Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 9 pp. 5480-5486, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.9.5480
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

MDPS 해석 소프트웨어 개발

장봉춘[1*], 김정훈[2], 양성모[3]
[1]안동대학교 기계공학과, [2]현대기아자동차, [3]전북대학교 기계시스템공학부

MDPS Analysis Software Development

Bongchoon Jang[1*], Joung-Hoon Kim[2], Sung-Mo Yang[3]
[1]**Dept. of Mechanical Engineering, Andong National University**
[2]**Commercial Vehicle Test Development Team, Hyundai Motor Compnay**
[3]**Division. of Mechanical System Engineering, Jeonbuk National University**

요 약 조향계 엔지니어들에게 전동 조향 시스템의 시뮬레이션 및 분석을 위한 새로운 방식의 소프트웨어를 소개한다. 이 소프트웨어 MSAS는 전동 조향 시스템의 시뮬레이션, 분석 및 종합 기능을 제공하며, 기본적으로 조향계 모델과 차량모델 및 제어로직에 기초한다. 부품 공급회사들은 제어로직을 블랙박스 형태로 제공하기 때문에 이 소프트웨어는 로직 설계자의 의도에 따라 블랙박스 형태이든지 또는 화이트박스 형태이든지 모두 사용가능하다. 또한 이 소프트웨어는 공급회사들의 에스함수 제어로직 및 RMDPS와 함께 통합될 수 있다.

Abstract Complete novel software for MDPS for the simulation and analysis is proposed for steering engineers. The software, MSAS, which can provide the functionality for **M**DPS **S**imulation, **A**nalysis & **S**ynthesis, is based on the steering system model, vehicle model and control logic. As the suppliers provide the control logic as a black box, this software is capable of using any type of black box logic or white box control logic that can be developed by logic designers. In addition, this software will be synthesized with the suppliers' s-function control logic and RMDPS together.

Key Words : Analysis, Control Logic Synthesis, CMDPS, MDPS, MDPS Software, RMDPS, Simulation

1. 서론

2003년 현대기아자동차의 클릭을 시작으로 국내 자동차 업계에서는 자동차 전동조향장치(MDPS)가 출시되어 컬럼 타입의 전동식 파워스티어링 시스템(CMDPS)을 장착하였고, 10여 년이 지난 2013년 가을에 대형 승용 차량에 랙 타입의 전동조향장치(RMDPS)가 장착되어 판매되고 있다. 기존 유압식 파워스티어링에서 전동식으로 상용화가 되면서 부품업체간 MDPS 모터 제어로직 개발[1]이 중요한 이슈가 되었고 협력업체의 제어로직 설계에 따라 차량의 성능에 직접적인 영향을 미치게 되었다. 제어로직 튜닝이 조향성능과 차량 동적성능에 영향을 미치므로 이에 대해 막대한 시간을 투자할 수 밖에 없고 국내에서는 튜닝에 대한 기법이나 전동조향장치를 해석하고 분석할 수 있는 소프트웨어가 공개되지 않았다.

반면 국외에서는 1990년대부터 델파이(Delphi)에서 하드웨어를 사용하지 않고도 조향감을 예측할 수 있게 이튠(E-Tune)[2]이라는 소프트웨어를 개발하여 제어로직을 설계하였고 튜닝을 수행하였다. 티알더블유(TRW) 사에서도 제어로직의 각 기능별 모듈을 설계하기 위해서 소프트웨어를 활용하고 있고, 이를 조향계 모델과 병합하여 설계 프로세스 브이사이클(V-cycle)의 밀스(MILS,

본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업 지원을 받아 수행됨(2013-054689).
*Corresponding Author : Bongchoon Jang(Andong National Univ.)
Tel: +82-54-820-6158 email: bjang@andong.ac.kr
Received May 2, 2014 Revised (1st July 21, 2014, 2nd August 20, 2014, 3rd September 3, 2014) Accepted September 11, 2014

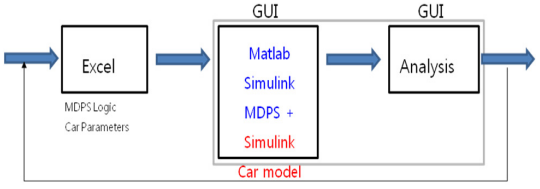
Model-In-the-Loop-System) 단계에서 해석 및 제어기 검증까지 다양하게 활용하고 있는 것으로 파악된다.

