

매트랩 CMDPS와 카심 기반 완전차량모델의 동시시뮬레이션 기술에 관한 연구

장봉춘^{1*}

¹안동대학교 기계공학과

Study on Concurrent Simulation Technique of Matlab CMDPS and A CarSim Base Full Car Model

Bongchoon Jang^{1*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Andong National University

요 약 칼럼 타입의 전동조향장치(MDPS) 시스템은 차량 안전성과 연료 효율 향상을 보장하기에 승용차에 보편적으로 장착하고 있다. 시스템 해석과 제어기 개발을 위해서는 보통 Mechanical Simulation사에서 제작한 CarSim 프로그램과 매트랩 시뮬링크의 두 프로그램을 이용하여 제어 알고리즘과 차량 모델이 결합되어 하나의 시스템처럼 동시에 동작하도록 시뮬레이션을 수행한다. 매트랩 시뮬링크의 MDPS 제어 시스템과 완전 차량 모델의 동시시뮬레이션 기술 개발에 대한 구체적인 방법이 소개된 적이 없기에 본 연구에서 상세히 소개하기로 한다. 본 연구에서는 사인 파형의 조향핸들입력을 이용한 시뮬레이션 결과가 보여 지고 실험결과와 잘 비교되었다. 이러한 동시시뮬레이션 기술은 차량의 핸들링 성능 평가나 CMDPS 평가 수행 및 로직 튜닝을 위해 효과적으로 사용될 수 있다.

Abstract The Column type Motor Driven Power Steering(CMDPS) systems are generally equipped among passenger vehicles ensuring better vehicle safety and fuel economy. In general to analyze systems and to develop a controller a full vehicle model from CarSim developed by Mechanical Simulation Incorporation interacting with MDPS control algorithm from Matlab Simulink was concurrently simulated. This paper describes the development of concurrent simulation technique in detail for analyzing Matlab Simulink MDPS control system with a dynamic vehicle system because the specific method has not been revealed in detail. The steering wheel angle input was evaluated and well compared with proving ground experimental data. The comparisons from concurrent simulation show an effective way to develop and validate the control algorithm. This concurrent simulation capability will be efficiently used for CMDPS performance evaluation and logic tuning as well as for vehicle handling performance.

Key Words : Control logic, MDPS, Simulation integration, Steering system, Rack displacement

1. 서론

동력 조향장치의 하나로 국내에서는 2003년 전동식 조향장치(MDPS)가 소개된 후로 부가적인 조향력을 얻기 위해 유압식 파워[1,2] 대신에 전기 모터를 사용함으로써 유압펌프, 호스, 유체, 벨트 및 폴리 등과 같은 유압발생 장치가 불필요하므로 비교적 시스템이 간단하고 가볍다.

또한 전동조향장치의 경우 핸들을 돌릴 경우에만 모터가 동작하도록 설계된 시스템이기 때문에 연료소모량도 적은 장점이 있다. 이러한 이유 때문에 최근에는 전동조향 장치의 모델링[3], 하드웨어 및 소프트웨어 개발[4,5], 모터 개발[6,7]에 많은 연구가 집중되고 있고 전동조향장치를 탑재하는 차량이 중대형 차종으로 확대되고 있다.

본 논문에서는 차량 동력학 및 제어 분야에서 중요한

본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원 한국연구재단의 기초연구사업 연구과제(20120008482)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Bongchoon Jang(Andong National Univ.)

Tel: +82-54-820-6158 email: bjang@andong.ac.kr

Received January 8, 2013

Revised (1st February 25, 2013, 2nd April 10, 2013)

Accepted April 11, 2013

2.2 CarSim 차량 모델

카심 차량 모델은 27 자유도를 가지고 있으며 차량동역학 시뮬레이션을 위해 자동차 제조사로부터 차량 파라미터를 제공받아 차량 모델을 구성하였다.

