

보조스프링을 고려한 철도 차량용 에어스프링의 유한요소 해석

남궁재규¹, 이형욱(교신저자)^{2*}

¹한국교통대학교 자동차공학과 대학원, ²한국교통대학교 자동차공학과
email:n5640@ut.ac.kr, hwlee@ut.ac.kr

Finite Element Analysis of Air Spring for Railway Vehicles considering Auxiliary Spring

JaeGyu Namgung¹, Hyoungwook Lee^{2*}

¹Graduate School of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation

^{2*}Dept. Automotive Engineering, Korea National University of Transportation

요약

본 논문은 철도 차량용 다이어프램 형 에어 스프링의 유한요소 해석에 관한 것이다. 다이어프램 형 에어 스프링의 경우 슬리브 형 에어 스프링과 다르게 체결과정 이전에 성형되어 각도 추적해석을 진행하기 어렵고, 위치별 층의 두께 역시 달라져 일정한 값으로 가정하고 해석할 경우 정확한 답을 얻기 힘들다. 이러한 이유로 실제 에어벨로우의 단면을 측정하여 모델링에 필요한 데이터를 얻었고 이를 활용하여 해석을 진행하였다. 보조스프링의 유무에 따른 2가지 모델에서의 에어벨로우의 외경, 장착 높이, 수직 및 수평 방향 강성 등 주요 설계 변수들의 값을 비교했다.

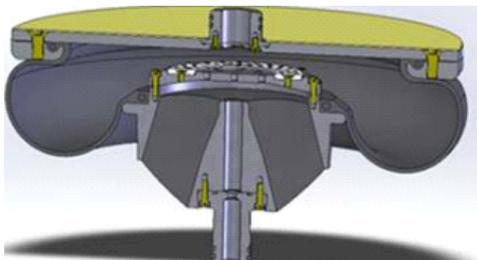
1. 서론

에어 스프링은 크게 상판, 하판, 에어벨로우, 보조스프링 등으로 이루어져 있으며, 에어벨로우 내부 공기의 압축성 및 유동 저항을 이용한 부드러운 감쇠 성능을 갖는 서스펜션이다.

운행 시 주공기통으로부터 공압을 제공받아 오버플로우 밸브를 거쳐서 운행에 직결된 중요한 부분의 공기압을 빠르게 제공하고, 레벨링 밸브를 통해 대차와 차체의 높이를 일정하게 유지시키며, 차압 밸브를 통해 기울림이 발생 시 좌우 압력차를 보상함으로써 중요한 역할을 한다.

에어스프링 설계 시 에어벨로우 외경, 장착높이, 에어스프링 부피, 면적, 수직 및 수평 방향 강성 등이 주요 설계 변수이며 강성 값의 영향을 주는 인자로 에어벨로우 면적과 코드 각도 등이 있다[1,2].

본 해석에서 에어 스프링은 그림 1과 같은 다이어프램 모델인 모델을 이용하였다. 슬리브 형 에어 스프링의 경우 초기 형상에서 체결해석을 통하여 보강섬유의 각도를 해석할 수 있으나, 다이어프램 형 에어 스프링에서는 체결과정 이전에 성형되어 각도 추적해석을 진행할 수 없고, 위치별 층의 두께 역시 달라져 일정한 값으로 가정하고 해석할 수 없다. 이러한 이유로 본 연구에서는 그림 2와 같이 실제 에어 스프링을 분해하여 에어벨로우의 일부분을 측정하였다. 이를 활용하여 해석을 진행하였다. 보조스프링의 유무에 따른 2가지 모델에서의 에어벨로우의 외경, 장착 높이, 수직 및 수평 방향 강성 등 주요 설계 변수들의 값을 비교하였다.



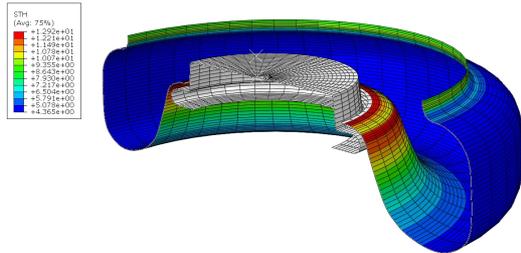
[그림 1] 고속 철도용 다이어프램 형 에어스프링



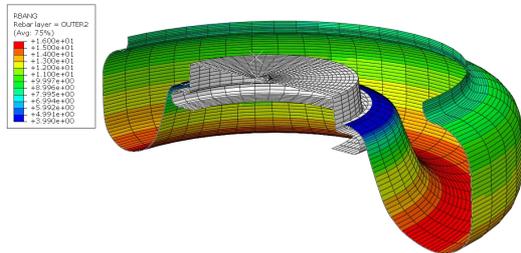
[그림 2] 에어벨로우 단면

2. 에어 스프링의 유한요소해석

다이어프램 에어 스프링의 해석을 위해서는 정확한 두께의 모델링이 필요하다. 대상 모델로부터 두께와 코드의 각도를 측정하여 에어벨로우 모델에 적용하였다. 적용한 두께와 각도는 그림 3, 4와 같다.



