

ADAMS/CSM 을 이용한 차량동역학 해석 Vehicle Dynamic Analysis using ADAMS/CSM

이치범, 계경태, 김영준(현대모비스, 응용기술연구부)

C. B. Lee, K. T. Kye, Y. J. Kim(Hyundai Mobis, Applied Technology Div.)

ABSTRACT

Flexibly mounted kinematic linkages usually define suspension systems and have an effect on the handling performance. In the case of benchmarking the car made by other company, it is not easy to obtain its suspension geometric data. CSM(Conceptual Suspension Module) is one of the modules included in ADAMS/Car and can make the dynamic model not with those data but with kinematic & compliant suspension characteristics obtained by rig test. This paper described the results of dynamic analysis about two cars in the point of view of handling performance. One was the car in developing and the other was the car for benchmarking. It was expected that the technique using CSM could be useful in design stage as well as save cost and time.

Key Words : ADAMS/CSM, Suspension(현가장치), Handling(조종안정성), Conceptual Suspension, Coupled Torsion Beam Axle

1. 서론

Ride & Handling 성능은 인간의 감성에 매우 의존적이므로 절대적인 기준을 정해 놓고 개발 하기가 어렵다. 따라서 차량개발에 필요한 성능 예측은 경쟁차 해석결과와 상대 비교하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 경쟁차량이 타사 제품일 경우가 대부분이므로, 그 차의 기구 링크 구조를 고려한 다물체 현가 모델(multibody suspension model)을 구성하기는 매우 어렵다.

2000 년에 발표된 ADAMS/Car^[1] CSM(Conceptual Suspension Module)은 SPMD 시험기에서 얻어진 기구학 및 컴플라이언스 특성 데이터를 이용하여 차량 동역학 모델에서 필요로 하는 기구학적 구속조건을 만들어 내므로 다물체 현가모델을 구성하는데 필요한 시간과 비용을 절감할 수 있다.

본 논문에서는 전륜 McPherson strut, 후륜 CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)^{[2],[3]}를 가진 차량을 개발하는 과정에서 CSM 기법을 적용한 사례를 소개하였다. 먼저 개발차에 대하여 CSM 모델과 다물체 모델의 기구학 및 컴플라이언스 해석 결과를 시험 결과와 비교하였고, 둘째, 개발차를 CSM 과 다물체로 각각 모델링하여, Handling 특성 해석결과를 비교하였으며, 셋째, 개발차와 경쟁차의 기구학 및 컴플라이언스 특성과 Handling 특성 해석 결과를 비교하였다.

2. 본론

2.1 차량 모델의 구성과 검증

개발차량의 실측 데이터를 이용하여 다물체 모델과 CSM 모델을 구성하고, 현가장치의 기구학 해석결과를 SPMD 시험 결과와 비교하였다.

2.1.1 다물체 모델

차량의 현가계, 조향계의 Hardpoint 와 관성 파라미터, 스프링(spring), 댐퍼(damper), 부쉬(bush), 타이어(tire)의 데이터를 입력하여 다물체 모델을 구성하였다. 후륜의 CTBA 의 경우 유한요소해석 기법을 이용하여 탄성체(Flexible body)로 모델링 하였다. 그림 1 은 ADAMS/CAR 로 구성된 다물체 모델을 보여 준다.

2.1.2 Conceptual Suspension 모델

Conceptual Suspension 은 현가장치의 기구학 및 컴플라이언스 특성 데이터를 이용하여 기존의 현가장치의 기능을 구현하는 것으로 설계단계에서 차량의 현가 특성을 검토한다던가 설계 데이터가 부족한 경쟁차량을 실측하여 모델링한 후 해석하여 보는데 이용할 수 있다.

CSM 모델은 다물체 모델이 그러한 것처럼 기구학적 특성뿐만 아니라 외부하중에 의한 컴플라이언스 특성도 포함한다. 내부적으로 휠캐리어(wheel carrier)가 공간상에서 3 차원 곡선 운동 조건으로 구속되어 있고, 외부하중에 의한 위치와 자세의 변화도 고려되어 있다. 공간 속에서 서로 다른 5 개의 인자들(toe, camber, wheelbase change, track change, side view angle)을 Wheel Stroke 에 대하여, 비선형 곡선으로 입력하여 현가 특성을 묘사한다.

그림 2 는 CSM 을 이용한 차량동역학 모델을 보여준다.

