

<기술논문>

토션빔액슬 성능 평가를 위한 해석 모델 검증에 관한 연구

최성진^{*1)} · 박정원¹⁾ · 전광기¹⁾ · 이동재²⁾ · 최규재³⁾ · 박태원⁴⁾

자동차부품연구원¹⁾ · 오스팀²⁾ · 군산대학교 기계공학부³⁾ · 아주대학교 기계공학부⁴⁾

A Study on the Simulation Model Verification for Performance Estimation of Torsion Beam Axle

Sungjin Choi^{*1)} · Jungwon Park¹⁾ · Kwangki Jeon¹⁾ · Dongjae Lee²⁾ · Gyoojae Choi³⁾ · Taewon Park⁴⁾

¹⁾Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-ri, Pungse-myun, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

²⁾Austem, Changsan-ri, Sushin-myun, Cheonan-si, Chungnam 330-882, Korea

³⁾Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea

⁴⁾Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

(Received 22 July 2005 / Accepted 20 November 2005)

Abstract : The torsion beam axle type is widely used in the rear suspension for small passenger cars due to low cost, good performance, etc. To develop the torsion beam axle, it is necessary to estimate the characteristics of rear suspension from the design process. The characteristics estimation of the torsion beam axle is performed using FEM, dynamic simulation and is verified the real test. In this study, the natural frequency and roll stiffness of the torsion beam axle were measured by FEM, and the reliability of the FE model was evaluated according to the comparison of test data. This study presents a unique method for the finite element modeling and analysis of the torsion beam axle. The results of the FEA were verified using test data.

Key words : Torsion beam axle(토션빔액슬), Modal test(모달시험), Roll stiffness(롤강성), Dynamic characteristic (동특성)

1. 서론

토션빔액슬(Torsion beam axle) 현가장치는 좌, 우측 바퀴의 움직임에 의해 비틀림 특성을 갖는 빔(beam)으로 연결된 형태의 현가장치이다. 이것은 독립 현가장치의 특성을 일정부분 가지며, 공간 활용성이 좋고 가격에 비해 성능이 우수하여 승용차의 후륜 현가장치에 많이 사용되고 있다.¹⁾

고기능/경량화/저연비의 차량 개발 추세에 맞추어 토션빔액슬의 개발 방향도 경량화 및 일체화로

가고 있다. 이는 토션빔액슬의 경량화가 후륜 현가 장치의 경량화로 이어져 차량의 중량 감소, 성능 및 연비에 많은 영향을 주기 때문이다.

후륜 현가장치는 승차감 및 조종안정성에 매우 큰 영향을 주어 설계에 따라 차량의 성능을 좌우할 정도로 매우 중요하다. 따라서 토션빔액슬 현가 장치의 설계 및 개발을 위해서는 동역학적 현가 특성과 구조강성 등을 동시에 만족시킬 수 있는 설계 기술이 필요하다.^{2,4)}

본 논문에서는 현재 승용차에 사용되고 있는 판재형 토션빔액슬을 해석적인 방법^{5,6)}으로 특성을 평가하기 위해 2가지 유한요소 해석모델을 제시

*Corresponding author. E-mail: sjchoi@katech.re.kr

하고 여러 가지 해석 조건으로 해석을 수행하였다.

해석 모델의 신뢰성을 검증하기 위해 시험을 통해 해석 모델과 correlation을 수행하였으며, 단품 상태에서 토션빔의 성능도 평가하였다. 또한 검증된 유한요소모델과 부시, 스프링 등의 현가장치 구성 요소를 연결하여 K & C(Kinematic & Compliance) 특성 및 전체 차량 동특성 평가를 수행하여 시스템 관점에서의 성능 평가를 수행하였다.

2. 토션빔액슬 해석

일반적인 토션빔의 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 판재 빔을 ‘V’자 형으로 성형하고 트레일링암, 보강재가 용접으로 연결되어 있다. 토션빔액슬의 물성치와 각 구성 요소를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

복잡한 형상과 구조적 특성을 고려한 토션빔액슬의 해석은 유한요소모델 구성하는데 많은 시간과 노력이 소요된다. 때문에 shell 요소를 사용한 해석 모델이 많이 사용되고 있지만 해석 결과는 정량적으로 실제와 상당한 차이를 나타내고 있다. 반면 solid 요소를 사용할 경우 용접부 표현 등 모델의 정확도를 높여 신뢰성 있는 성능평가가 가능하지만 요소(element)수가 많고 모델링 과정이 어려우며 해석 시간이 많이 소요된다. 따라서 토션빔액슬의 신뢰성 있는 평가를 위해 2가지 모델을 제시하여 모델을 검증하고 각 특성을 평가하였다.