또한 차량동역학 소프트웨어인 카 메이커(Car Maker)에서는 페퍼(Pfeffer)[3]의 유압식 및 전동식 파워스티어링 모델과 로직을 설계 변경하여 차량 및 조향 성능을 분석할 수 있게 소프트웨어 내에 차량, 조향, 타이어 모델 등을 통합하였다. 본 연구에서는 이러한 소프트웨어 개발 필요성을 인지하여 전동조향장치의 제어 로직 및 파라미터를 설계하고 차량 및 조향성능을 분석하고 파라미터 민감도 분석을 수행할 수 있게 MSAS (MDPS Simulation, Analysis & Synthesis) 전용 소프트웨어를 개발하고자 한다.

2. 본론

2.1 소프트웨어 개발법

소프트웨어 개발 시 사용자가 가장 많이 사용하는 소프트웨어를 중심으로 수요조사를 실시하였다. 또한, 소프트웨어의 유지 보수 및 사용방법의 편의성을 고려하여 매트랩(Matlab) 소프트웨어 기반으로 그래픽 사용자 인터페이스(GUI, Graphic User Interface)를 구성하였다. 파라미터 및 로직 테이블 관리의 용이성을 위해서 데이타는 모두 엑셀(Excel)을 사용하였고, 매트랩(Matlab)에서 엑셀파일을 읽어 들이는 방식을 채택하였다.

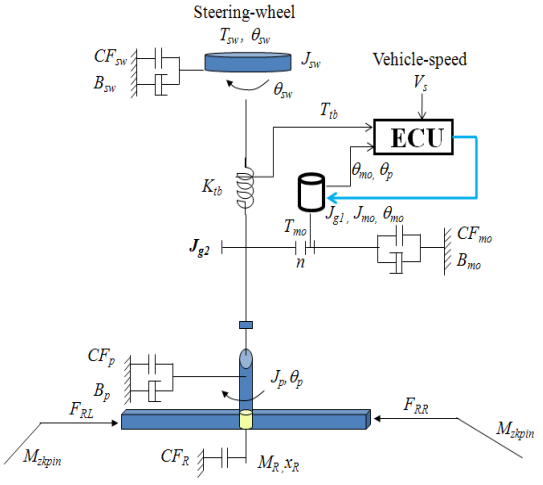


[Fig. 1] MSAS SW Schematic

본 연구에서 사용된 차량 모델은 3자유도 선형 차량 모델로 조향입력이 사인파 입력일 때 유용하게 사용될 수 있으나 복원제어나 급 조타 입력시에는 차량동역학 상용 소프트웨어인 카심(CarSim)이나 아담스(ADAMS)로 모델을 대체하여 결과를 분석할 수 있다[4].

2.2 전동조향시스템 모델

CMDPS는 Fig 2에 나타난 바와 같이 조향메커니즘, 센서, 제어기(ECU), 감속기, 모터제어[6] 등의 부품들로 구성되어 있다. 조향시스템과 제어기의 유효성을 검증하기 위해서는 먼저 조향시스템을 Fig. 2와 같이 각각의 조향계 부품에 대한 모델링을 수행하였다. 핸들의 질량관성, 웜과 웜휠 기어의 질량관성을 J_{sw}, J_{g1}, J_{g2}로 각각 표현하였다. 또한 모터 관성을 J_{mo}로 표시하였다. 토션바의 탄성은 K_{tb}를 사용하여 모델링 하였으며 스티어링 시스템 각 부의 마찰, 댐핑을 CF, B로 표시하여 모델링하였고 조향휠(sw), 모터(mo), 피니언(p) 부품의 위치에 아래 첨자를 사용하여 수학적 모델을 유도하였다. 운전자의 핸들에서의 토크 입력이 직선운동으로 바뀌는 랙은 질량 M_R, 변위 X_R로 표시하였다. 타이어로부터 랙에 들어오는 횡방향 반력은 킹핀에서의 모멘트 M_{zkpin}을 상용소프트에어서 구한 후 모멘트를 타이로드 끝단의 유효 암 길이로 나누어 랙 반력의 힘을 구하는 방식을 택하였다. 여기서 유효 암 길이는 차속 및 운전자의 조향 각 입력에 따라 차량마다 좌/우 길이가 달라지므로 자동차 제조업체의 데이타를 받아서 사용하였다.