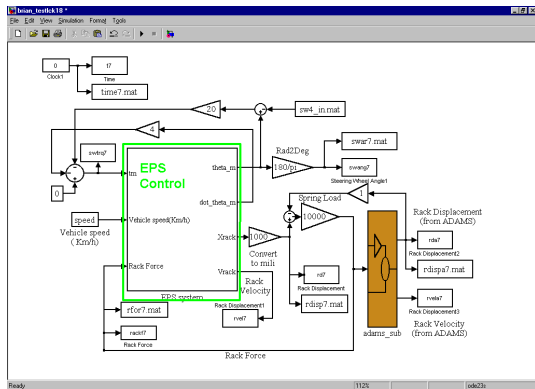
3. 동시시뮬레이션 기술

본 절에서는 동시시뮬레이션 기술에 대하여 기존에 이미 소개된 내용이라 간략히 소개하고, 카심과 연동하는 기술에 대해 상세히 소개하기로 한다.

3.1 매트랩 MDPS & 아담스 차량

다음 Fig. 2는 MDPS와 완전 차량 모델의 동시시뮬레이션을 하는 방법을 보여준다.

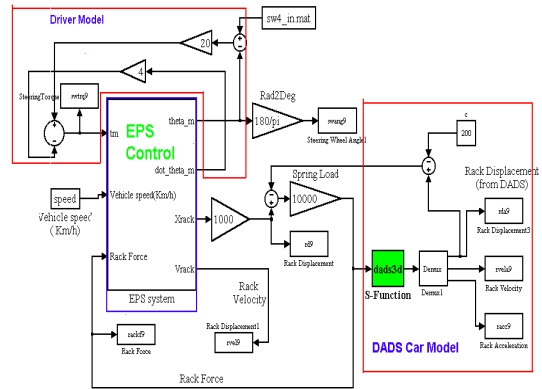
첫 번째는 매트랩 시뮬링크의 MDPS와 차량동역학 소프트웨어인 아담스의 차량 모델을 이용하여 동시에 시뮬레이션 하는 방법으로 두 개의 소프트웨어간 렉의 변위에 대한 정보를 샘플링하여 두 개의 소프트웨어들을 동시에 실행하는 방법이다.



[Fig. 2] Matlab MDPS & ADAMS Car

3.2 매트랩 MDPS & 대즈 차량

Fig. 3은 다물체 동역학 소프트웨어인 대즈의 차량 모델과 매트랩의 시뮬링크 MDPS제어 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위해서 대즈 차량모델을 컴파일하여 하나의 호출함수로 바꾸어 매트랩에서 시뮬링크 프로그램을 실행하는 방법으로서 3.1의 시뮬레이션 결과와 거의 동일한 결과를 나타낼 것이다.



[Fig. 3] Matlab MDPS & DADS Car

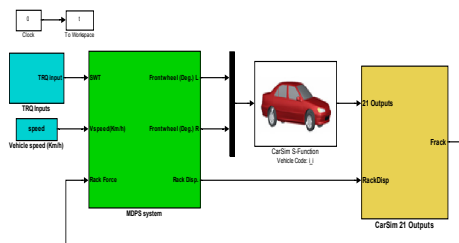
3.3 매트랩 MDPS & 아담스 차량

여기서는 매트랩 MDPS를 컴파일해서 아담스의 호출함수로 사용하여 아담스 차량을 실행하는 방법으로서 매트랩의 MDPS로직을 컴파일하기 위한 구조나 절차가 상당히 복잡하고, 3.2의 방법의 역순으로 하는 구조이지만 그 결과는 차이가 없을 것으로 판단된다. 다만, 매트랩에서 지정하는 적분기와 아담스에서 지정하는 적분기가 달라 호출함수로 불러들이기에 사용하는 어려운 점이 있다. 또, 3.2와 3.3은 한 쪽이 호출함수로 사용되는 방식이라 엄밀한 의미에서는 동시시뮬레이션이라기 보다는 시뮬레이션 통합기법이라고 부르는 게 맞다고 판단된다.

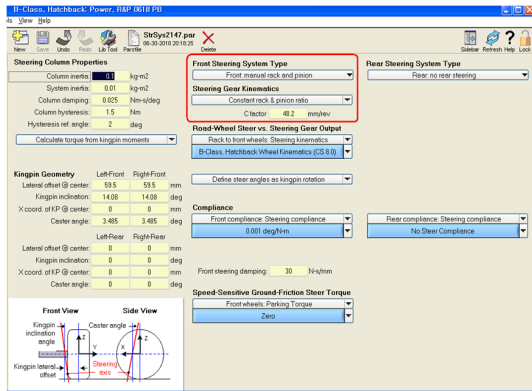
3.4 매트랩 MDPS & 카심 차량

최근 동시시뮬레이션 기술로 가장 보편적으로 사용하고 있는 방법 중의 하나로서, 다음 Fig. 4는 매트랩의 MDPS와 카심의 차량 모델을 동시에 돌릴 수 있는 개략도를 보여주며 본 연구에서 개발한 프로그램을 보여준다.