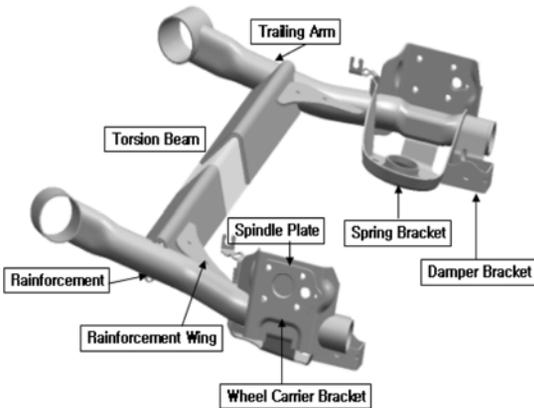


Fig. 1 Beam type torsion beam axle

Table 1 SAPH440 material properties

Young's modulus	2.07E5 N/mm ²
Poisson ratio	0.3
Mass density	7.85E-9 N-sec ² /mm ⁴

Table 2 Beam type torsion beam axle components

Part	Material	Thickness
Torsion beam	SAPH440	6mm
Trailing arm	SAPH440	4mm
Spring bracket	SAPH440	3mm
Damper bracket	SAPH440	3mm
Wheel carrier bracket	SAPH440	4mm
Reinforcement wing	SAPH440	4mm
Spindle plate	SAPH440	7mm
Reinforcement	SAPH440	3.6mm

2.1 유한요소 모델링

2.1.1 Shell solid 모델

일반적으로 토션빔액슬, 서브프레임 등 박판에 가까운 형상을 갖는 구성품은 shell 요소로 모델링 되어진다. Shell 요소로 모델링 할 경우 각 구성품이 연결되는 용접부는 rigid bar 요소인 RBE2를 이용하여 연결되는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 비교적 두께가 두꺼운 토션빔, spindle plate, wheel carrier bracket을 제외한 모든 구성품은 shell 요소로 모델링 하였고 용접부위의 모델링은 Fig. 2에 점선 및 화살표로 나타내었다.

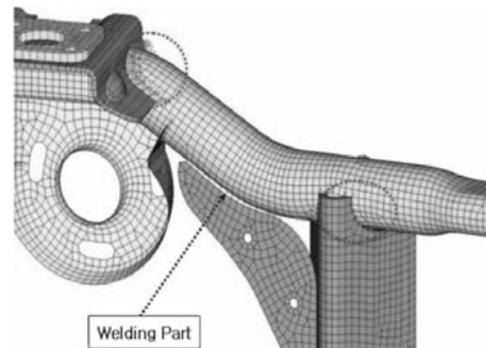


Fig. 2 Shell solid model welding part

2.1.2 All solid 모델

All solid 모델은 토션빔액슬 구성요소 모두를 solid element를 이용하여 구성한 모델이다. 모델의

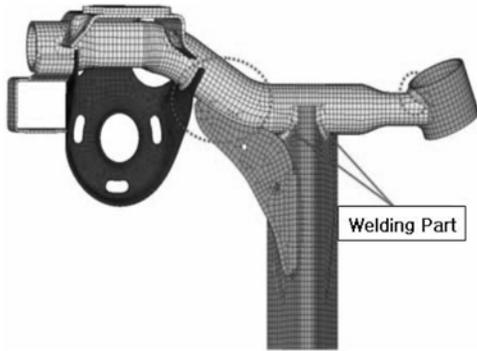


Fig. 3 All solid model - welding parts

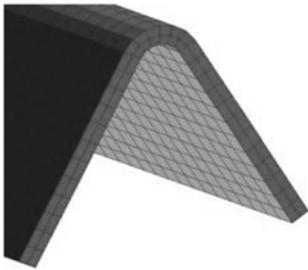


Fig. 4 Torsion beam section element(all solid model)