[Fig. 2] CMDPS Schematic

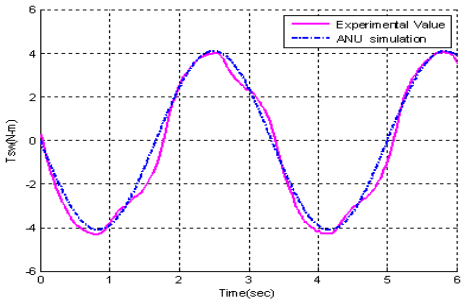
2.3 차량 모델

차량 모델은 상용 프로그램 아담스(ADAMS), 대즈(DADS), 카심(CarSim)을 이용하여 구성할 수 있으며[4,5] 본 연구에서는 기 검증된 3자유도 선형 차량모델[6]을 사용하여 시뮬링크(Simulink)로 구성하였다.

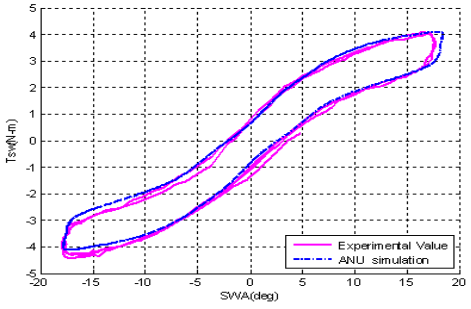
2.4 제어 로직

제어 로직에 들어가는 입력은 컬럼 토크, 컬럼 각, 차량속도를 센서를 통해서 신호를 받게 된다. MDPS 로직의 경우 6개의 기능모듈로 (1) 부가제어(Assist control), (2) 댐핑 보상제어(Damping compensation), (3) 마찰 보상제어(Friction compensation), (4) 복원성 제어(Return-ability control), (5) 동적 부스트 제어(Dynamic Boost control), (6) 관성 보상제어(Inertia compensation)로 구성 되어 있고 각각의 로직연산 전류 값이 합해져 목표 전류 값을 계산하여 모터에 입력된다.

제어 로직을 검증하기 위해 차속 100 kph에서 조향각 18도로 입력을 주어 실차시험 결과와 시뮬레이션 결과의 비교를 통해 Fig 3~4와 같이 토크 출력 및 조타력 그래프를 통해 모델 유효성을 검증하였다.



