

내구해석 및 시험평가를 통한 소형 전기상용차용 토션빔에 관한 연구

한인수*, 주원홍*, 정철수*
*디젠스(주)

e-mail:ishan@dgenx.com

A study on Torsion-Beam for small electric commercial vehicles through durability analysis and test evaluation

In-Su Han*, Won Hong Ju*, Cheol Soo Jeong*
*Dgenx.co.,ltd.

요약

본 논문에서는 글로벌 전기차 시장이 확대될 것으로 전망하여 소형전기차량 현가장치 중에서 후륜 현가장치로 많이 사용되는 트레일링암과 토션빔에 대한 시제품을 제작하여 시뮬레이션을 통한 FE해석모델링과 현가특성분석, 내구성능 해석 등을 진행하였다. 내구 물성은 DAFUL에서 적용하는 기본 내구물성 중 탄성계수와 파단하중이 비슷한 물성으로 선정하였으며, 내구성능해석 결과 목표 수명(10만회) 이상이므로 제품에 문제가 없을 것으로 판단된다. 모달시험을 통해 각 해석 모델의 고유진동수를 확인하였으며, 토션빔 axle의 해석 결과 모달시험과 매우 유사한 결과를 보였다. 해석을 통해 도출한 하중으로 내구시험평가 10만 사이클까지 진행하였으며, 변형이나 파손이 없었다. 트레일링암과 토션빔 부품의 성능해석 및 내구시험평가를 통한 제품의 품질 및 내구성을 검증하였다.

1. 서론

BNEF의 ‘2019 전기차 전망’ 보고서에 따르면, 2040년이 되면 신차로 출고되는 자동차의 약 절반이 배터리로 구동되는 전기차가 될 것이라고 하며 그 뒤를 내연기관과 플러그인 하이브리드 자동차가 이을 것으로 전망하고 있다. 글로벌 전기차 시장에서는 버스, 경량 상업용 차량, 승용차, 중형 승용차, 대형 트럭 등의 순으로 전기차 시장이 확대될 것으로 전망하고 있으며, 지역별로 보면 중국이 전기차 시장에서 가장 빠른 성장세를 보이며 전기차 시장을 리드할 것이라고 전망하고 있다. 다양한 아세안 국가에서의 심각한 대기 오염이 사회, 정책적 문제로 대두되며 그 대안으로 전기차 생산에 여러 정책 인센티브를 제공하며 시장 확대되고 있다.

자동차가 주행 중 각종의 진동이나 충격을 받을 때 이것을 완화시키기 위하여 바퀴에 타이어를 사용하고 프레임 또는 차체 사이에 완충장치로써 스프링이나 충격흡수 기능을 사용하는데, 이러한 완충장치와 액슬과 프레임 또는 차체를 연결하는 장치를 뜻한다. 현가장치 중에서 후륜 현가장치로 많이 사용되는 트레일링암 형식은 횡강성이 높고 요동축이 차륜의 전방에 배치되어 있는 것으로 일반적으로 구조가 간단하고 공간을 축소시킬 수 있기 때문에 소형차에 널리 사용되고 있

다. 트레일링암의 경우 캠버 각을 조절할 수 없어 타이어에 편 마모가 발생할 수 있기 때문에 이를 사전에 방지하여 편마모를 예방하는 부품과 토션에 의하여 탄성 연결되는 부품인 토션빔 등으로 구성되어 있다.



[그림 1] 토션빔 현가장치

2. 시뮬레이션

2.1 FE해석 모델링

해석 모델링 및 해석 조건 설정은 axle만을 추출하여 FE모델을 구성하여 진행하였으며, 트레일링암의 경우 형상이 복잡하여 3D요소인 Tetra 요소를 활용하였다. 튜브 및 연결

Plate의 경우 두께보다 넓이가 넓은 얇은 판형이므로 3D요소로 모델링 할 경우, 과도한 해석 모델이 되고 정확도가 저하되기 때문에 2D요소로 구성하였다. Mid-Surface를 활용하여 2D요소인 Quad로 모델을 구성하여 해석 모델 생성 시, 편의성을 위해 선을 생성하거나 불필요한 선을 지우는 Geometry Clean-up을 실행하였고, Bush모델의 경우 고무소재로써 물성데이터 확보가 어려워서 해석 모델 구성 시에 제외시켰다. Plate와 튜브 사이의 용접은 Penta요소를 활용하여 연결하였으며, 튜브와 트레일링암 사이는 키로 연결되어있는데 키의 경우 파손되지 않을 것으로 판단하여 rbe2요소를 활용하였다.

위의 과정을 통하여 Solid+Shell요소로 구성된 트레일링암과 토션빔 해석모델은 [그림 2]에 나타내었다.



