

# 매트랩 CMDPS와 카심 기반 완전차량모델의 동시시뮬레이션 기술에 관한 연구

장봉춘<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 기계공학과

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

Bongchoon Jang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. 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 풀리 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](mailto:bjang@andong.ac.kr)

Received January 8, 2013

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

Accepted April 11, 2013

이슈가 되고 있는 전동조향장치의 제어 알고리즘을 매트랩 시뮬링크[8]를 이용하여 구성하고 이를 하나의 차량 모델과 결합하기 위해 다양한 소프트웨어들로 완전 차량 동역학 모델을 완성한 후, 이 두 프로그램을 이용하여 제어 알고리즘과 차량 모델이 결합되어 하나의 시스템처럼 동시에 동작하도록 하는 기법 개발을 소개하고자 한다. 완전 차량 동역학 모델로는 Mechanical Dynamic Inc. 사가 제공하는 ADAMS[9,10] 프로그램, 다물체 동역학 소프트웨어인 DADS[11] 프로그램, Mechanical Simulation사에서 제작한 CarSim[12] 프로그램 등이 있다. 매트랩과 아담스/대즈 차량의 두 프로그램을 이용하여 제어 알고리즘과 차량 모델이 결합되어 하나의 시스템처럼 동시에 동작하도록 하는 동시시물레이션 기술 개발[13]은 과거에 소개되었기에 간략히 소개하고, 본 논문에서는 카심과의 동시시물레이션 기술[14]에 초점을 두고자 한다.

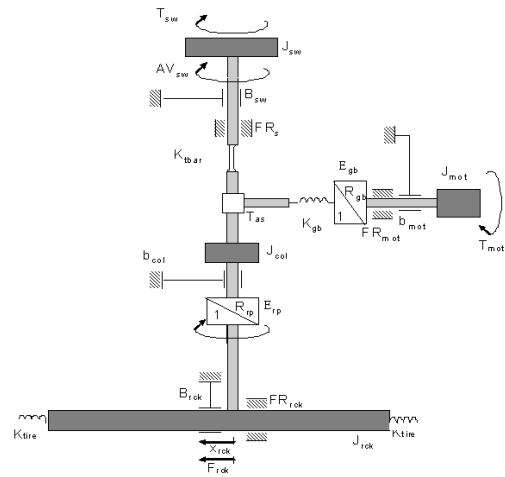
아담스에서는 조향계 구성 부품들이 연결되어 있어서 랙 반력을 바로 구할 수 있으나, 카심소프트웨어를 사용하여 동시시물레이션을 수행할 때의 방법론을 상세히 소개한 논문은 없기에 본 연구에 사용되는 모든 파라미터 및 제원은 자동차 제조업체에서 제공한 실제 데이터 값을 사용하여 기술하였다. 또한, 연구 결과의 성능 검증을 위해 컴퓨터 시물레이션이 수행되었는데 본 연구에서는 사인파형의 조향핸들입력을 이용한 시물레이션 결과와 실차의 실험결과와 비교된다.

## 2. 시스템별 모델 구성

본 절에서는 전동조향장치의 구조 및 제어 알고리즘에 관한 전반적인 사항과 조향장치, 서스펜션, 타이어를 포함하는 완전 차량모델 구성에 관하여 논의한 후에 전동조향장치 모듈과 차량 모델 사이의 인터페이스 기법을 보임으로써 전동조향장치를 갖춘 차량의 동적 특성을 살펴보고자 한다.

### 2.1 전동조향장치

전동조향장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 조향기어, 조향 메카니즘, 전기모터 및 적절한 조향 응답성 확보를 위한 제어기 등의 부품들로 구성되어 있다. 중요한 입력 신호로는 스티어링 핸들에 가해지는 토크, 토션바 각속도와 차속신호가 있는데 이 입력 신호들이 시스템 변수들과 함께 계속적으로 제어기에 입력된다. 그러면 제어기는 이러한 입력 값들을 토대로 조향 방향 및 조향 지원이 요구되는 토크의 크기를 결정하게 된다.