정확도 및 신뢰성을 향상시키기 위해 Fig. 3과 같이 토션빔과 트레일링암 및 보강재 연결 부분 등의 용접부위가 실제와 유사하도록 부재와 같은 물성치의 삼각 요소로 모델링 하였으며 실제 용접부와 유사한 크기로 구성하였다. 또한 토션빔 단면은 2단으로 모델링하였고, 정방격자에 가깝도록 격자 크기를 정하였으며 토션빔의 단면 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

2.2 강성 해석

2.2.1 강성 시험

토션빔액슬의 단품 특성을 평가하고 해석 모델의 강성을 검증하기 위해 토션빔액슬의 중요한 성능인 자인 롤 강성 시험을 실시하였다. 롤 강성 시험을 수행하기 위해 단축 유압 시험 장비를 사용하였고, Fig. 5는 시험 장면을 도시하였다. 토션빔액슬의 설치는 양쪽 마운팅 부시 브라켓과 좌측 스핀들 평판을 볼트로 지그에 고정하였고, 우측 스핀들 평판에 변위를 인가하면서 변위에 따른 하중 곡선을 측정하는 방법을 사용하였다. 측정항목은 LVDT(Linear

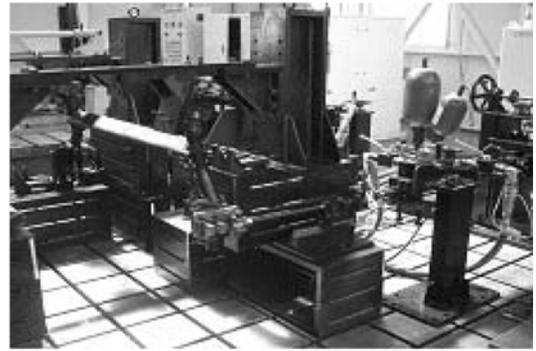


Fig. 5 Roll stiffness test

Variable Differential Transformer)와 로드셀로부터 변위 및 하중을 측정하였다.

2.2.2 해석 결과

앞 절에서 구성된 all solid, shell solid 모델에 대한 모델 검증 및 신뢰성을 확보하기 위해 두 모델에 대한 롤 강성 해석을 수행하였고, 시험 결과와 비교 분석하였다.

롤 강성 해석의 경계조건은 Fig. 6에 나타난 것과 같이 시험과 동일하게 좌, 우 마운팅 부시 및 한쪽 휠 센터에 대해 6자유도(123456)를 구속하였으며, 나머지 한쪽 휠 센터에 수직방향 변위를 입력하여 해석을 수행하였다.

해석 결과는 Fig. 7에 시험과 해석 모델별로 비교하였으며, all solid 모델은 12.87N/mm로 12.8N/mm의 시험 결과와 0.54%의 오차로 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 shell solid 모델은 10.7N/mm로 약 17%의 오차를 보였다. 시험치와 shell solid 모델의 오차는 트레일링암과 다른 각 부품을 연결하는 용접부위 모델링이 rigid 요소로 구성되어 이로 인한 부정확성에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

해석 결과에서 알 수 있듯이 해석 모델은 all solid 모델이 매우 정확한 결과를 보인다. 하지만 all solid 모델은 모델 구성에 많은 시간이 필요하고, 설계 시 토션빔액슬 구성품의 두께가 더 얇아진다면, 요소의 크기가 작아져 모델링 및 해석 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 반면, shell solid 모델은 시험 결과와 비교적 큰 오차가 있으나, 단시간에 모델을 구성할 수 있고, 해석 크기도 all solid 모델에 비해 매우

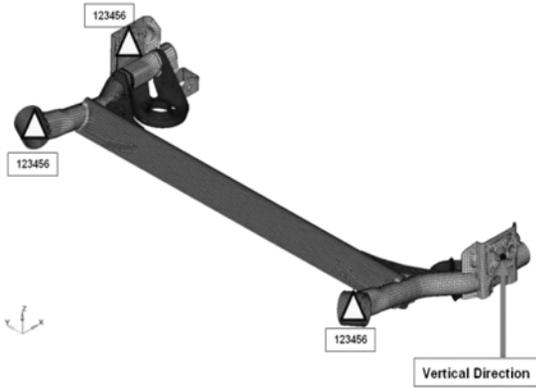


Fig. 6 Roll stiffness analysis model(all solid)