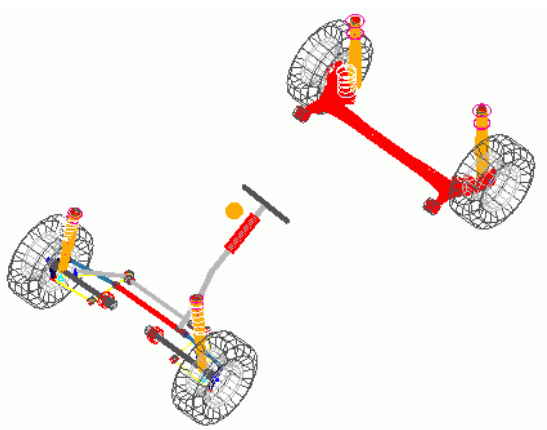


그림 1. 다물체 동역학 모델

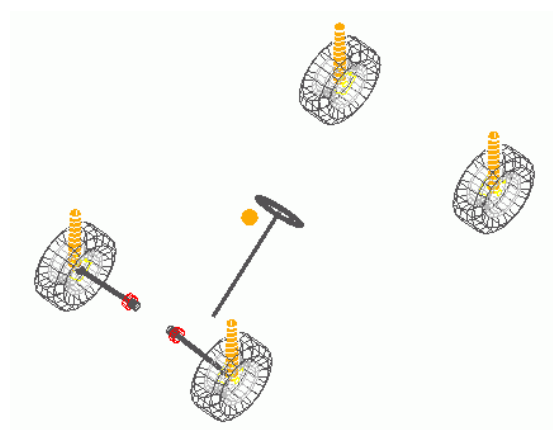


그림 2. CSM 모델

2.1.3 CSM 모델의 검증

CSM 모델을 검증하기 위하여 기 제작된 개발 차량의 CSM 모델과 다물체 모델의 해석결과를 비교하였다.

그림 3 은 다물체 모델과 CSM 모델에 대하여 전륜 현가장치의 기구학적 특성 해석 결과와 시험 결과를 비교한 것이다.