[그림 2] FE 해석 모델

[표 1] 해석모델 구성

Part	Arm	Tube	Plate	Welding
Element Type	Tetra	Hex	Hex	Penta
No. of Element	78,876	14,960	960	288
No. of Node	21,592	15,012	1,152	480

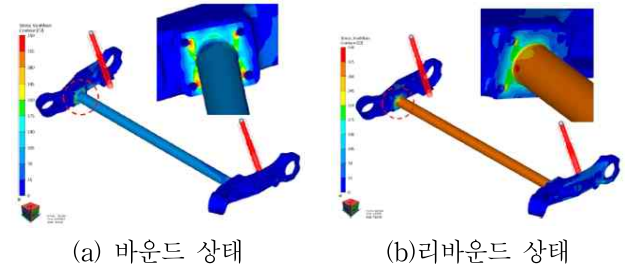
트레일링암의 경우 FCD500 재질로 지정되었으며, 나머지 부품(Tube, Plate)등은 S45C 재질로 물성치를 설정하였다.

2.2 복합하중 해석

토션빔 해석 모델을 이용하여 복합하중 해석을 진행하였으며, 부시 및 스프링 부위는 Ball joint를 이용하여 연결하였고 한쪽 휠 부분은 고정시켰다. 다른 휠에 적용하는 하중은 GVW하중조건(450kgf)을 기반으로 X축 방향으로 1G, Y축 방향으로 0.5G, Z축 방향으로 1.8G 조건으로 하중을 적용하였다.

해석결과 최대 발생응력은 바운드 시에 빔과 트레일링암을 연결하는 플레이트에서 약 294 MPa이 발생하였고, 리바운드

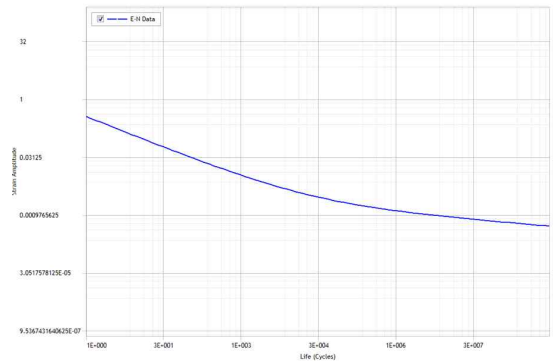
시에는 빔에서 약 327 MPa이 발생하였다.



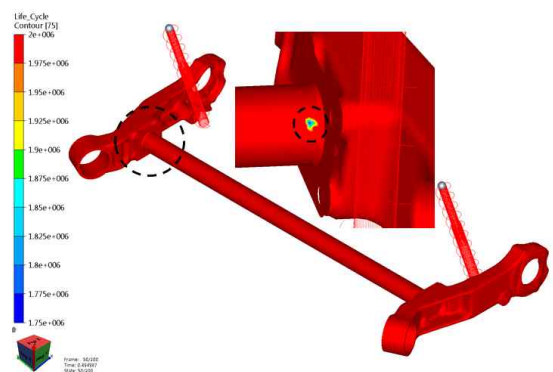
[그림 3] 복합하중 해석 결과

2.3 내구성능 해석

복합하중 해석 결과를 활용하여 내구해석을 진행하였으며, 내구 물성은 DAFUL에서 적용하는 기본 내구물성 중 탄성계수와 과단하중이 비슷한 물성으로 선정하였다. 내구 해석 결과 목표 수명 10만회를 초과하는 결과를 얻었으며, 이를 토대로 제품 수명에는 문제가 없을 것으로 판단된다.



[그림 4] 내구 물성치 그래프



[그림 5] 내구성능 해석 결과

3. 부품신뢰성 시험평가

3.1 모달 시험

모달 시험의 장비 시스템은 임팩트 헤머, 3축 가속도계, data acquisition 및 FFT 장비, 모드 분석 S/W 등으로 구성하였다.

한 포인트를 가진 점으로 선정하여 임팩트 헤머로 가진 점을 계속 가진하고 12~16 포인트에 3축 가속도계를 부착하여 각각의 3축 가속도를 측정하는 방법으로 시험을 수행하였다.



[그림 6] 모달시험 및 임팩트헤머, 가속도센서

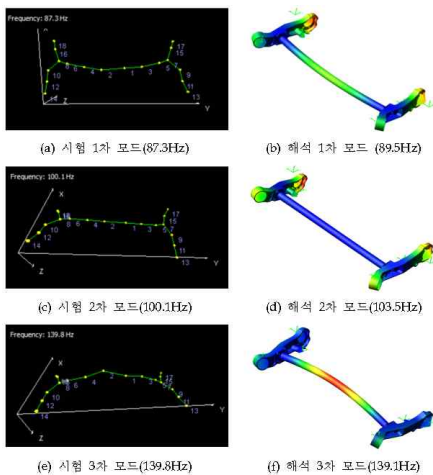
[표 2] Material properties

Part	Trailing Arm	Beam, Plate
Young's modulus	1.90E+05 N/mm ²	2.07E+05 N/mm ²
Poisson Ratio	0.3	0.3
Mass Density	7.55e-6 kgf/mm ⁴	7.85e-6 kgf/mm ⁴

모달 해석에 적용한 material property는 [표 2]와 같으며, 모달 시험 및 해석 결과는 [표 3] 및 [그림 7]에 나타내었다. [표 3]은 각 해석 모델의 고유진동수를 나타내며, 해석 결과에서 보는 바와 같이 토션빔 axle의 해석 모델의 경우 시험 결과와 매우 유사한 결과를 보였다.

