

일체형 차축의 진동 해석 모델 개발

Vibration Analysis Model Development of the Solid Axles

전갑진† · 최성진* · 박태원**
Kab-Jin Jun, Sung-Jin Choi and Tae-Won Park

Key Words : CTBA(Coupled Torsion Beam Axles), FEM, 동역학 해석(Dynamic Analysis)

ABSTRACT

The torsion beam axle type is widely used in the rear suspension for small passenger car because of low cost, good performance and etc. The FE and dynamic analysis using the computer are very helpful for the efficiency of the torsion beam design. First of all, the reliability on the computational model must be verified for the analysis. In this study, The FE model of the torsion beam was verified according to comparison with the test data. And after making the flexible body using the FE model, the dynamic characteristic of the tubular type torsion beam axles was compared with that of the V-beam type.

1. 서론

본 연구의 대상인 일체형 현가역슬은 좌우의 차축을 연결한 토션빔이 있고 이 양 끝에 트레일링 암(Trailing Arm)을 결합시켜 이 암만으로 전후 방향의 위치 결정과 힘을 감당하게 하는 형식이다. 간단한 구조로 되어 있으며, 차량의 코너링과 제동시 조정 안정성과 승차감 향상을 담당하고 있다. 후륜 토션빔은 다른 현가계 부품에 비해 조립이 용이하고, 작은 공간을 차지하며, 고려하여야 할 설계 변수가 적고, 원가가 싸다는 장점이 있으나, 토션빔과 용접부에 크랙이 발생할 가능성이 높은 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 초경량 일체형 현가역슬을 개발하기 위해 설계와 동시에 실시될 컴퓨터를 이용한 유한요소 해석 및 동역학 해석 모델의 신뢰성을 확보하기 위해 유한요소 모델링의 방법, 요소크기 등의 변수에 대한 최적화된 토션빔의 유한요소 모델을 개발하고, 모델의 동특성 및 진동 해석을 통해 차량 특성을 분석하고자 한다.

여 사용하였다. 휠 커리어 브라켓은 솔리드 요소로 그 외의 부품은 쉘 요소를 사용하였다. 쉘의 두께는 Table 1 과 같다. 그리고 메쉬 사이즈가 모델의 신뢰도에 얼마나 영향을 미치는지 알아보기 위해 약 3, 5, 7mm 세 종류의 메쉬 사이즈를 사용하여 모델링 후 해석 결과를 비교해 보았다. 해석 결과의 비교는 2.2 (2)에 있다. 각 파트의 재료는 SAPH440 이고 물성치는 Table 2 와 같다. 용접부는 RBE2 요소를 사용하여 모델링 하였다.

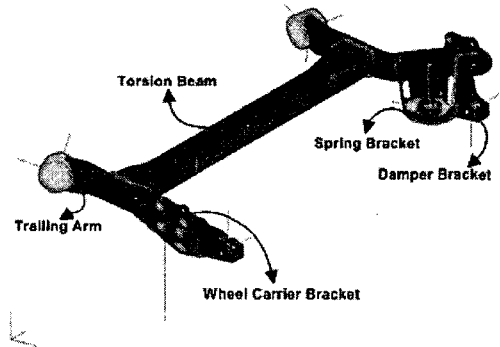


Fig. 1 Shell+solid FEM model of the solid axles

2. 유한 요소 해석 모델 개발

2.1 유한 요소 모델링

튜블러 타입 토션빔 액슬은 Fig. 1 과 같이 토션빔에 트레일링 암이 용접되어 있는 구조로 되어 있다. 유한 요소 모델은 쉘과 솔리드 요소를 혼합하

Table 1 Thickness of shell elements

Part	Thickness(mm)
Torsion Beam	2.6
Trailing Arm	2.7~3
Spring Bracket	3
Damper Bracket	3

Table 2 Material property of SAPH440

Young's Modulus	2.07E+05 N/mm ²
Poisson Ratio	0.3
Density	7.85E-09 N-sec ² /mm ⁴

† 아주대학교 기계공학부 대학원
 E-mail : preciouskj@nate.com
 Tel : (031) 219-2952, Fax : (031) 219-1965

* 자동차 부품연구원
 ** 아주대학교 기계공학부

2.2 유한 요소 해석 및 검증

(1) 롤강성 및 응력 시험

유한 요소 모델의 검증을 위해 2 가지 시험을 수행하였다. Fig. 2 와 같이 시험 장치를 꾸미고 토션빔 액슬에 변위를 입력하여 하중을 출력한 후 롤강성을 보았다. 그리고 Fig. 3(위)과 같이 용접부, 굴곡부, 중앙부 7 지점에 스트레인 게이지를 부착한 후 응력을 출력해 보았다.

