

가상 환경 주행 시뮬레이션을 위한 CarMaker 기반 차량모델 개발과 정합성 평가에 대한 연구

김 현 일¹⁾ · 정 현 옥¹⁾ · 진 병 옥¹⁾ · 조 준 희¹⁾ · 이 지 호¹⁾ · 이 태 희^{*1)}

한국자동차연구원¹⁾

A Study on the Development and Correlation of Full Vehicle Model for Virtual Vehicle Dynamics Simulation Using CarMaker

Hyunil Kim¹⁾ · Hyeonwook Jung¹⁾ · Byeongok Jin¹⁾ · Junhee Jo¹⁾ · Jeeho Lee¹⁾ · Tae Hee Lee^{*1)}

¹⁾Korea Automotive Technology Institute, 46, Fl-ro, Samho-eup, Youngam-gun, Jellanam-do, 58463, Korea

Abstract : In this study, we developed full vehicle model for vehicle dynamics simulation based on IPG CarMaker. Suspension components(spring and damper) characteristics test data apply using hydraulic actuator. Vehicle model K&C(Kinematic & Compliance) characteristics data apply using SPMD(Suspension Parameter Measurement Device). Vehicle handling dynamics test data measurement get using vehicle CAN, GPS/INS, WFT(Wheel Force Transducers). Finally, we compare developed virtual model simulation and vehicle handling dynamics test for model correlation analysis.

Key words : Model Correlation(모델 정합성), Vehicle Test(실차 시험), CarMaker(카메이커), Vehicle Dynamics(차량동역학), Full Vehicle Model(완전차량모델)

1. 서 론

현대의 자동차 개발 과정은 차량의 개발 테마별, 세그먼트별 주행 환경을 토대로 그 성능 목표치를 설정하고 단품 특성 시험, 모듈 특성 시험, 실차 시험을 거쳐 진행된다. 이러한 일련의 과정 중에 경쟁사 차량을 벤치마킹하여 목표치에 반영하거나 해석과 시뮬레이션을 통해 개발에 필요한 공간적, 비용적, 시간적 효율을 높이고자 다양한 연구가 진행되고 있다.¹⁾

시뮬레이션을 통한 시험 평가 방안은 모델의 자유도에 따라 다양한 방법이 제안되어 왔으며²⁾, 최근 ADAS(Advanced Driver Assist System) 기능과 자율주행기능의 실증 평가에 있어 효율적인 방안으로 제시되고 있기에 제어 로직 개발, 주행 경로 생성, 시스템 검증 등 다양한 세부 분야에 걸쳐서도 활용되고 있다.³⁾

본 논문에서는 차량동역학 시뮬레이션 소프트웨어인 IPG CarMaker를 기반으로 가상 환경 주행 시뮬레이션을 수행하기 위한 완전차량모델을 부품 단품 특성, 실차 준동적 특성을 기반으로 모델에 반영하고 PG(Proving Ground, 주행시험장)에서의 핸들링 실차 시험 데이터와 주행 시뮬레이션 데이터의 비교를 통해 정합성을 평가하였다.

* 이태희, E-mail: thlee@katech.re.kr

2. 차량 모델링

차량 모델 반영에 필요한 변수들 중 SPMD를 (Suspension Measurement Parameter Device) 이용한 실차 K&C(Kinematic & Compliance) 데이터를 이용해 모델에 반영하였으며, 단축 유압 시험기를 이용한 스프링, 댐퍼, 스테빌라이저 특성 시험 데이터를 반영하여 차량 모델을 구성하였다.

2.1 차량 제원

시험 차량은 국산 전륜 구동 전기자동차로 선정하였으며, 기본 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 차량 제원

출력	150kW
동력원	전기모터
주행거리	406km
CGx(mm)	1192.47
Cgy(mm)	-10.3
CGz(mm)	-506.92
Wheel Base(mm)	2601.16
Front Track(mm)	1562.01
Rear Track(mm)	1561.97
Ixx(kg m ²)	624.58
Iyy(kg m ²)	2035.63
Izz(kg m ²)	2247.98

2.2 K&C 데이터 변환 및 반영

K&C 데이터 측정을 위해 Photo.1와 같은 SPMD를 사용하였으며 제원은 Table 2에 나타내었다. K&C 시험 방법은 CarMaker 매뉴얼에 소개된 바와 같이 진행하였고 데이터 변환이 필요하여 일련의 후처리와 좌표변환 과정을 거쳐 전륜과 후륜 각각의 K&C데이터를 확보하였다. K&C 시험 결과를 토대로 스테빌라이저 팩터 값을 계산하여 모델에 적용하였다.