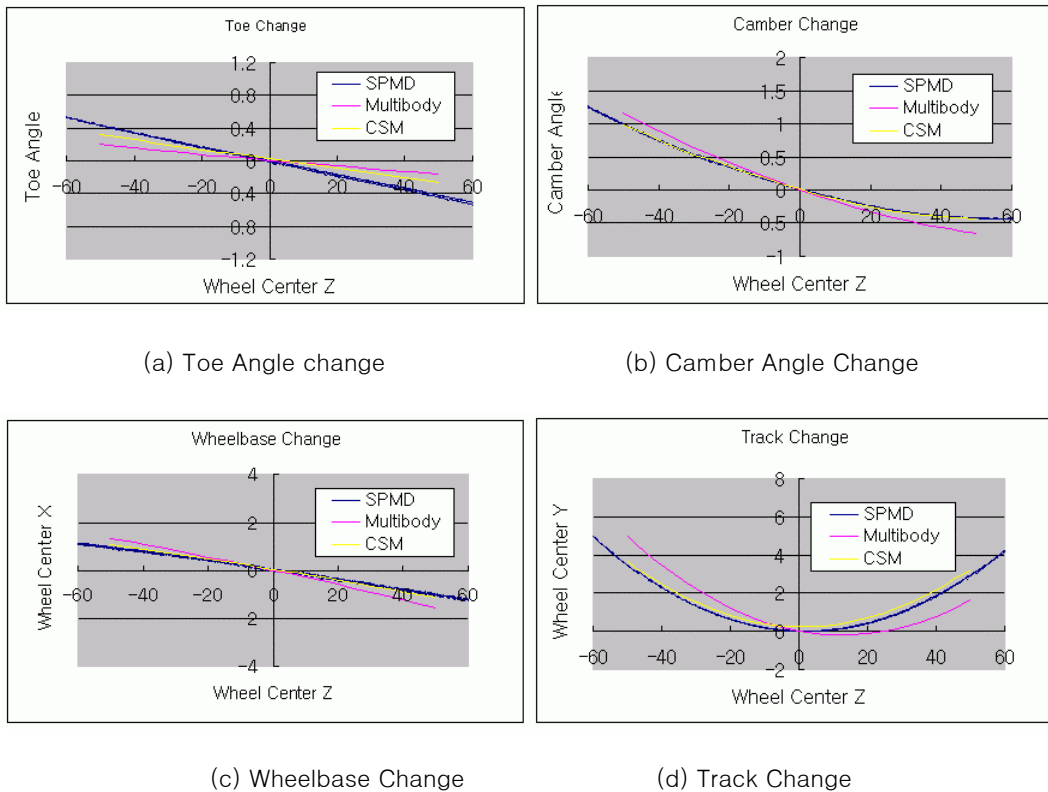


그림 3. SPMD 데이터와 다물체 모델, CSM 모델의 기구학적 해석 결과 비교

그림 3 에서 CSM 모델은 시험 결과와 잘 일치하며 다물체 모델은 CSM 모델보다 시험 결과와의 오차가 더 큼을 알 수 있다. 이는 CSM 모델의 입력자료는 모두 시험을 통해서 얻을 수 있는 반면, 다물체 모델의 입력자료는 대부분 설계상의 자료를 사용하였는데 그 특성이 실제로 만들어진 제품과 오차를 가지고 있으며, 또한 일부 부정확한 데이터가 사용되었기 때문이다. 이와 같이 CSM 모델은 실제 차량을 더 정확히 해석할 수 있으며 모델도 더 쉽고 빠르게 작성할 수 있었다.

그림 4 는 다물체 모델과 CSM 모델에 동일한 펄스 조향 입력을 부여하여 핸들링 특성을 해석한 결과를 보여준다.

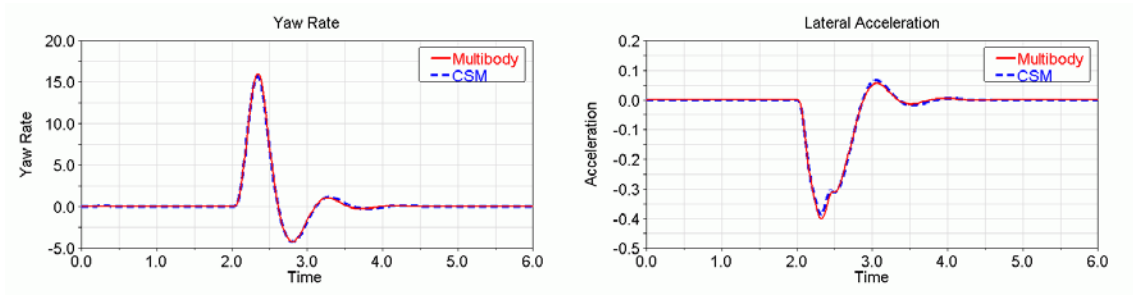


그림 4. 펄스 조향 해석에서 다물체 모델과 CSM 모델의 비교

다물체 모델과 CSM 모델이 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 J-turn 해석이나 정상원 선회 해석에서도 유사한 결과를 보인다. 이로써 CSM 모델이 다물체 모델과 잘 일치하는 것을 알 수 있고, 설계 데이터를 얻을 수 없는 경쟁차량의 경우, CSM 모델의 해석만으로도 다물체 모델을 대신할 수 있다는 결론을 얻었다.

2.2 경쟁차와의 비교

현재 개발중인 차량과 동급의 경쟁차 모델 중 전후륜 현가장치 타입이 같은 차량을 선정하여 비교하기로 하였다. 경쟁차에 대하여 개발 차량과 동일한 방법으로 관성 파라미터, 현가 특성, 댐퍼 특성을 측정하여 CSM 으로 모델링하였다. 표 1 은 개발 프로토타입(prototype) 차량과 경쟁차량의 관성파라미터를 나타낸다.

2.2.1 관성파라미터의 비교

개발 프로토타입 차량의 경쟁차량의 관성 파라미터 측정 결과를 비교하면 표 1 과 같으며, CSM 모델을 구성하는데 있어 이 값을 이용하였다. 경쟁차의 경우 개발 프로토타입 차량 보다 무게중심의 높이가 낮고 좀 더 무겁다. 또한 전후 중량 배분이 약간 더 후방으로 위치해 있다.

표 1. 개발차와 경쟁차의 관성 파라미터 비교

차량 제원		개발 차량	경쟁차량
MOI (kgf-m-sec ²)	ROLL	37.957	43.326
	PITCH	138.687	154.531
	YAW	155.333	169.489
C.G.H.(mm)		546	511
전/후륜 하중 (Kg)		659/375	682/429

(at Curb Weight)

2.2 2 현가 특성의 비교

개발 프로토타입 차량과 경쟁차에 대하여 현가 특성을 비교하였다. 그림 5 는 전륜 현가장치의 현가 특성을 보여준다.