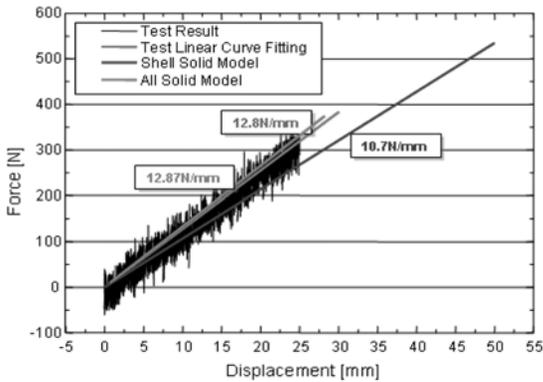


Fig. 7 Roll stiffness test & analysis result

작다는 장점이 있다. 따라서 각 모델은 시험 결과와의 correlation 과정을 거쳐 토션빔액슬 초기 개념설계 단계에서 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2.3 모달 해석

2.3.1 모달 시험

단품 상태의 특성을 평가하기 위한 또 한가지 방법은 모달 시험이며 강성 해석에서와는 달리 질량 특성을 포함하게 되므로 단품의 동특성 및 진동 특성을 간접적으로 평가할 수 있다.

모달 시험은 Fig. 8과 같이 가속도 측정위치 및 가진점 위치를 선정하여 시험을 수행하였으며 해석 결과와 비교하였다.

2.3.2 해석 결과

앞에서 구성된 모델을 사용하여 free-free 경계조

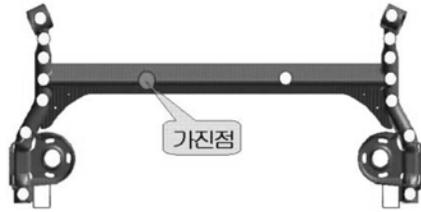
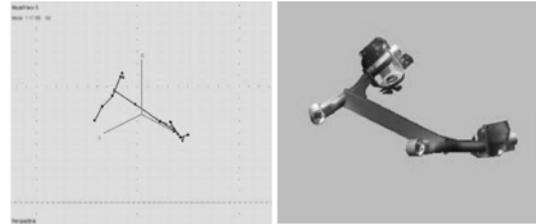
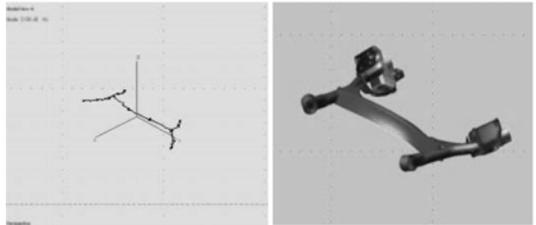


Fig. 8 Measure points & impact position



(a) 1st mode : twist mode



(b) 2nd mode : bending mode

Fig. 9 Modal test & analysis result

Table 3 Modal test & analysis result

	Test	All solid model	Shell solid model
1st	17.66	17.56	17.29
2nd	108.4	108.87	104.68
3rd	146.31	145.45	144.87
4th	175.6	173.71	162.52
5th	222.73	227.41	200.76

건에서 모달 해석을 수행하였으며, 해석 결과 모드 형상과 고유주파수를 Fig. 9와 Table 3에 나타내었다.

해석 결과, all solid 모델은 1st - 5th 모드까지 시험 결과와 매우 유사하게 일치하고 있다. 하지만 shell solid 모델은 고차 모드로 갈수록 오차범위가 점점 커지는 것을 확인할 수 있어 all solid 모델이 각 부품의 구조적 형상 및 용접부를 잘 표현하고 있음을 볼 수 있다.

3. 차량시스템 해석 평가

3.1 K & C 해석

토션빔액슬의 단품 평가를 통해 단품의 특성 파악은 가능하지만 실제 차량에 장착되었을 경우 차량 운동성능에 미치는 영향도를 정량적으로 파악하기는 불가능하다. 따라서 장착상태에서의 성능평가가 반드시 필요하며 가장 기본이 되는 것이 K & C 특성평가이다.

차량 성능 평가와 해석 모델의 검증을 위해 기본이 되는 SPMD(Suspension Parameter Measurement Device) 데이터는 특성시험기를 이용하여 측정하였다. 해석모델은 ADAMS를 이용하여 유한요소 모델에 대한 유연체를 생성하고 부시, 스프링 등과 조합하여 현가장치 모델을 구성하였다(Fig. 10).

