

# C-EPS (C-type Electric Power Steering) 시뮬레이터 설계 및 제어 알고리즘 개발

## Design of C-EPS (Column type - Electric Power Steering) Simulator and Development of Control Algorithm

박 명 옥\*, 문 희 창, 김 정 하, Carl D. Crane III  
(Myung-Wook Park, Hee-Chang Moon, Jung-Ha Kim, and Carl D. Crane III)

**Abstract:** EPS (Electric Power Steering) is important device for improving vehicle's dynamics and static performances. This paper deals with simulator design for C-EPS (Column type-EPS), development assist and returnability control algorithm. First, C-EPS system model was simply designed because EPS system is complex control system that has many unknown variables. These parameters were simplified through assumptions. Second, C-EPS simulator was designed for development of control algorithm. This simulator has SAS (Steering Angle Sensor), dual torque sensor, dual load cell for measuring rack force, dual linear actuator for generating tire force and Data Acquisition System. Using this simulator, control methods were tested. Third, control algorithm was designed for torque assist and returnability. Assist torque map and returnability torque map were found by lots of simulation test. These torque maps were tuned for EPS actuator control. The simulation result was compared with non-EPS system result. In this research, the C-EPS simulator was designed for development of control algorithm about torque assistant and returnability. Using this simulator, control algorithm was improved.

**Keywords:** electric power steering, torque assist, returnability, simulator, data acquisition system, torque map

### I. 서론

현재의 자동차에는 동력 조향 장치가 장착되어 운전자가 손쉽게 주행방향을 조절할 수 있게 되어 있다. 동력 조향 장치는 저속 주행시 운전자의 부담을 줄여주는 것이 사용 목적이다.

자동차의 조향 장치는 몇 년 전만 하더라도 유압펌프를 이용하여 조향 장치에 파워를 공급하는 유압식 파워 스티어링 시스템이었다. 이런 유압식 파워 스티어링 시스템은 유압 펌프를 사용하기 때문에 연비가 좋지 않으며, 오일 사용으로 환경오염의 원인이 된다. 하지만 전동식 파워 스티어링(EPS: Electric Power Steering)은 전기 모터에서 운전자에게 토크를 공급하기 때문에 연료 절감 및 환경에 대해 장점이 많으며, 효율적인 운용이 가능하다. 또한 전기 자동차와 같은 친환경 자동차에서는 전동식 파워 스티어링이 더 높은 효율성을 가지고 있으며, 미래형 자동차에서도 능동 조향 시스템을 구축하기에도 이상적이다. EPS는 발생 토크의 크기에 따라 C-EPS, P-EPS (Pinion Type EPS), R-EPS (Rack type EPS)가 있으며 R-EPS가 가장 큰 힘을 내며 C-EPS는 소형차에 적용 가능한 토크와 간단한 구조로 가장 많이 사용되고 있다. EPS가 가진 많은 장점에도 불구하고 아직 실용화 단계에 머물고 있는 이유는 상용차 적용시 발생하는 가변적인 외부환경요소 때문이다. 그러므로 이런 복잡한 환경에도 대처할 수 있는 장치와 제어 알고리즘이 절실히 요구된다[1-3].

본 연구에서는 C-EPS 제어 알고리즘을 개발하는데 목적이

있다. 이를 위하여 C-EPS 시뮬레이터를 설계 및 제작하였고, 리니어 모터를 이용하여 반력 시스템을 구축하였다. 또한 맵 튜닝 알고리즘을 개발하여 EPS 제어 알고리즘 개발을 더욱 용이하게 하였다. 그리고 맵 기반의 보조력 및 복원력 제어를 시뮬레이터에 적용하여 알고리즘을 검증하였다.

### II. EPS 시스템 모델링

제어기 설계에 있어서 정확한 시스템 모델링은 제어기 설계만큼이나 중요한 부분이다. EPS는 복잡한 시스템이며, 모델은 많은 매개변수를 포함하고 있다. 불확실한 매개변수들은 적절한 가정을 통하여 단순화 하였다. 우선 EPS 시스템을 선형 모델로 변경하기 위해 실험 상황을 차량이 정지 중이거나 저속 주행으로 제한하였다. 따라서 타이어의 반력 거동을 선형 모델인 스프링으로 가정할 수 있게 된다. ESP 시스템의 많은 부분들이 기계적인 결합과 모터의 전기적인 조합으로 이루어져 있다. 그러나 급변하는 매개변수들을 모두 측정하는 것은 불가능하며 비효율적이다. 따라서 시스템의 거동에 큰 영향을 미치지 않는 고주파 응답을 가지는 요소들은 시스템 모델에서 생략하였다. 이런 가정들을 고려한 EPS의 시스템모델은 그림 1에서 보여주고 있다[4].