[표 3] 토션빔 axle 시험 및 해석 결과 비교

Mode	고유주파수(Hz)		오차율
	시험	해석	
1st	87.3	89.5	2.5%
2nd	100.1	103.5	3.3%
3rd	139.8	139.1	0.5%

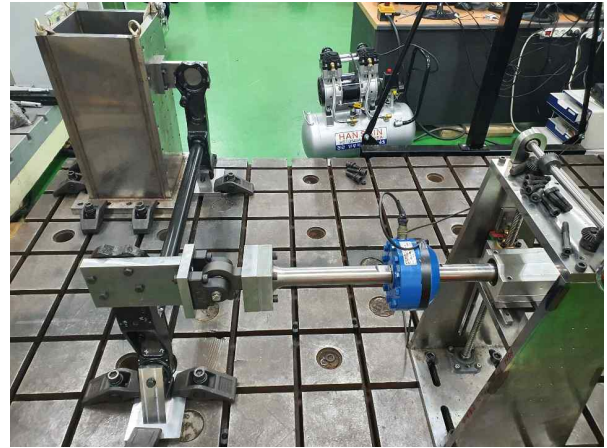


[그림 7] 모달 시험 및 해석 결과 비교

3.2 내구시험 평가

해석을 통해 도출한 하중을 액추에이터에 인가하여 내구시험을 진행하였다. Z축 방향으로 약 ±1500N을 10만 사이클 인

가 후 변형 및 파손 유무 확인하였으며, 정반에 토션빔을 지그로 고정하고, 유니버설을 설치하여 토션빔 변형에 따른 액추에이터 보정하였다.



[그림 8] 내구시험

총 10만 사이클, 2Hz로 시험 진행하였으며, 본 시험 전 900회동안 인가 하중을 점진적으로 증가시키고 본 하중 인가 후 부터 10만 사이클 내구시험 진행하였다.

내구 시험 후 현상액 도포 후 파손 및 변형 유무 확인하고 파손 및 변형 유무 확인 결과 특이사항 없었다.



[그림 9] 시험 후 사진

4. 결론

본 연구에서는 소형전기상용차용 트레일링암과 토션빔을 시제품을 제작하여 해석과 시험을 진행하였다. FE해석 해석 모델링 및 해석조건 설정은 axle만을 추출하여 FE모델을 구성하였다. 토션빔 axle의 모달 해석과 모달 시험은 매우 유사한 결과를 보였으며, 차량 내구성 해석의 기반 데이터로 사용하였다. 복합하중 해석 및 내구성 해석 결과 특이사항 없었으며, 목표로 했던 내구수명(10만회)을 초과하는 결과를 얻

었다. 최종적으로 해석을 통해 도출한 하중으로 내구시험평가가 10만 사이클까지 진행하였으며, 시험평가 후 변형이나 파손은 없었다.

차후 연구과제로는 트레일링암의 주물재질로 프레스 타입으로 설계를 변경하여 추가적인 신뢰성 시험을 하여 최적화된 설계를 할 예정이며, 실차성능시험을 통해 각 도로별 주행 특성을 확인하여 제품의 내구성능을 확인할 예정이다.

참고문헌

- [1] 서창희, 박명규, 박종규, 김영석, “열간성형공법으로 제작된 현가부품의 피로특성 연구”, 대한기계학회논문집A, v.37, no.3, pp.339-344, 2013년 3월
- [2] 최계광, 조재웅, “후륜 토션빔 서스펜션에 대한 구조해석에 의한 융합연구”, 한국융합학회논문지, v.10, no.9, pp.187-192, 2019년 9월
- [3] 최성진 외 4명, “토션빔액슬 성능 평가를 위한 해석 모델 검증에 관한 연구”, 한국자동차공학회논문집, v.14, no.2, pp.107-113, 2006년 3월
- [4] 고준복, 임영훈, 이동철, “모달 응력 회복법을 이용한 Torsion Beam Axle 내구해석”, 대한기계학회논문집A, v.34, no.10, pp.1339-1344, 2010년 10월
- [5] 이춘승, 임홍재, 이상범, “차량 토션빔의 동적 특성을 고려한 신뢰성 분석 및 최적설계”, 한국소음진동공학회 2002년도 춘계학술대회논문집, pp.813-817, 2002년 5