Photo. 1 준동적 K&C 시험기, SPMD(MTS)

Table 2 준동적 K&C 시험기 제원

Steering Wheel Angle	±1,080 deg
Operation Frequency	15Hz
Wheel Base	2,000 ~ 4,000mm
Wheel Track	1,100 ~ 2,100mm
Vertical	± 200mm
Roll	±12deg
Steer	±45deg
Longitudinal	±75mm
Lateral	±75mm
Inertia Measurement	Available
Fx	±9,000N
Fy	±9,000N
Fz	0~30,000N
Mx	±2,000Nm
My	±2,000Nm
Mz	±500Nm

2.3 스프링 특성 시험 데이터 반영

스프링 특성 데이터 확보를 위해 Photo.2와 같은 유압 액츄에이터 장비를 사용하여 스프링 특성 시험을 수행하였으며 Table 4에 결과를 나타내었다.

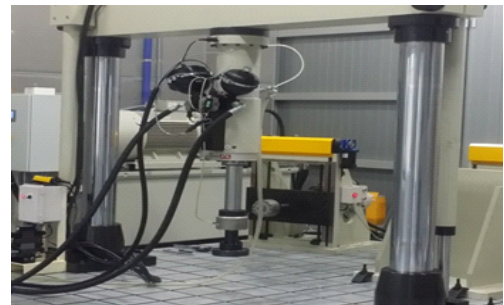


Photo. 2 다축 유압 시험기(INSTRON)

Table 3 다축 유압 시험기 제원

Max Load@Axis1	±100 kN
Max Load@Axis2	±63 kN
Max Load@Axis3	±25 kN
Stroke	±125mm
Displacement@1Hz	± 100mm
Displacement@10Hz	± 10mm

Table 4 스프링 강성 시험 결과

Front	2.9 kgf/mm
Rear	4.6 kgf/mm

2.4 댐퍼 특성 시험 데이터 반영

댐퍼 특성 데이터 확보를 위해 Photo.3과 같은 댐퍼 시험기를 사용하였으며 KS R 4019 ‘통형 쇼크업소버’ 시험 평가 방법을 인용하여⁴⁾ 0.1m/s, 0.3m/s, 0.6m/s, 1.0m/s 조건으로 특성 시험을 수행하였고 Table 6에 결과를 나타내었다.



Photo. 3 댐퍼 특성 내구 시험기 (INSTRON)

Table 5 댐퍼 특성 내구 시험기 제원

제조사	INSTRON
Software	DAMPRO
	Signal Edit
변위	± 125 mm
속도	7 m/s @ 0 kN
	4 m/s @ 10 kN
	3 m/s @ 15 kN
챔버 온도	-40 °C~+100 °C

Table 6 댐퍼 감쇠력 시험 결과(KS R 4019 인용)

댐퍼 위치	속도 (m/s)	인장 하중 (kN)	압축 하중 (kN)
전륜(Front)	0.1	-0.431	0.513
	0.3	-1.014	0.742
	0.6	-1.276	0.968
	1.0	-1.619	1.289
후륜(Rear)	0.1	-0.471	0.242
	0.3	-0.767	0.604
	0.6	-1.162	0.820
	1.0	-1.724	1.150

2.5 타이어 모델 반영

타이어 모델은 툴에서 제공하는 타이어 모델 생성 기능을 사용하여 실차 시험에 사용한 타이어와 같은 제원으로 생성하였으며 제원은 Table 7에 나타내었다.

Table 7 타이어 모델 제원

Front	235/45R18
Rear	235/45R18
공기압	33psi

2.6 시뮬레이션 시나리오

핸들링 시험에 대한 차량의 정합성을 확인하기 위하여 18m Slalom과 ISO 3888-1(Double Lane Change) 규격에 맞춰 Fig.1 및 Fig.2와 같이 코스를 구성하였고, Table 8과 같은 조건으로 Fig.3 및 Fig.4와 같이 시뮬레이션을 수행하였다.