[Fig. 3] CMDPS Simulation Comparison

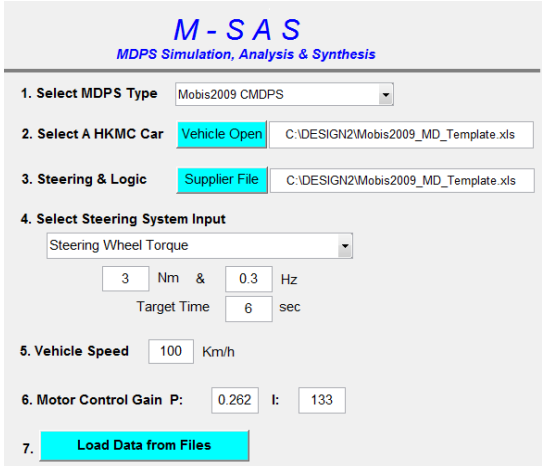


[Fig. 4] CMDPS Simulation Comparison

2.5 MSAS 소프트웨어 설계 및 제작

Fig. 1의 기능 흐름도를 바탕으로 소프트웨어를 제작하였다. 먼저 매트랩(Matlab)으로 그래픽 사용자 인터페이스 초기화면을 만들어 로그인 아이디와 패스워드를 사용자가 로그인하면 Fig. 5와 같이 메인화면이 나타난다. 사용자는 먼저 1번에서 CMDPS와 RMDPS중에서 해석 대상을 선택하고 2번에서 차량, 3번에서 로직 데이타 파일을 선택한다. 데이타는 모두 마이크로소프트 엑셀(Microsoft Excel)로 이미 저장되어 있다.

4번에서 시뮬레이션의 입력조건을 정하고 5번으로 차량속도를 입력으로 주고, 6번으로 모터 제어 게인을 조절하여 프로그램을 실행하기 위해 7번 버튼을 클릭하여 데이타를 업로드해야 한다.



[Fig. 5] MSAS Main Window

위의 Fig. 5에서 해석 및 설계하고자 하는 대상 차량 및 제어로직에 따라 읽어 들이는 데이타 파일의 템플릿 형식이 엑셀로 지정되어 있고, Fig. 6과 같은 데이타 파일을 매트랩(Matlab)은 읽어 들인다. 현재로서는 차량파라미터와 제어로직 파라미터들을 차종별로 묶어서 데이타 파일에 Fig. 6과 같이 저장하였다.

MDPS-Simulation, Analysis & Synthesis

Ver 1.0, 2013

System Parameters List

No.	Name	Description	Rows	Cols
1	Vehicle	Vehicle Parameters	20	1
2	Rack to Steer	Rack Stroke to Tire Angles	20	1
3	Steering	Steering Parameters	19	1
4	Motor	Motor Parameters	9	1
5	Sensor	Sensor Parameters	13	1

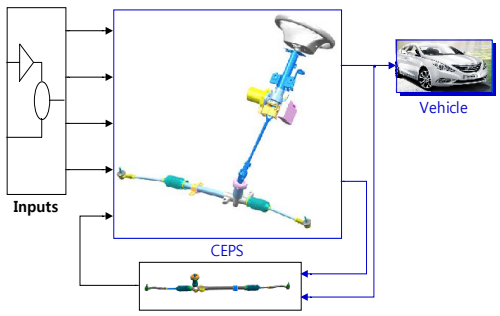
MDPS Logic Tuning Parameters List

No.	Name	Description	Rows	Cols
1	Boost Curve	Boost Curve	8	16
2	HFAC	HFAC	17	11
3	Active Return Torque	Active Return Torque	10	7
4	Damping	Damping	3	17
5	Torque Damping Tgain	Torque Damping Tgain	3	16
6	Low Pass Filter	Low Pass Filter	2	15
7	Biquad Filter	System Stability Filter	3	3

[Fig. 6] MSAS Car & Steering Paramenters File

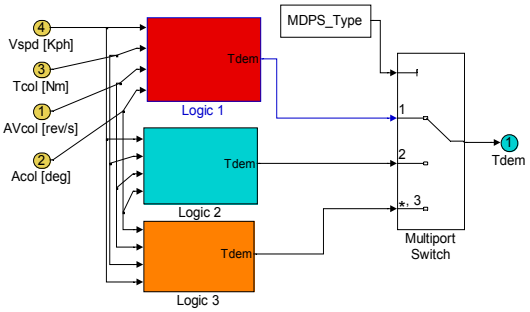
제어로직 데이타 파일을 읽어 들이고 사용자가 제어 로직 맵을 먼저 확인한 후에 기능별 제어 모듈을 온/오프 할 수 있는 기능을 두어 제어 기능 모듈의 영향도를 비교 분석 할 수 있게 하였다.

조향계 모델과 차량 모델을 결합한 Fig. 7의 시뮬링크 (Simulink) 파일을 열면 시뮬레이션을 실행 할 수 있는 준비가 된다.