토션빔액슬 현가장치인 경우 차량의 성능을 좌우하는데 있어 가장 중요한 인자는 lateral compliance steer이다. 이 특성은 lateral compliance toe change 변화로 알 수 있으며, Fig. 11에 SPMD 시험 결과와 각 모델에 대한 해석 결과를 비교하였다.



Fig. 10 K & C analysis modeling

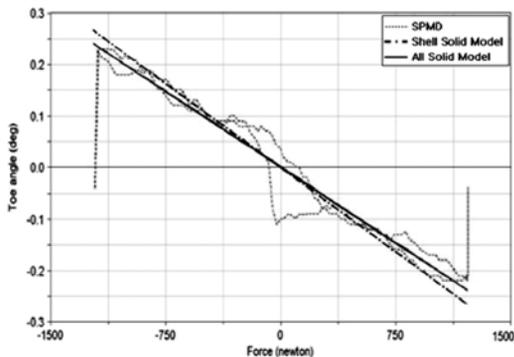


Fig. 11 K & C analysis result(toe angle)

Fig. 11에서 all solid 모델은 SPMD 결과와 매우 유사하게 일치하는 반면, shell solid 모델은 약간의 오차가 발생함을 알 수 있다.

All solid 모델에 비해 shell solid 모델의 경우 lateral compliance steer가 크게 나타나므로 전체 차량 조향 특성은 O.S(oversteer) 특성이 강하게 나타날 것으로 예측할 수 있다.

3.2 J-turn 해석

단품 평가 및 K & C 평가로부터 all solid 모델에 비하여 shell solid 모델의 경우 전체적인 강성이 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. 때문에 전체 차량 동특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 전 후륜 서스펜션 및 구동계, 제동계, 차체 등의 서브시스템을 조합하여 전체 차량 모델을 구성하였으며 이를 Fig. 12에 나타내었다.

해석조건은 J-Turn 해석을 통해 각 모델에 대한 전체 차량 동특성을 비교 분석하였으며 주행 속도는 80Km/h이고 횡가속도 0.4G가 발생하는 조향각을 입력하였다.

해석 결과, 횡가속도, yaw rate, roll angle 등의 성능인자는 많은 차이를 나타내지 않았으나 side slip angle 응답은 Fig. 13에 도시한 것처럼 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다.

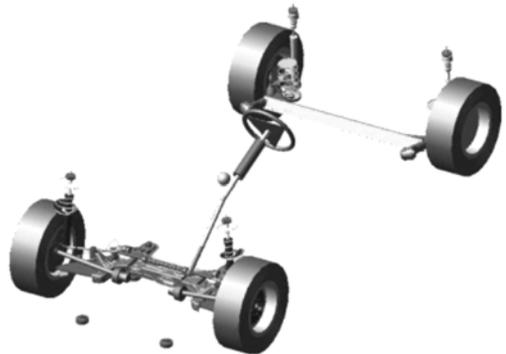


Fig. 12 Full vehicle analysis model

3.3 응력 해석

해석 모델의 강성 차이는 부품 응력 및 내구성능 해석 등에 영향을 미칠 수 있다. 그 영향을 파악하기 위해 벨지안로 주행시험을 실시하고, 시험과 동일