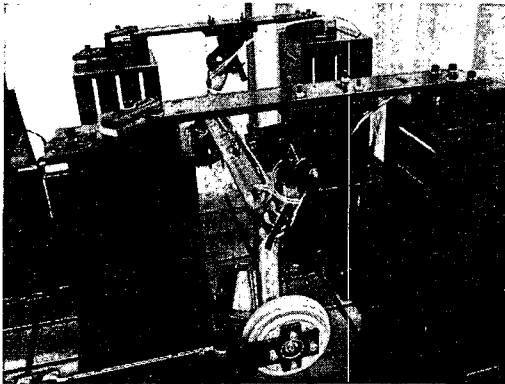


Fig. 2 The test set for roll stiffness & roll stress

(2) 해석 결과 검증

유한 요소 모델의 해석을 위한 구속조건은 Fig. 1 과 같이 MPC 를 사용하여 부싱, 스프링, 댐퍼의 가상 연결점인 각 노드의 6 자유도를 고정된 뒤 시험 조건에 맞게 휠 패치점에 하중을 입력하였다. 시험 조건은 변위를 입력하고 하중을 출력하였지만 해석은 하중을 입력하고 변위를 출력하였다. 이유는 유한요소해석 프로그램의 특성상 변위를 입력하여 하중을 출력하면 상대적으로 결과가 부정확하기 때문이다.

롤강성 시험데이터와 해석결과는 3 모델 모두 해석 결과의 경향이 Fig. 4 와 같이 유사하였고 시험데이터와 11%내외의 오차를 보였다. 오차를 보인 이유는 부싱의 비선형에서 기인한 것으로 추정할 수 있다.

응력 시험 데이터와 해석결과는 Table 3 과 같다. Fig. 3(아래)과 같이 시험에서 스트레인 게이지를 부착하였던 지점의 응력을 출력하여 시험데이터와 비교해 보았다. 대체적으로 시험 데이터와 약 10% 내외의 오차를 보이며 잘 일치하였으나 토션빔 중앙부(㉞) 한 지점의 응력은 다소 차이가 있었다.

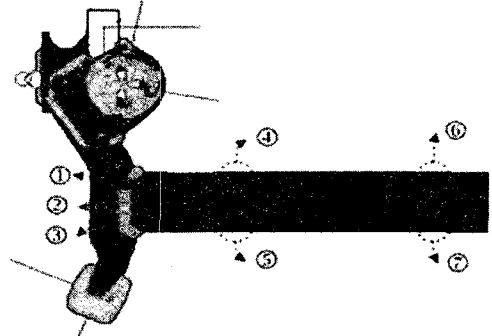
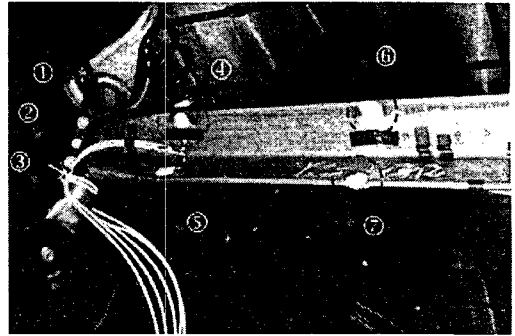


Fig. 3 The points of the strain gauges & analysis

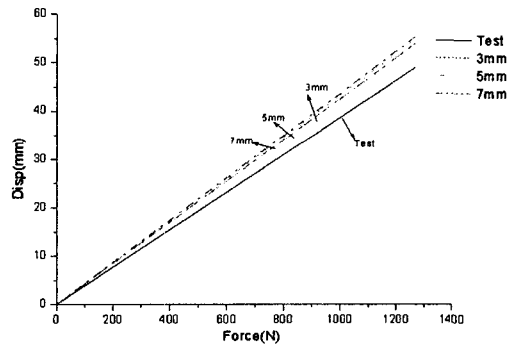


Fig. 4 The results of roll stiffness test & analysis

Table 3 The results of roll stress test & analysis

Unit : MPa

위치	시험 결과	해석 결과					
		mesh size 3mm		mesh size 5mm		mesh size 7mm	
		응력	오차 (%)	응력	오차 (%)	응력	오차 (%)
㉠	36.4	35.2	-3.30	39.5	8.52	36.5	0.27
㉡	26.1	26.5	1.53	22.9	-12.26	26	-0.38
㉢	24.6	21.1	-14.23	23.8	-3.25	20.7	-15.85
㉣	161	150	-6.83	143	-11.18	127	-21.12
㉤	211	209	-0.95	217	2.84	203	-3.79
㉥	113	101	-10.62	105	-7.08	107	-5.31
㉦	114	80.7	-29.21	82	-28.07	85	-25.44

3. 동역학 해석 모델 개발

3.1 K&C 해석

기존⁽⁵⁾의 후륜 현가장치에서 사용된 V-빔형 토션빔에서 튜블러형 토션빔으로 교체하였을 시 동적 특성의 변화를 관찰하기 전에 정적 해석의 일종의 K&C 해석을 수행하였다. 현가장치 중 토션빔은 2 절의 유한요소모델을 이용해 유연체로 모델링하고 나머지 부분은 강체로 모델링하여 각각의 모델에 교체하여 해석한 후 비교해 보았다.