[Fig. 1] Schematic Diagram of Column Type MDPS Mechanism

전동조향장치의 제어 블록선도는 Jang[13]에서 그려진 다. 운전자가 진행방향을 바꾸기 위해 핸들을 돌리면 차량을 운전자가 의도했던 대로 움직이도록 하기 위해 핸들에는 조향 입력토크가 가해지고 이로 인해 각도가 생성된다. 도로조건과 운전자의 방향전환 의도에 따라 핸들의 각을 감지하게 되고 만약 운전자가 의도했던 핸들의 조향각도와 앞바퀴에서의 실제 조향 각도 사이에 차이가 발생하게 되면 제어장치는 이를 줄이기 위해 요구되는 제어신호인 전류를 산출하여 모터에 보낸다. 이 신호를 이용하여 모터전류가 결정되면 여기에 모터상수와 기어비를 곱하여 동력 조향장치에서 지원해야 하는 부가토크(Tas, motor assisted torque)가 계산된다. 이렇게 계산된 부가토크가 입력 조향토크와 함께 타이어의 반력 토크 및 조향 메카니즘의 마찰 손실 토크들을 극복하고 조향축이 필요한 각도만큼 회전하도록 해준다. 따라서 운전자는 그 만큼의 노력 없이도 의도했던 바를 이룰 수 있기 때문에 조향이 용이하게 된다.

### 2.1 아담스/대즈 차량 모델

완전 차량 모델은 상용 프로그램 아담스, 대즈, 카심을 이용하여 구성할 수 있으며 아담스 차량의 모델은 다물체 동역학 모델로서 347 자유도를 가지고 있으며 차량동역학 시물레이션을 위해 이미 내장되어 있는 앞뒤 비선형 서스펜션, 랙과 타이로드 및 관련 조인트, 그리고 종방향과 횡 방향의 결합된 힘을 고려한 타이어 모델 등으로 구성되어 있다. 이 다물체 모델은 무게중심 점에 주어진 속도에 따라 움직이게 되고 움직이는 경로는 랙 변위에 의해 제어된다.

### 2.2 CarSim 차량 모델

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

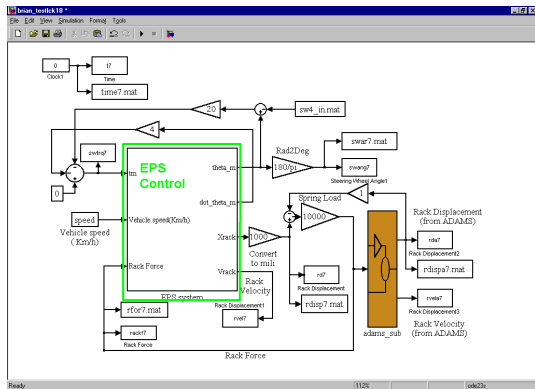
## 3. 동시시뮬레이션 기술

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.

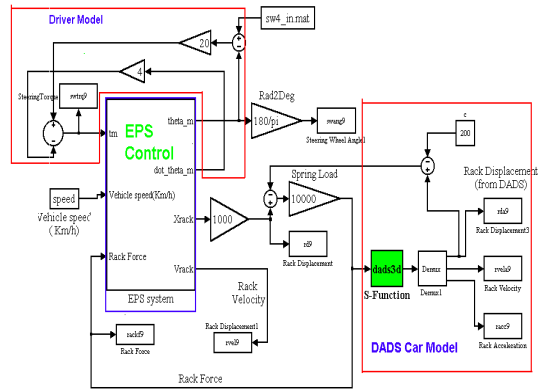
첫 번째는 매트랩 시뮬링크의 MDPS와 차량동역학 소프트웨어인 아담스의 차량 모델을 이용하여 동시에 시뮬레이션 하는 방법으로 두 개의 소프트웨어간 렉의 변위에 대한 정보를 샘플링하여 두 개의 소프트웨어들을 동시에 실행하는 방법이다.



[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

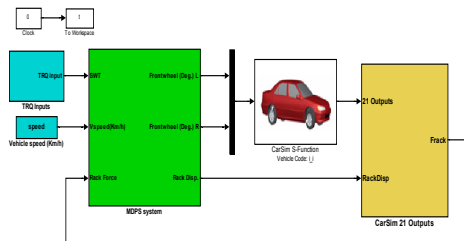
### 3.3 매트랩 MDPS & 아담스 차량

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.

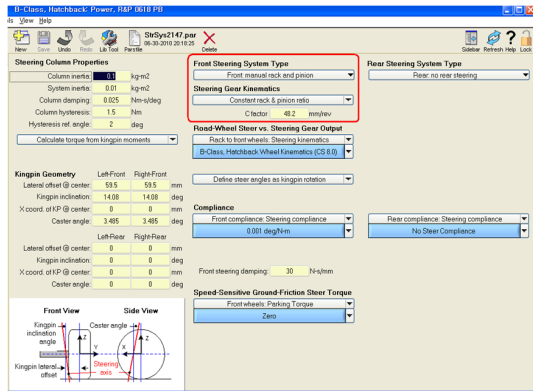
### 3.4 매트랩 MDPS & 카심 차량

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.