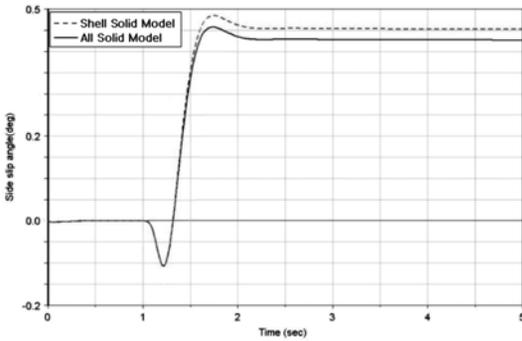


Fig. 13 Side slip angle change

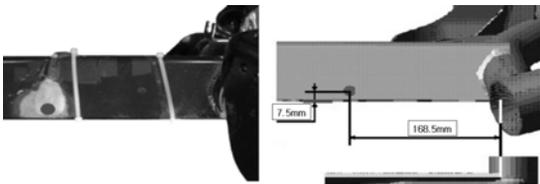


Fig. 14 Strain gauge installed position

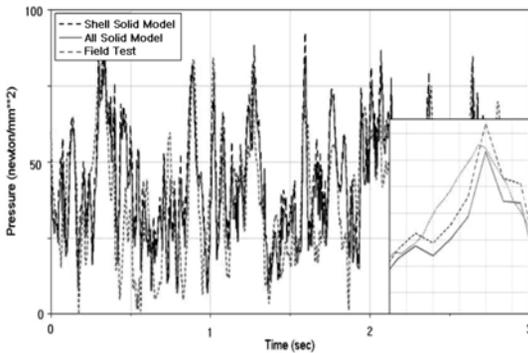


Fig. 15 Vehicle test & stress analysis result

한 조건으로 해석 모델을 구성하여 결과를 비교하였다. 해석 모델의 가진 입력조건은 시험을 통해 휠 센터에 작용하는 하중을 측정하여 해석 모델의 휠 센터에 가진하였다.

결과 비교는 시험에서 토션빔에 부착된 스트레인 게이지의 위치를 정확하게 측정하여 해석 모델의 동일한 위치에 있는 절점(node)의 응력을 비교하였다.

Fig. 14는 실차 주행시험에서 토션빔액슬의 strain gauge의 장착 위치와 해석모델의 응력 추출 위치를 도시한 것이다. Fig. 15는 시험과 해석 결과(확대 그

Table 4 RMS value of Von-Mises stress

Model	Test	All solid	Shell solid
RMS	41.36	42.35	46.09

림)를 비교한 것으로 all soild 모델이 shell soild 모델 보다 시험치에 더 근사한 값을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 시험과 해석 결과를 정량적으로 나타내기 위해 Table 4에 RMS 값을 나타내었다. All Solid 모델에 비해 shell solid 모델에서 응력값이 다소 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이것은 shell solid 모델을 사용한 내구 해석 결과는 실제보다 내구성능이 낮게 평가 될 수 있다는 것을 의미한다.

4. 결 론

토션빔액슬의 특성을 해석적인 방법으로 평가하기 위해 2가지 유한요소 해석모델을 제시하였고 여러 가지 해석 조건을 이용하여 해석을 수행하였다. 제시된 모델은 시험을 통해 모델을 검증하고 부품의 특성을 평가하였다.

토션빔액슬의 성능을 해석적으로 평가하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 모델링 방법에 따른 해석결과와 신뢰성 검증
- 부품 특성 시험 및 해석을 통한 성능평가 및 모델 검증(정적 강성, 고유주파수)
- 시스템 관점에서의 시험 및 해석을 통한 성능평가 (K & C, 차량동특성, 부품 응력 해석)

각종 시험 및 해석을 수행한 결과 정확한 성능 평가를 위해서는 용접부의 형상이 실제와 유사하게 모델링 되어져야 한다. 이를 위해 solid 모델을 사용하는 것이 바람직하고, 부품 특성 평가에서 정확하게 검증된 모델을 사용하는 것이 시스템 단위에서의 평가에서도 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

References

- 1) J. Reimpell, H. Stoll and J. W. Betzler, The Automotive Chassis : Engineering Principles, SAE, 2001.
- 2) J. S. Kang, "Kinematic Analysis of Torsion Beam Suspension," Transactions of KSAE, Vol.12, No.5, pp.146-153, 2004.

- 3) S. S. Kim, S. B. Lee and H. K. Jung, "Kinemato-Static Analysis of Torsion Beam Suspension with Varying Cross Section and Location of the Beam," Spring Conference Proceedings, Vol.II, KSAE, pp.813-817, 2002.
- 4) T. K. Jin and N. K. Lee, "Torsion Beam Design of Torsion Beam Axle," Technical Review, 1998.
- 5) D. C. Lee and J. H. Byun, "A Study on the Structural Characteristics and Roll Behavior of Suspension for the Section Profile of Torsion Beam," Transactions of KSAE, Vol.7, No.9, pp.195-202, 1999.
- 6) G. J. Choi, K. K. Jeon and S. J. Choi, Development of Ultra-light Torsion Beam Axle Suspension, Transaction, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2004.