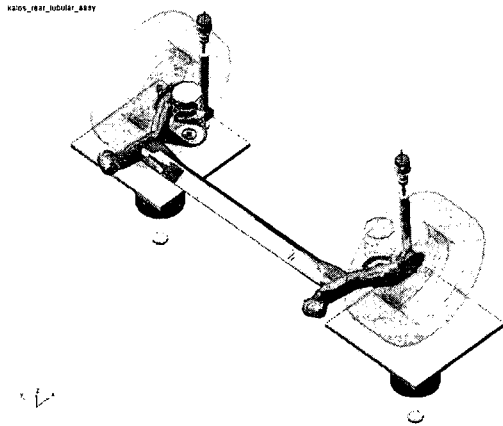


Fig. 5 Rear Suspension system K&C analysis (Tubular type)

해석결과 중 조향에 영향을 미치는 요소중에 하나인 횡력 컴플라이언스 조향을 Fig. 6 과 같이 비교해 보았다. 횡 강성의 증가로 V-빔에 비해 튜블러형이 횡력에 대한 조향이 감소하는 경향을 보였다.

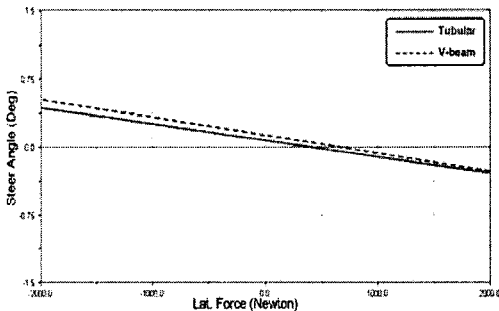


Fig. 6 Lateral Compliance Steer

3.2 조종 안정성 평가

3.1 에서 K&C 해석을 수행 후 전체 차량을 모델링하여 조종 안정성 평가를 수행하였다. 조종 안정성을 평가하는 방법에는 여러 가지가 있겠지만 J-턴 해석과 임펄스 조향을 이용한 4 인자 평가를 수행하였다.

(1) J-턴

J-턴 해석은 과도 응답 시험의 하나로 일정 차속으로 직진 주행 중에 스텝 모양의 핸들 조타를 입력하여 그 후의 차량 거동의 과도 상태와 정상 상태를 보는 것이다.⁽³⁾

ISO 규정에 있는 100km/h 운행시 횡가속도 0.4G 가 발생하는 조향각을 입력하여 횡가속도, yaw rate, 옆 미끄러짐각의 응답을 보았다.

전체 차량의 모델링 모습과 조향각 입력, 해석 결과에 대한 그래프는 Fig. 7 과 같다.

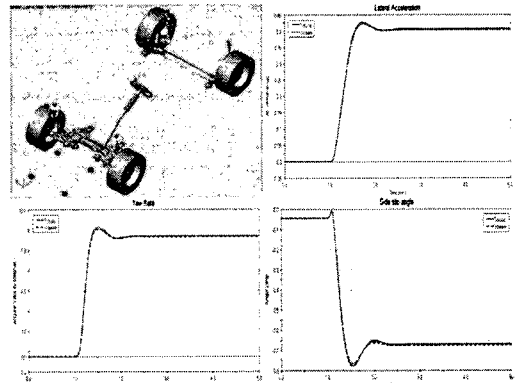


Fig. 7 J-turn analysis

전체적으로 튜블러형 토션빔이 V-빔형보다 응답 속도가 빨랐고 over shoot 이 컸다.

(2) 4 인자 평가

차량의 조종 안정성을 평가하기 위한 방법 중에 하나로 T. Mimuro 에 의해 개발된 4 인자 평가를 사용하였다.⁽⁶⁾ 이 평가 방법은 차량의 시간 응답을 주파수 응답으로 변환해 4 개의 인자(정상상태 요 속도 응답 이득 : a_1 , 요 속도 응답 진동수 : f_n , 요 속도 감쇠비 : ζ , 1Hz 에서의 횡가속도 위상 : ϕ)를 추출한 뒤, 사방형에 도시하여 시각적으로 알아 볼 수 있게 하는 방법이다.

차량의 시간 응답을 먼저 구하기 위해 Fig. 8 과 같이 횡가속도 0.3~0.4g 가 출력되는 펄스 조향 입력을 주었다. 결과는 Fig. 9 와 같다.