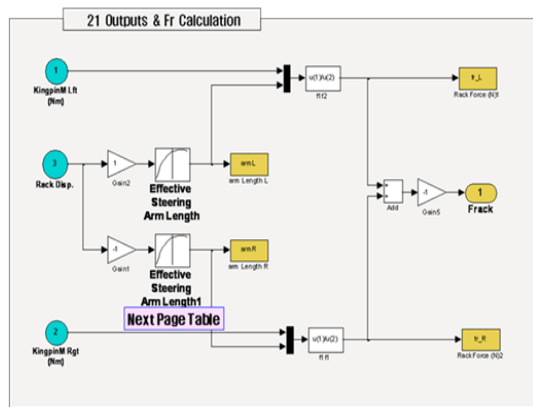


[Fig. 4] Matlab MDPS Logic & CarSim Car



[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

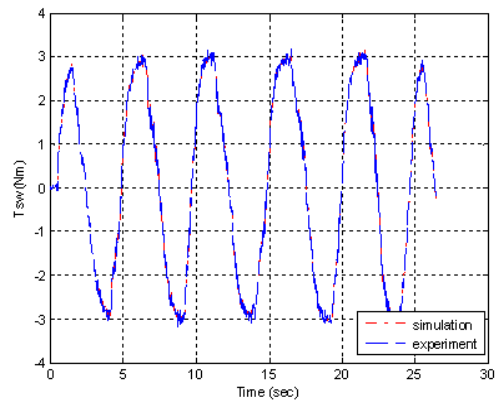
[Table 1] Target Vehicle Effective Steering Arm Length

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

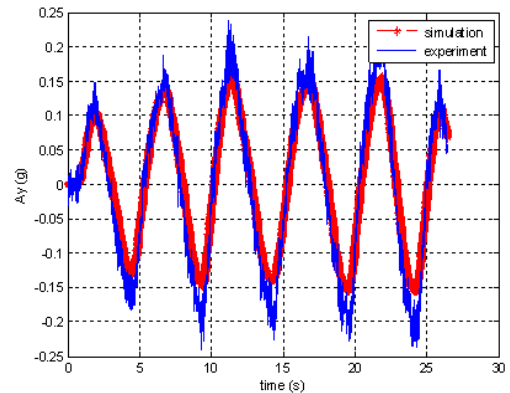
기존의 연구들이 자동차 제조업체에서 제공하는 실제 파라미터 값들 없이 암의 길이를 대략 11mm로 추정하여 단순히 상수로 사용해온 결과는 신뢰성이 떨어지기에 본 연구에 사용되는 모든 파라미터 및 제원은 자동차 제조업체에서 제공한 실제 데이터 값을 사용하였다.

#### 4. 동시시뮬레이션 기술

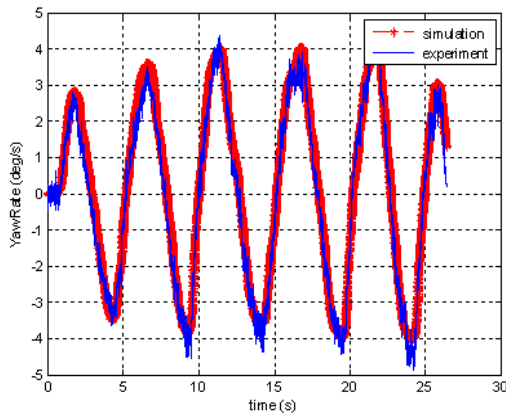
다음 Fig.7 ~ Fig.9는 동시시뮬레이션 기술에 대한 결과를 보기 위해 단순히 사인파와 유사한 형태의 입력을 가한 시뮬레이션 결과들을 보여준다. 시속 100Kph에서 조향토크 입력을 각각 실험과 시뮬레이션에 주었을 때 차량의 동적 거동이 시뮬레이션 결과와 잘 매칭이 되는 것을 볼 수 있었다.



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

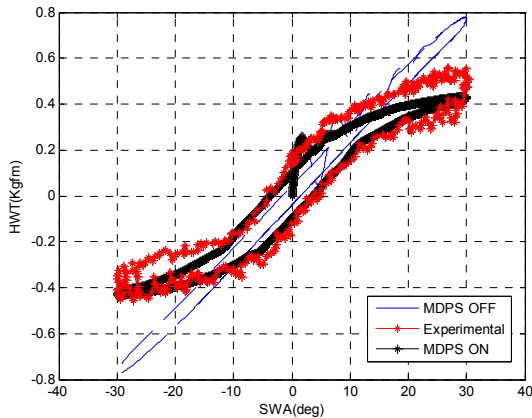


[Fig. 8] Lateral Acceleration Results



[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