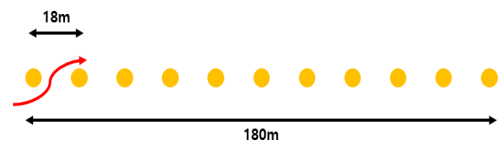


Fig. 1 18m Slalom 코스

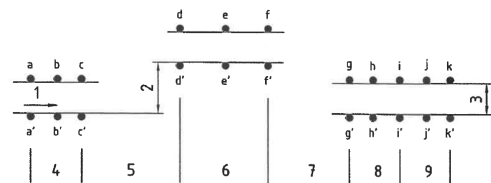


Fig. 2 ISO 3888-1(DLC) 코스

Table 8 핸들링 주행 시험 조건

구분	주행 속도 (kph)
18m Slalom	30
	40
	50
ISO 3888-1 (DLC)	80
	90
	100
	110
	120

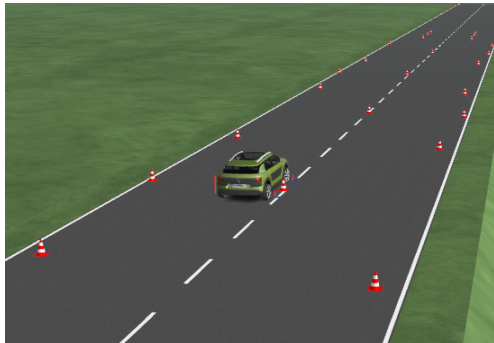


Fig. 3 18m Slalom 시뮬레이션



Fig. 4 ISO 3888-1(DLC) 시뮬레이션

3. 실차 시험 평가

3.1 시험 환경

충남 천안에 위치한 한국자동차연구원 본원 주행 시험장의 직선시험로에서 Fig.1 및 Fig.2와 같은 규격으로 Photo.4 및 Photo.5와 같이 코스를 구성하였다. 운전자는 서킷과 레이스 경험이 있는 운전자가 주행하였다.

3.2 실차 데이터 계측

실차데이터 계측을 위한 장비 설치는 Fig.5와 같이 구성하였으며, 18m Slalom과 ISO 3888-1인 DLC(Double Lane Change) 규격에 맞춰 Table 8과 같은 조건으로 주행하였다. GPS/INS 데이터는 100Hz, 그 외 RLD(Road Load Data)는 512Hz로 계측하고 후 처리를 수행하였다.



Photo. 4 18m Slalom 실차 시험 코스



Photo. 5 ISO 3888-1(DLC) 실차 시험 코스

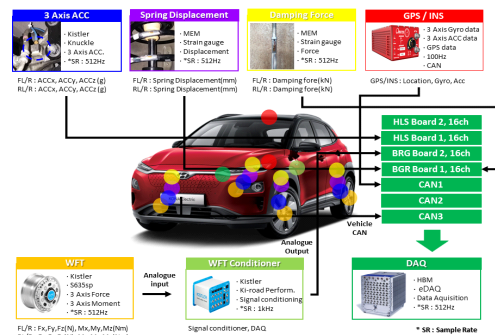


Fig. 5 실차 데이터 계측 장비 구성

4. 결과 및 고찰

Table 9에 시나리오의 Pass/Fail 결과를 나타내었다. 실차시험은 모두 수행 가능했으나 시뮬레이션은 ISO 3888-1(DLC)에서 110kph 이상 조건은 주파하지 못했다. Slalom 조건은 모두 주파 가능했으나, DLC는 속도 영역까지 주파하지 못한 것으로 보아 실제 타이어 시험데이터를 활용한 모델로 보완이 필요하다고 판단되며, 차량의 주행 로그가 언더스티어-리버스-스핀 순으로 이어지는 것으로 보아 IPG에서 제공하는 드라이버 모델 파라미터에 대한 보완도 필요하다고 판단된다. 특히 ISO 3888-1의 경우 코스를 주파 가능한 한계 속도까지 코스를 주파하여 핸들링 성능에 대한 평가를 하는 시험법이기 때문에, 드라이버 모델 자체가 드라이버 역량과 같아 중요한 인자로 작용한다. Slalom의 경우 지속적인 리듬으로 주행하기 때문에 시뮬레이션과 실차시험 결과의 편차가 크지 않지만, 상대적으로 급격한 하중이동이 발생하는 DLC의 경우 속도가 높아짐에 따라 오차가 늘어나고 있다. 상대적으로 고속 영역에서 슬립이 발생하는 경우를 제외한 주행 수준 영역에서 시뮬레이션은 가능한 것으로 판단된다.

Table 9 핸들링 주행 시뮬레이션, 실차시험 결과

구분	주행 속도 (kph)	시뮬레이션	실차시험
18m Slalom	30	PASS	PASS
	40	PASS	PASS
	50	PASS	PASS
ISO 3888-1 (DLC)	80	PASS	PASS
	90	PASS	PASS
	100	PASS	PASS
	110	FAIL	PASS
	120	FAIL	PASS

4.1 18m Slalom 결과

Slalom의 경우 전 속도 영역에서 실차 시험과 동일하게 모든 코스 주파를 Pass 하였다. 가장 최종 속도인 50kph 속도 조건의 시뮬레이션과 실차시험과의 비교 그래프를 Fig.6에 나타내었고, 속도별 주요 데이터 채널들의 평균 오차를 Table 10에 나타내었다.