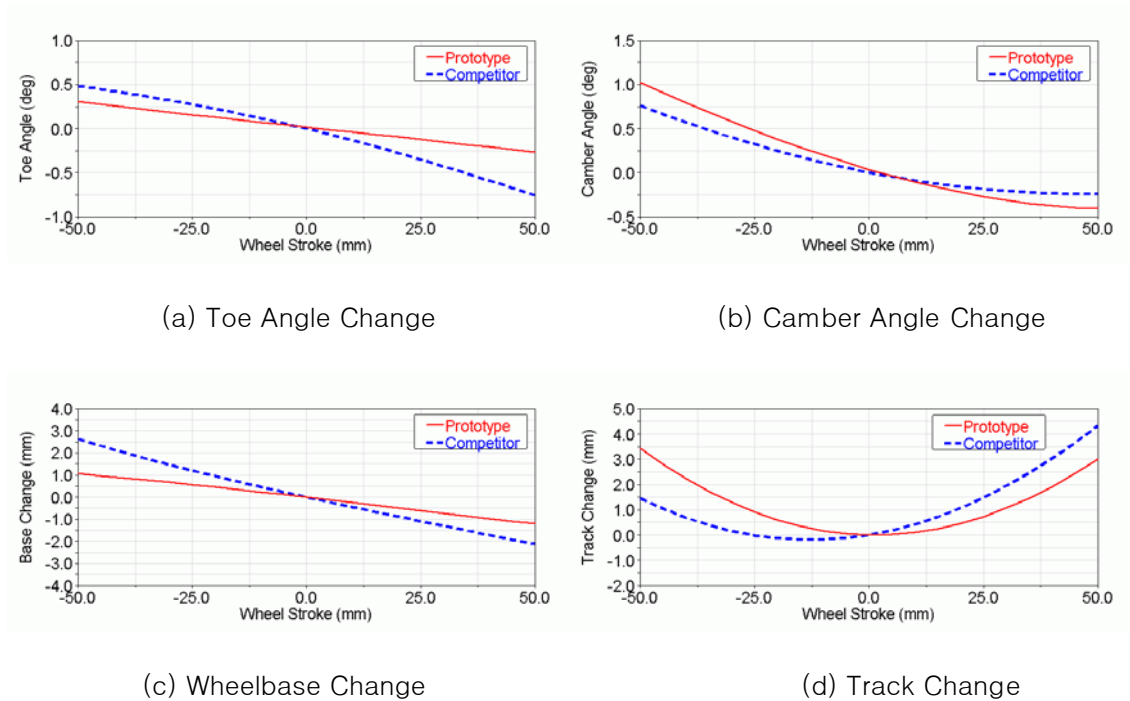


그림 5. 전륜 현가 특성의 비교

그림 6 은 후륜 현가장치의 현가 특성을 보여준다.

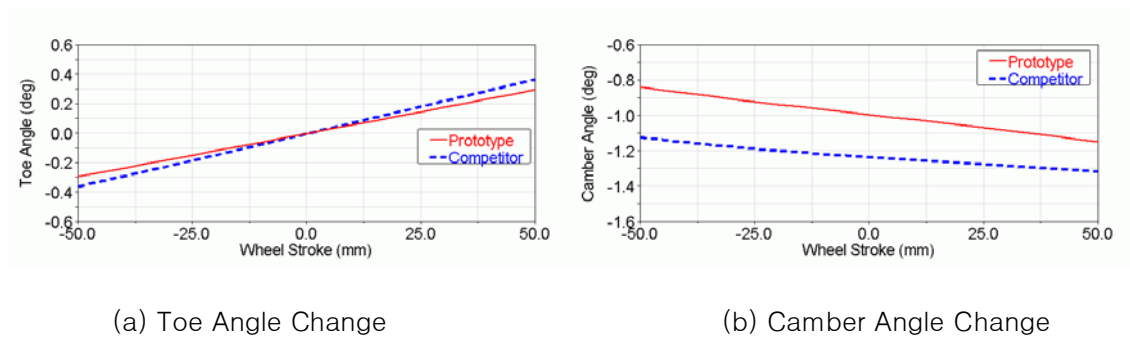


그림 6. 후륜 현가 특성의 비교

표 2 는 롤 특성을 나타낸 것으로 경쟁차가 롤축이 더 기울어져 있고, 전륜과 후륜의 롤 강성이 더 강하다.