카심 소프트웨어 이용 시 사용자는 매트랩 시뮬링크 기반에서 MDPS 파워를 제공하기에 Fig. 5와 같이 조향 시스템을 메뉴얼로 선택해놓고, C-팩터 값과 매트랩에서 피니언의 반경 값(R_{rp} : Radius of pinion)을 일치시켜야 하므로 주의를 요한다.

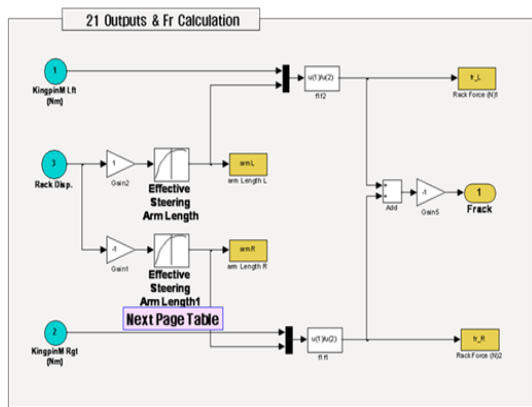


[Fig. 4] Matlab MDPS Logic & CarSim Car



[Fig. 5] CarSim SW Environment Setting

또한, 3.1절에서 아담스 차량을 사용할 때는 차량 서스펜션 및 조향 기구부 각각의 포인트에서 발생하는 힘, 토크 등의 정보를 구할 수 있기에 반력으로 랙에 걸린 힘을 이용하였으나, 카심에서는 랙에 걸린 반력을 따로 구해야 한다. Fig. 6과 같이 카심에서 21개의 출력을 뽑아서 카심 차량의 좌/우 킹핀 모멘트에 대한 정보를 출력으로 해서 차량의 스티어링 암의 길이를 나누어주면 랙 끝단에 걸린 각각의 힘의 크기를 구할 수 있다. 이 때 스티어링 암의 유효 길이는 랙 바의 변위에 따라서 좌우 길이가 실제로 차종별로 다르게 나오는 데, 자동차 메이커에서 제공하는 아래의 Table 1을 사용하였다.



[Fig. 6] Rack Reaction Force Calculation Method

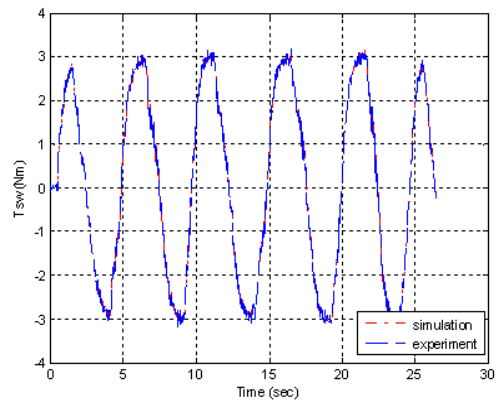
[Table 1] Target Vehicle Effective Steering Arm Length

rack(mm)	-72	-40	-20	0	20	40	72
arm L(mm)	-39	-19	-9	0	9	18	32

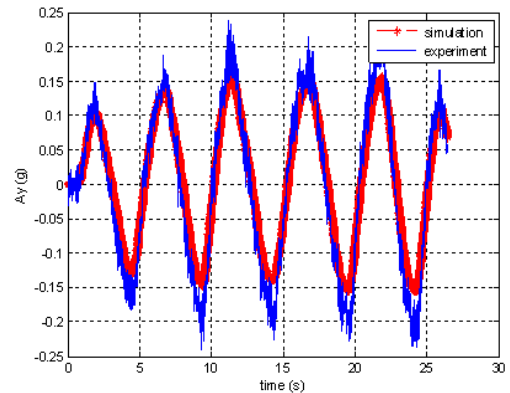
기존의 연구들이 자동차 제조업체에서 제공하는 실제 파라미터 값들 없이 암의 길이를 대략 11mm로 추정하여 단순히 상수로 사용해온 결과는 신뢰성이 떨어지기에 본 연구에 사용되는 모든 파라미터 및 제원은 자동차 제조업체에서 제공한 실제 데이터 값을 사용하였다.

