%로 해석결과와 시험결과가 근접함을 알 수 있었다.

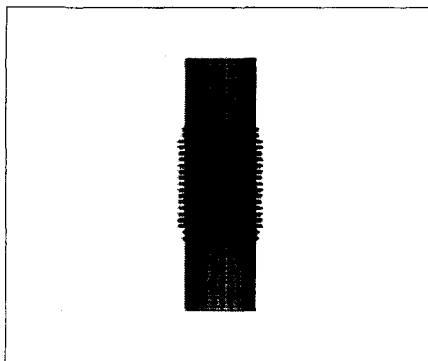


Fig. 1 FEM modeling of multi-ply bellows

step (mm)	시험결과 (kfg./mm ²)	해석결과 (kfg./mm ²)	등가응력계수를 적용한 해석결과		
			응력값 (kfg./mm ²)	오차값	오차율(%)
2	1.24	2.03	1.25	-0.01	-0.81
4	2.49	4.03	2.49	0.00	0.00
6	3.73	6.02	3.73	0.00	0.00
8	4.98	8.03	4.97	0.01	0.20
10	6.24	10.03	6.21	0.03	0.48

Table 1. comparison experiment result with analysis result that stress with X direction loading for bellows