표 2. 후륜 현가 특성의 비교

	개발차량 전륜	경쟁차량 전륜	개발차량 후륜	경쟁차량 후륜
Roll Center Height (mm)	45	22	86	128
Roll Stiffness (Nm/deg)	537	821	454	509

표 3 은 전후력에 대한 컴플라이언스 특성을 나타낸다. 개발 차량의 경우 현재 부상의 조정이 필요할 것으로 보인다.

표 3. 전후력 컴플라이언스 특성

	개발차량 전륜	경쟁차량 전륜	개발차량 후륜	경쟁차량 후륜
Stiffness W/C (N/mm)	883	144	841	2456

표 4 는 횡력에 대한 컴플라이언스 특성 중 특이할만한 차이를 보이는 횡력 컴플라이언스 스티어를 나타낸다.

표 4. 횡력 컴플라이언스 스티어 특성

	개발차량 전륜	경쟁차량 전륜	개발차량 후륜	경쟁차량 후륜
Comp. Steer (deg/KN)	-0.03	-0.2	-0.1	-0.01

2.2 3 조향 해석의 비교

개발차와 경쟁차에 대하여 동일하게 CSM 모델을 이용하여 핸들링 해석을 수행하였다. 그림 7 과 표 5 는 80 km/h 에서 횡가속도가 0.4g 가 나타나도록 조향 입력을 가하였을 때의 J-Turn 해석 결과를 나타낸다. 경쟁 차량 대비, Steering Wheel Angle 이 크고, 응답이 빠른 것을 알 수 있다.

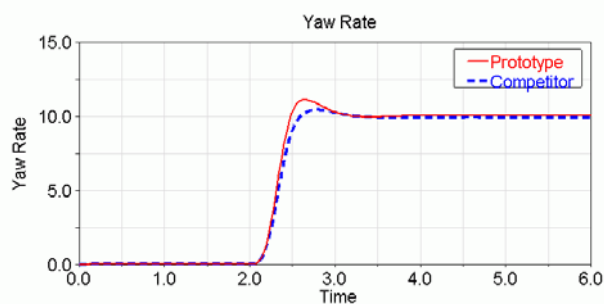


그림 7. J-Turn 해석 시 Yaw Rate

표 5. J-turn 해석 결과

	개발차량	경쟁차량
Steering Wheel Angle (deg)	44	34.5
Yaw rate steady state (deg/s)	10.041	9.9133
Yaw rate peak value (deg/s)	11.128	10.441
Yaw rate response time (sec)	0.19	0.24
Yaw overshoot (%)	10.8	5.32

그림 8 과 표 6 은 100km/h 에서 횡가속도가 0.4g 가 나타나도록 펄스 조향 입력을 가하였을 때의 해석 결과를 나타낸다.^[4] 경쟁 차량 대비, Yaw 운동의 고유 진동수가 크고, Damping 이 적은 것을 알 수 있다.