4. 동시시뮬레이션 기술

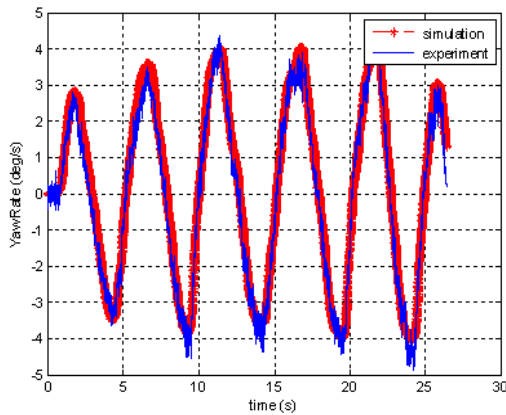
다음 Fig. 7 ~ Fig.9는 동시시뮬레이션 기술에 대한 결과를 보기 위해 단순히 사인파와 유사한 형태의 입력을 가한 시뮬레이션 결과들을 보여준다. 시속 100Kph에서 조향토크 입력을 각각 실험과 시뮬레이션에 주었을 때 차량의 동적 거동이 시뮬레이션 결과와 잘 매칭이 되는 것을 볼 수 있었다.



[Fig. 7] Steering Wheel Torque Input @ 100kph

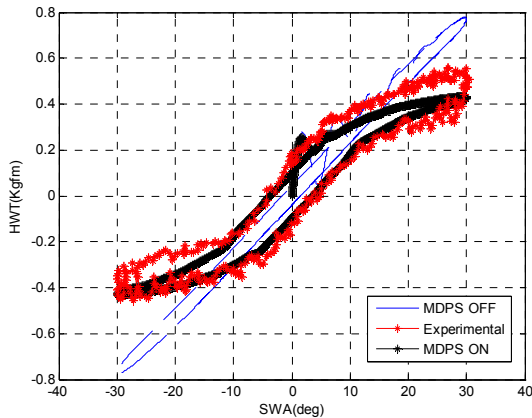


[Fig. 8] Lateral Acceleration Results



[Fig. 9] Yaw Rate Results

다음 Fig.10은 조타력 그래프라는 조향각 대 조향토크의 그래프 결과를 보기 위해 시속 100Kph에서 30도의 조향각으로 입력을 주었을 때 조향각 대 조향토크의 그래프를 보여준다. MDPS를 오프했을 때 운전자가 느끼는 토크의 크기는 0.8 Kgfm정도 되며 파워가 어시스트 될 때의 크기는 0.4 Kgfm정도로 운전자가 느끼는 토크의 크기가 현저히 줄어들며 실험결과와 거의 잘 맞음을 볼 수 있다.



[Fig. 10] Concurrent Simulation and Experimental Results

5. 결론

본 논문에서는 동시시물레이션 기술에 대한 여러 가지 사례들을 살펴보고, 최근 보편적으로 사용되고 있는 매트랩과 카심의 동시시물레이션 기술에 대한 방법을 실차

파라미터를 이용하여 보여 주었다. 제어 로직은 매트랩 시물링크로 MDPS 로직을 구성하여 카심의 차량모델에 실제 차량 데이터를 입력하여 시물레이션을 해본 결과 실험결과와 근접한 결과를 나타내었다. 이는 제어 로직의 유효성을 입증할 수 있었고, 자동차 제조업체에서 제공한 데이터를 이용한 동시시물레이션 기술은 성공적으로 수행되었다. 이는 제어 로직을 개발하는 연구자들이 비교적 다루기 쉽고 속도가 빠른 카심과 매트랩 소프트웨어의 두 개를 동시에 사용하는 동시시물레이션 기술이 더욱 유용하게 사용될 것이다.