Fig. 9 를 이용하여 Table 4 와 같이 4 인자를 구하였고 각 인자들을 정규화(normalization)한 후 Fig. 10 과 같이 사방형으로 도시하여 튜블러형과 V-빔형에 대한 총 면적을 구하였다. 총 면적은 차량의 전체적인 운동 특성을 나타내는 것으로 면적이 클수록 성능이 좋다는 것이다.

결과에서 알 수 있듯이 전체적으로 튜블러형이 V-빔에 비해 93%정도의 운동 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 특히 조종 응답성이 89%로 상대적으로 다른 인자들에 비해 나쁘게 나타났다.

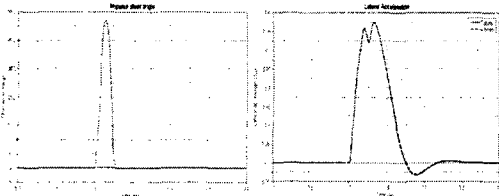


Fig. 8 Impulse input steer(left) & output Lat. Acc.(Right)

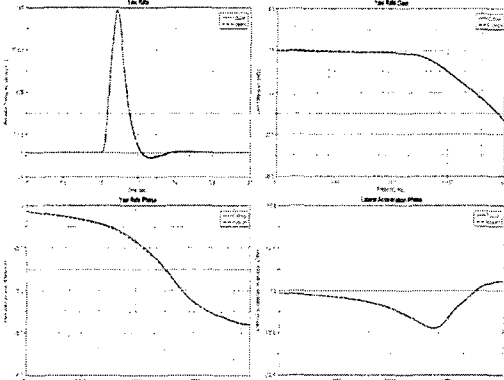


Fig. 9 The result of impulse steer

Table 4 The result of 4 parameter evaluation

구분	단위	Tubular	V-beam	Tubular /V-beam
조종용이성 (a_1)	1/s	0.4167	0.4224	0.9865
조종응답성 (f_n)	Hz	0.7813	0.8789	0.8889
방향감쇠성 (ζ)		0.8213	0.8367	0.9816
추종제어성 (ϕ)	deg	63.4	63.7	0.9953
총면적		1.85	2	0.93

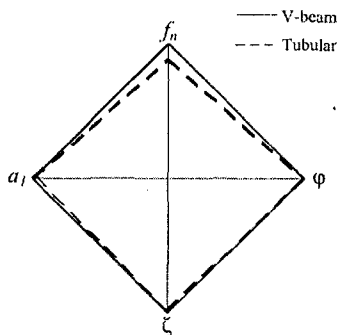


Fig. 10 Rhombus of 4 parameter

4. 결론

본 논문에서는 튜블러형 CTBA의 진동 해석 모델을 개발하고 모델에 대한 검증은 해보았다. 모델에 대한 개발 순서와 검증 순서는 다음과 같다.

- (1) 유한 요소 모델 개발 및 해석
- (2) 유연체 모델을 삽입한 후륜현가장치 정적 해석
- (3) 전체 차량 모델의 조종 안정성 평가를 위한 동역학 해석

유한 요소 해석 모델은 롤강성과 응력 시험으로 검증하였다. 쉘요소를 사용한 모델의 신뢰성 검증을 위해 메쉬 사이즈 별 모델을 3개 만들었고 이를 비교했다. 결과는 3 모델 모두 경향이 거의 비슷하게 나왔다. 그러므로 해석의 효율성을 위해 토션빔의 유한요소 해석을 위한 쉘 요소는 5~7mm 정도의 메쉬를 사용해도 문제가 없을 것으로 판단된다.

후륜 현가 장치 및 전체 차량 모델의 검증은 기존의 V-빔형 모델과 비교하여 보았다. 튜블러형의 개발 목적이 경량화이면서 V-빔형의 조정 안정성과 차이가 없어야 한다는 것이다. 해석 결과 성능이 크게 떨어지지 않는 것으로 판단된다.

후기

본 연구를 진행할 수 있도록 도움을 주신 자동차 부품 연구원에 감사 드린다.

참고문헌

- (1) MSC NASTRAN/PATRAN Manual
- (2) MSC ADAMS Manual
- (3) 한국 자동차 공학회 / 자동차 기술 핸드북
- (4) Thomas D. Gillespie / Fundamentals of Vehicle Dynamics
- (5) Choi, S. J., Han S. W., Park J. W., Jeon K. K., Choi G. J., Ko H. G., and Lee D. J., 2004, "A Study on the Simulation Model Verification for Performance Evaluation of Torsion Beam Axle", KSAE Annual Fall Conference, Vol. 2, pp. 623~629
- (6) T. Mimuro, Masayoshi Ohsaki, Hiromichi Yasunaga, and Kohji Satoh, 1990, "Four Parameter Evaluation Method of Lateral Transient Response", SAE, pp. 1499~1508