[Fig. 7] Simulink model

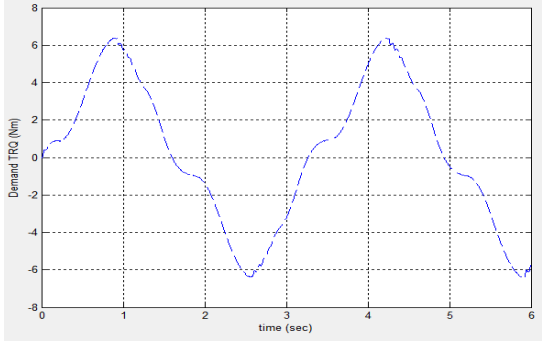
본 소프트웨어는 협력업체가 제공하는 에스함수 (s-function) 형태의 블랙박스 제어로직도 사용자가 사용할 수 있도록 Fig. 8과 같이 각각의 로직 모듈들을 합성하여 사용자가 선택한 제어 로직 결과를 분석할 수 있게 하였다. 시뮬레이션 결과를 분석하기 위해서 사용자는 Fig. 9의 11번 항의 버튼을 누름으로써 가장 기본적으로 체크할 조타력 그래프를 확인해야 한다. Fig. 4와 같이 운전자의 조향각 입력과 운전자가 느끼는 조타토크의 크기가 Fig. 4와 같은 형태로 잘 나오는 지 확인함에 따라 제어가 잘 되고 있는 지 운전자가 조향감을 가볍게 느끼는 지 무겁게 느낄지를 예측할 수 있다.



[Fig. 8] Supplier's Control Logic Module Synthesis

Fig. 9는 소프트웨어 사용자의 관심에 따라 조향 및 차량 동적 성능을 선택적으로 결과를 확인하여 분석할 수 있게 하였다. 또한 텍스트 박스에 파일명을 지정하면 현재 시뮬레이션 입력조건과 결과들을 데이타로 모두 저장하여 다른 시뮬레이션 결과와 비교 분석할 수 있게 설계하였다.

(a) Analysis GUI Screen

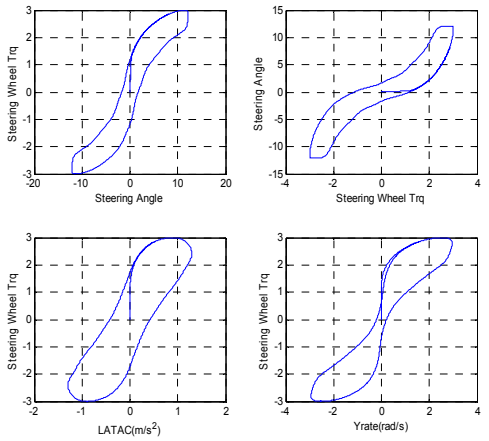


(b) Result Analysis Graph

[Fig. 9] MSAS Analysis

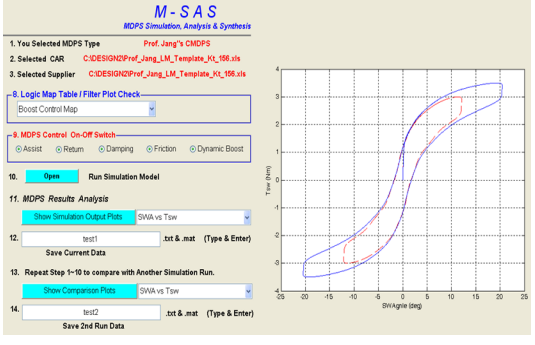
또한 운전자가 느끼는 토크의 양에 비해 차량의 동적 거동을 살펴보기에 차량의 횡방향 가속도인 횡가속도 (Lateral Acceleration, LATAC)와 차량의 위에서 봤을 때 차량 무게중심에서 z방향 중심축 기준으로 회전각속도인 요레이트(Yaw rate)를 Fig. 10의 하단부와 같이 확인할 수 있다. 즉, Fig. 10은 운전자의 조향각, 조향토크,

차량의 거동이 정상적인지 비정상적일지 판단하는 기본적인 잣대가 될 수 있으며 Fig. 10의 경우 일반적인 거동을 보이는 그래프이다.