References

- [1] B. C. Jang and S. C. Lee, Mathematical Model of a Power Steering System, Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, Vol.5 No.4, pp.39-47, 1997.
- [2] T. O. Tak, K. C. Kim, and J. R. Yun, "Steering Model for Vehicle Dynamics Analysis", KSPE, Vol.16, No. 12, pp.214-221, 1999.
- [3] C. S. Hahn, J. Shin and J. E. Oh, "Study on the Graphical Inducing Method of State-space Equation of Bond Graph", Vol.22, No.9, pp.1675-1683, 1998.
- [4] T. J. Park, S. C. Yun and C. S. Han, "Development of Hardware-in-the-Loop Simulation System For a Electric Power Steering System", Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers, A-Vol 24 No.12, pp. 2883-2890, 2000.
- [5] C. S. Hahn, M. H. Rhee, J. E. Oh, H. Park, "Development of Simulator for Performance Test of Electric Power Steering of Light Weight Vehicle Steering Simulator", Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers, A-Vol. 25. No.6, pp. 923-929, 2001.
- [6] J. Bang, J. Song, et al., "Development of A 250 W DC Motor Controller," KAIS 2012 Spring Conference, pp. 693-695, 2012.
- [7] Y. S. Lee, et al., "Controller Design of PMSM Drive System Using Embedded Target in MATLAB/SIMULINK," KAIS 2007 Fall Conference, pp. 148-151, 2007.
- [8] B. C. Jang, C. W. Liang, "Co-Simulation/Integration of Electric Power Steering System and Vehicle Dynamics", GM Internal Report., GME2000-12, Dec., 2000.
- [9] CarSim Manual v8.03, Mechanical Simulation Corp, 2010.
- [10] B. C. Jang, "Co-Simulation Technology Development

for 'Free Control' of SUV Vehicle Equipped with Electric Power Steering System", KSME Kyungbook Div. Conference, April, pp.29-36, 2003.

- [11] B. C. Jang, "Study on Concurrent Simulation Technique of MDPS and A Full Car Model," KAIS 2010 Fall Conference, pp. 785-787, 2010.
- [12] MATLAB users manual, v. 5.3.1, MathWorks, Inc., 2000 .
- [13] ADAMS/Solver Reference Manual, Mechanical Dynamics, Inc., v. 10.0, 2000 .
- [14] Using ADAMS/Controls, ver. 10.0, Mechanical Dynamics, Inc., Aug. 15, 1999.

Nomenclature

T_{sw} : Driver Input Torque(Nm)
 AV_{sw} : Steering Wheel Angular Velocity(rad/s)
 T_{mot} : Motor Torque(Nm)
 F_{rck} : Rack Input Force(N)

Specification

J_{sw} : Inertia of Steering Wheel, 0.0258 Kgm^2
 B_{sw} : Upper Column Damping, 0.12(Nm/rad)
 FR_{sw} : Upper Column Friction, 0.02Nm
 K_{tbar} : Torsion Bar Compliance, 135.8 Nm/rad
 J_{mot} : Motor Inertia, 0.0000919 Kgm^2
 B_{mot} : Motor Damping, 0.001155 Nm/rad/s
 FR_{mot} : Motor Friction, 0.012 Nm
 E_{gb} : Gearbox Efficiency, 0.86
 R_{gb} : Gearbox Ratio, 20.5
 J_{col} : Lower Column Inertia, 0.00025 Kgm^2
 B_{col} : Lower Column Damping, 0.13 Nm/rad/s
 R_{rp} : Radius of pinion, 0.007m
 E_{rp} : Efficiency at Rack pinion, 0.96
 J_{rck} : Rack Inertia, 2 Kg
 B_{rck} : Rack Damping, 160 Ns/m
 FR_{rck} : Rack Friction, 133 N
 F_{tire} : Tire Spring Constant, 120000 N/m

장 봉 춘(Bong-Choon Jang)

[정회원]



- 1996년 3월 : 오하이오주립대 기계공학과 공학석사
- 2000년 6월 : 캘리포니아주립대 기계공학과 공학박사
- 2000년 9월 ~ 2003년 2월 : 미국 General Motors Tech. Center, Team Leader
- 2003년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>

머신비전, 메카트로닉스, 차량동역학 및 제어