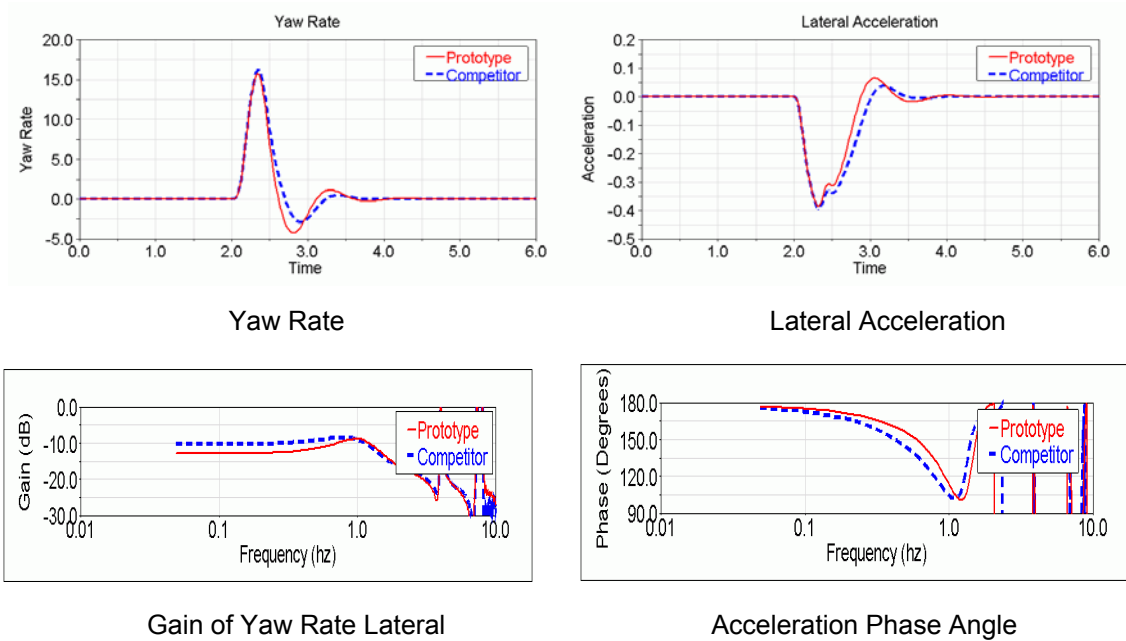


그림 8. 펄스 조향 입력 해석

표 6. 펄스 조향 입력 해석 결과 비교

	개발차량	경쟁차량
Yaw rate steady state gain (dB)	-12.32 dB (0.242)	-10.23 dB (0.307)
Yaw rate natural frequency (Hz)	0.88	0.78
Yaw rate damping level (dB)	4.21 dB (0.616)	2.00 dB (0.793)
Lateral acc. phase lag (Hz)	80.4	78.8

그림 9 와 표 6 은 정상원 선회 해석 결과를 보여준다. 경쟁 차량 대비 롤이 매우 큰 것을 알 수 있다.

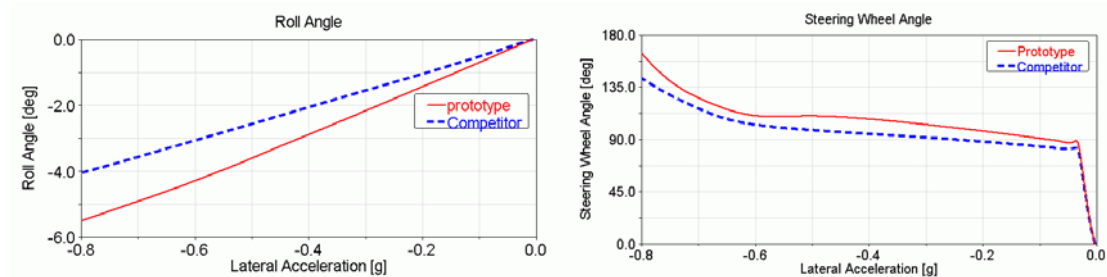


그림 9. 정상원 선회 해석

표 6. 롤 게인 비교

	개발차량	경쟁차량
Roll Gain (deg/g)	6.82	5.06

3. 결론

개발 차량에 대하여 ADAMS/CAR CSM 을 이용하여 실측 데이터로부터 차량 모델을 만들어 해석할 수 있음을 검증하였다. 이를 바탕으로 경쟁 차량의 특성을 해석을 통하여 알 수 있었고 개발차와 비교할 수 있었다. 이에 따라 개발 차량의 부족한 부분을 평가, 보완하여 설계 개선 단계에서 반영할 수 있었다.

차량 개발 초기부터 CSM 을 이용한다면 경쟁차와의 비교 뿐 아니라, 개발 대상 차량의 서스펜션 특성이 미치는 영향을 선행 연구하여 설정하고 이에 따라 서스펜션을 설계하는데 이용하는 것도 가능할 수 있다. CSM 의 이용은 차량 개발 비용과 기간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구에서 고려된 개발 차량은 개발 초기의 Concept 단계로서, 양산을 목적으로 개발 중인 차량은 아니며, 경쟁 차량 대비, 우수한 후륜 플랫폼을 확보할 목적으로 연구중인 차량임을 밝혀둔다.

참고 문헌

- [1] ADAMS USERS Manual
- [2] Satchell, Terry L. (1981) The Design of Trailing Twist Axles, SAE 810420
- [3] Hideki Sugiura, (2000) Trailing Axle Suspension Design using ADAMS, FISITA F2000G306
- [4] Mimuro, T., Ohsaki, M., Yasunga, H., Satoh, K. (1990) Four Parameter Evaluation Method of Lateral Transient Response, SAE 901734 20005332