[그림 3] 에어벨로우 두께 분포

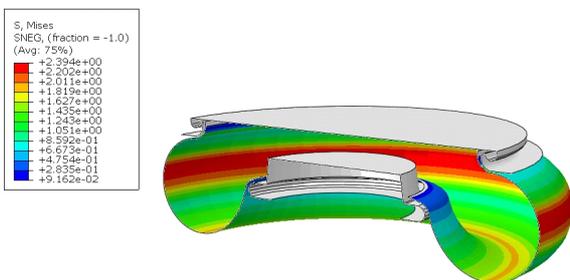


[그림 4] 에어벨로우 각도 분포

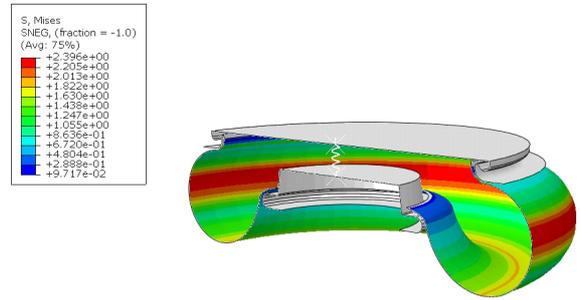
본 해석에서 사용할 에어 스프링은 고속전철용이며, 설계 높이에서 내압에 따른 수직하중, 수직강성, 수평강성, 비틀림 강성, 높이 등 주요 설계 변수의 변화를 분석하였으며, 표 1의 설계 사양과 비교하였다.

[표 1] 대상 모델의 설계 변수

Design Variables	spec (6bar)
Vertical Force [kN]	129
Vertical Stiff [N/mm]	1004
Lateral Stiff [N/mm]	80
Torsional Stiff [Nm/deg]	111
Outer Radius [mm]	344
Height [mm]	181



[그림 5] 에어 스프링 모델



[그림 6] 보조스프링을 고려한 에어 스프링 모델

경계조건은 에어백에 내압을 6기압까지 부과하게 하였고, 다음 단계에서 상판의 중앙 절점에 변위를 에어백의 높이 방향으로 $\pm 20\text{mm}$ 부과하였다. 추가적으로 횡방향으로 20mm , 회전비틀림 6° 를 부과하여 수직, 수평, 비틀림에 대한 강성을 얻을 수 있도록 하였다. 그림 5와 6은 내압 6기압에서 에어 스프링의 유한요소해석 결과를 보여주고 있다. 그림 5는 보조스프링이 적용되지 않는 경우이며, 그림 6은 보조스프링이 추가된 경우의 해석 결과이다.

[표 2] 에어 스프링 해석 결과

Design Variables	no auxiliary spring	auxiliary spring	spec
Vertical Force [kN]	129.2	129.2	129
Vertical Stiff [N/mm]	843.7	732.4	1004
Lateral Stiff [N/mm]	79.1	75.9	80
Torsional Stiff [Nm/deg]	404.2	122.2	111
Outer Radius [mm]	338.7	338.71	344
Height [mm]	177.58	177.46	181

표 2에 나타난 해석 결과를 보면 보조스프링의 유무에 따라 형상적인 수치는 동일한 값을 나타내고 있으나, 각 방향의 강성들은 크게 차이가 있는 것을 알 수 있다. 특히 비틀림 강성의 경우 설계사양과 큰 차이가 있었는데 보조스프링을 고려한 경우 설계사양과 비슷해진 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 고속철도용으로 사용되는 다이어프램 형 에어 스프링의 유한요소 해석을 진행하였다. 실제 에어벨로우 단면을 측정하여 두께와 각도를 얻었다. 보조 스프링을 고려한 모델과 고려하지 않은 모델에 대하여 비교하였다.

해석에서 얻어진 결과로 보조스프링 유무에 따른

두 모델을 비교하였을 때 에어벨로우의 형상은 동일한 값을 보이고 있으나, 각 방향의 강성은 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 특히 비틀림 강성은 보조스프링을 고려한 경우가 설계사양과 더 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토교통부의 철도차량부품개발사업(RS-2020-KA162811)의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- [1] 허신, 우창수, 한혁섭, 김완두, 김성수, “승용차용 에어스프링의 유한요소해석 및 성능시험”, 대한기계학회 논문집 A권, 제 31권 7호, pp. 725-731, 7월, 2007년.
- [2] 이형욱, 김세호, 허훈, “섬유의 적층각을 고려한 다이어프램형 공기 스프링의 유한 요소 해석”, 한국복합재료학회 학술발표논문집, 제 1999권 0호, pp. 29-33, 1월, 1999년.