[Fig. 10] MSAS Basic Results Plot

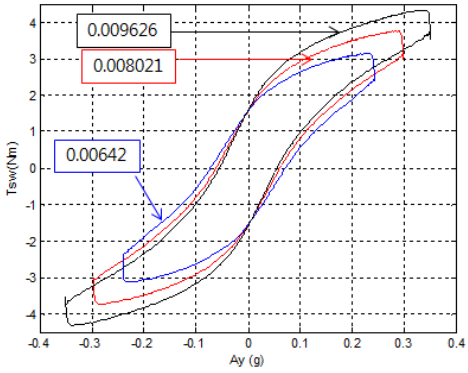
간단한 예로, 조향 토크 입력을 차속 100Kph에서 3 Nm와 3.5 Nm를 주어 0.2Hz사인파 입력을 주었을 때의 조타력 그래프를 보면 아래 Fig. 11과 같이 비교 분석할 수 있다. 따라서 파라미터별 민감도 분석이 가능하고, 제어로직 맵의 크기에 따라 민감도 분석 및 제어로직 기능별 모듈의 온/오프에 따른 결과차이 값을 통해서 제어기를 이해하고 기능의 확장성을 위한 설계가 용이해질 것으로 판단된다.



[Fig. 11] MSAS Sensitivity Analysis

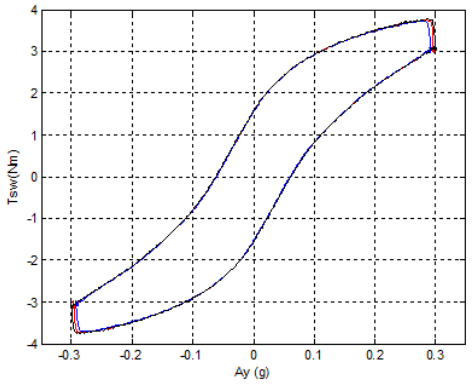
3. 결과 분석 및 고찰

위에서 개발된 소프트웨어를 활용하여 파라미터별 민감도 분석을 수행할 수 있다. Fig. 12에서 Fig. 14는 차속 100Kph에서 조향 각 입력 22 도의 0.2Hz 사인파 입력을 주었을 때 조향토크(Tsw)와 차량의 횡가속도(Ay(g)) 결과 그래프를 보여준다. Fig. 12는 차량의 조향 기어비가 커지면서 차량의 횡방향의 가속도와 운전자 토크가 아주 커짐을 알 수 있었다. 즉, 조향 기어비가 커지면서 차량의 동적 거동도 그 만큼 커지고 운전자는 무거운 조향감을 느끼는 것을 예상할 수 있다.