4.2 ISO 3888-1(DLC) 결과

DLC의 경우 전 속도 영역에서 실차 시험은 목표한 시나리오를 모두 주파했으나, 시뮬레이션은 110kph 이상 영역에서 코스 주파에 실패했다. 따라서 코스 주파를 100kph로 Pass 한 경우의 시뮬레이션과 실차시험과의 비교 그래프를 Fig.7에 나타내었고 속도별 주요 데이터 채널들의 평균 오차를 Table 11에 나타내었다.

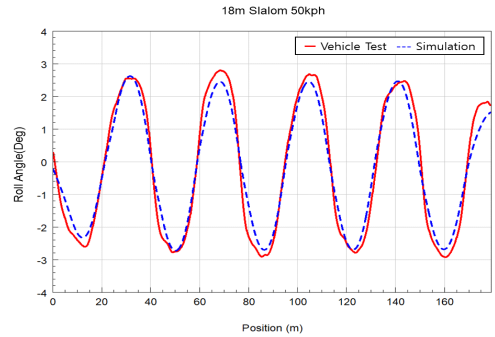


Fig. 6 18m Slalom(50kph) Roll Angle 비교

Table 10 18m Slalom 주요 데이터 평균 오차

구분	채널명	평균오차(%)		
		30kph	40kph	50kph
18m Slalom	Roll Angle	3.4	4.2	5.1
	Yaw Rate	4.2	5.8	6.0
	Ay	10.1	10.8	9.2
	FL Fy	13.8	10.1	8.2
	FR Fy	13.1	9.8	7.5
	RL Fy	10.8	7.9	8.0
	RR Fy	11.6	8.2	9.1
	FL Fz	19.2	16.1	9.1
	FR Fz	18.1	16.2	8.9
	RL Fz	13.5	9.9	7.8
	RR Fz	14.2	9.1	8.1
	Velocity	3.3	2.7	1.7

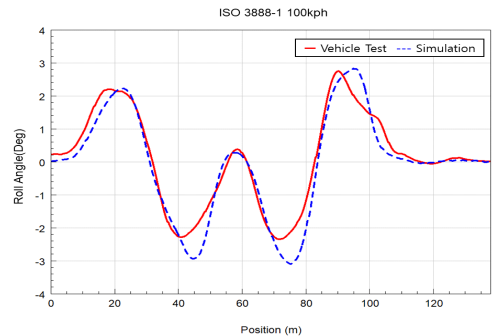


Fig. 7 ISO 3888-1(DLC) Roll Angle 비교

Table 11 ISO 3888-1(DLC) 주요 데이터 평균 오차

구분	채널명	평균오차(%)		
		80kph	90kph	100kph
ISO 3888-1 (DLC)	Roll Angle	8.9	10.2	12.3
	Yaw Rate	8.3	8.2	10.8
	Ay	5.5	4.2	4.7
	FL Fy	8.2	9.1	12.0
	FR Fy	7.9	10.8	10.8
	RL Fy	7.7	11.7	11.0
	RR Fy	9.2	10.2	12.2
	FL Fz	11.1	10.3	11.8
	FR Fz	9.5	11.2	12.9
	RL Fz	7.2	13.5	10.7
	RR Fz	10.0	10.2	11.1
	Velocity	1.9	2.1	3.7

5. 결 론

본 연구에서는 스프링, 댐퍼, 스테빌라이저 특성과 실차 K&C 특성을 반영하여 IPG CarMaker 기반 차량 모델을 개발하고, 핸들링 시뮬레이션과 실차 시험을 통해 정합성을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실제 차량에 장착되어 있는 스프링, 댐퍼, 스테빌라이저 특성 데이터와 차량 준동적 특성을 반영하여 IPG CarMaker 차량 모델을 개발하였다.
- 2) 본 연구에서 제안한 모델의 핸들링 시험 시뮬레이션과 실차 주행을 비교하여 오차율을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업위기지역 미래형전기차부품개발(과제번호: 20005609, 노면정보 및 경로형상 사전정보를 이용한 승차감 및 핸들링 5% 이상 향상된 능동현가 시스템)의 일환으로 산업통상자원부의 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Bo Min Kim, Sang Do Na, Kwang Suk Kim, Wan Suk Yoo, "Verification of a vehicle dynamics model for real-time HILS", The Korean Society of Mechanical Engineers, pp.45~46, 2012.
- 2) KyuTae Kim, "Co-Simulation Technique to Virtual Vehicle Development Environment", The Korean Society of Automotive Engineers, Auto Journal 45(6) pp.62~68, 2020.
- 3) Myungsu Lee, Ingyu Lee, Bong-suob Kim, Taeho Lim, "A Study on the Analysis method of Error factor to Reproducibility that Compares Real vehicle to simulation", The Korean Society of Automotive Engineers, pp.468~469, 2020.
- 4) KS R 4019, "통형 쇼크 업소버", 2016.