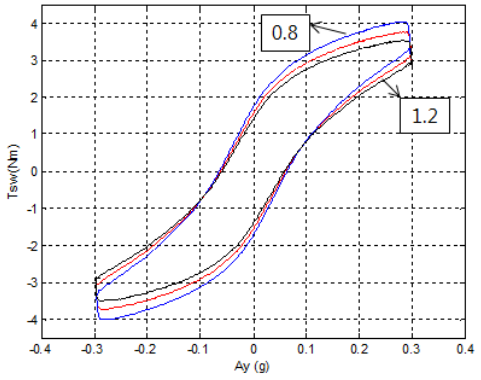


[Fig. 12] Steering Gear Ratio Parameter Sensitivity

Fig. 13은 토션바의 강성(K_{tb})을 20%씩 변화 시켰을 때 운전자 토크에 크게 영향을 미치지 않으나 차량의 횡가속도에는 미세하게 영향을 미침을 알 수 있었다. Fig. 14의 경우는 제어로직에서 부가제어(Assist control) 모듈의 게인 값을 20%씩 바꾸어 가며 토크의 크기를 봤을 때 게인 값을 높이면 모터에서 어시스트 되는 토크의 양이 증가함에 따라 운전자가 느낄 수 있는 토크의 크기가 줄어 가벼운 조향감을 느낄 수 있다. 반대로 게인 값을 낮추었을 때 모터에서 보조되는 토크의 값이 낮아져서 운전자는 조금 더 토크를 느끼게 되어 조향감이 무거워짐을 느끼게 된다는 것을 알 수 있다. 이 때 제어로직의 기능 모듈은 차량의 횡방향 거동에 영향을 미치지 않기에 거의 같은 크기의 횡가속도 값을 갖게 됨을 알 수 있었다. 위와 같이 본 연구에서 개발된 소프트웨어를 사용하여 차량과 조향의 파라미터 값들을 바꾸어가면서 민감도 분석을 수행할 수 있게 되었다. 따라서 조향관련 설계 엔지니어들은 본 소프트웨어를 활용하여 차량 및 조향의 동적 특성들을 확인하면서 설계 요소들을 고려할 수 있다.



[Fig. 13] Torsion Bar Parameter Sensitivity



[Fig. 14] Assist Control Gain Parameter Sensitivity

4. 결론

본 연구는 조향계 모델 구축 후 차량모델과 제어로직을 결합하여 전동조향장치를 해석하고 분석할 수 있는 밀스(Model-In-the-Loop-System) 기반 소프트웨어를 매트랩(Matlab) 기반 그래픽 사용자 인터페이스를 이용하여 설계 제작하였다. 또한 협력업체가 제공하는 컴파일된 에스함수(s-function) 형태의 블랙박스 제어로직도 사용자가 선택적으로 사용할 수 있도록 시뮬링크 모델에 합성하여 통합 제작하였다.

또한, 시뮬레이션 입력조건과 결과들을 데이타로 모두 저장하여 파라미터 및 로직 맵 변경 후에 다른 시뮬레이션 결과와 비교 분석할 수 있게 설계하였다.

본 연구에서 수행된 결과물을 조향관련 엔지니어들이 사용해보고 요구조건이나 요구 기능들이 있을 것으로 판단되며, 이를 반영해서 소프트웨어 업그레이드 시 전동조향장치 해석 및 설계 전용 툴로서 활용될 것으로 기대해본다.

References

[1] Y. S. Lee, J .K. Ji, G. S. Cha, "Controller Design of PMSM Drive System Using Embedded Target in MATLAB/SIMULINK", KAIS 2007 Fall Conference / pp.148-151, 2007

[2] A. Badaway, J. Zuraski, F. Bolourchi, A. Chandy, "Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System", SAE 982878, 1998.
DOI: http://dx.doi.org/10.4271/1999-01-0399

[3] E. Pfeffer, "Interaction of Vehicle and Steering System Regarding On-Centre Handling", PhD Dissertation, University of Bath, 2006.

[4] B. Jang, G. Choi, "Co-Simulation & Simulation Integration for an Electric Power Steering System", Mathematical and Computer Modeling of Dynamical Systems, Taylor & Francis, 2006.

[5] B. Jang, "Study on Concurrent Simulation Technique of Matlab CMDPS and A CarSim Base Full Car Model", KAIS, pp.1555-1560, 2013.

[6] B. Jang, "Active Handling System Using Both Brake and Drive Torque Modulation", Ph.D. Dissertation, UCDavis, pp.17-62, 2000.

장 봉 춘(Bongchoon 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 교수

<관심분야>
차량동역학 및 제어

김 정 훈(Joung Hoon Kim) **[정회원]**

- 1992년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 학사
- 1994년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 석사
- 1994년 1월 ~ 현재 : 현대자동차 연구개발본부 상용시험개발팀 책임연구원

<관심분야>
차량 동역학, 감성공학

양 성 모(Sung Mo Yang) **[정회원]**

- 1974년 2월 : 한양대학교 기계 공학과
- 1984년 8월 : 전남대학교 기계공학과 (석박사)
- 1978년 3월 ~ 1985년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 1986년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>
기계시스템 및 강도설계