EPS 시스템의 동작 원리는 운전자가 차량의 방향을 바꾸기 위해 조향 휠을 움직이게 되면 발생하는 토크가 조향 칼럼에 전달되게 된다. 이 조향 토크를 조향 칼럼에 장착되어 있는 토크 센서가 전기적 신호로 바꿔 EPS 제어기에 전달하게 된다. 제어기는 토크 신호에 따라 미리 정해진 약속대로 모터의 보조력 및 복원력을 발생시킨다. 이 때, 제어기에서 고려하는 사항으로는 차량의 현재 속도와 핸들의 각도 등이 있으며, 각 기호에 대한 정보는 표 1과 같다.

시스템에 큰 영향을 미치지 못하는 요소들을 생략하고 운동방정식으로 나타내면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 3. 15., 수정: 2010. 4. 15., 채택확정: 2010. 4. 30.

박명옥: 국민대학교 자동차공학전문대학원(solson@naver.com)

문희창: Univ. of Florida(moonhc2@gmail.com)

김정하: 국민대학교 자동차공학부(jhkim@kookmin.ac.kr)

Carl D. Crane III: University of Florida(ccrane@ufl.edu)

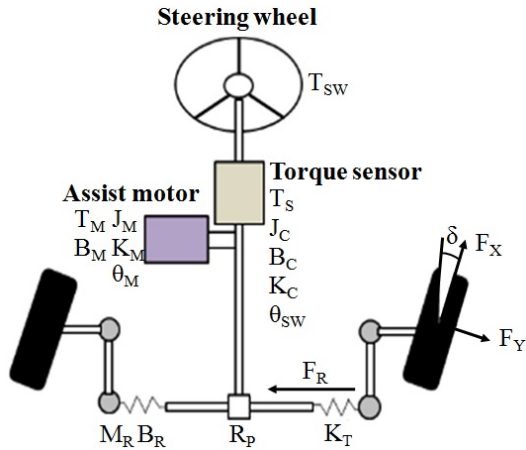


그림 1. C-EPS 시스템 모델.  
Fig. 1. C-EPS system model.

표 1. EPS 시스템 매개변수.  
Table 1. EPS system parameters.

기호	매개변수	단위
$T_{SW}$	운전자(핸들) 토크	$N \cdot m$
$T_M$	모터 토크(보조 토크)	$N \cdot m$
$T_S$	토크센서 토크	$N \cdot m$
$\theta_{SW}$	핸들 각도	rad
$\theta_M$	모터 각도	rad
$J_C$	핸들 관성모멘트	$kg \cdot m^2$
$J_M$	모터 관성모멘트	$kg \cdot m^2$
$B_C$	조향 칼럼 댐핑계수	$N \cdot m/rad/s$
$B_M$	모터 댐핑 계수	$N \cdot m/rad/s$
$B_R$	랙 댐핑 계수	$N/m/s$
$K_M$	모터 비틀림 강성계수	$N \cdot m/rad$
$K_T$	타이어 복원력 상수	$N/m$
$K_C$	조향 칼럼 비틀림 강성계수	$N \cdot m/rad$
$R_p$	피니언 반지름	$M$
$M_R$	랙과 휠 질량	$Kg$
$F_X$	타이어 종방향 힘	$N$
$F_Y$	타이어 횡방향 힘	$N$
$F_R$	랙에 작용하는 힘	$N$
$x$	랙 변위	$M$
$G \cdot R$	모터 기어비	상수
$\delta$	휠 앵글	rad

$$T_{SW} = J_C \ddot{\theta}_{SW} + B_C \dot{\theta}_{SW} + K_C (\theta_{SW} - \frac{x}{R_p}) \quad (1)$$

$$T_M = J_M \ddot{\theta}_M + B_M \dot{\theta}_M + K_M (\theta_M - \frac{xG \cdot R}{R_p}) \quad (2)$$

$$M_R \ddot{x} + B_R \dot{x} + K_T = \frac{K_C}{R_p} (\theta_{SW} - \frac{x}{R_p}) + \frac{K_M G \cdot R}{R_p} (\theta_M - \frac{xG \cdot R}{R_p}) \quad (3)$$

단, 차량이 정지해 있는 경우나 저속 주행시 조향에 대한 관성과 댐핑을 무시할 수 있다고 가정하면, 토크센서에 측정되는 칼럼의 토크는 식 (4)와 같다.

$$T_{SW} = K_C (\theta_{SW} - \frac{x}{R_p}) \quad (4)$$

타이어에 작용하는 힘이 손실 없이 랙으로 이동한다고 가

정하면, 타이어의 종방향과 횡방향 힘을 타이어의 조향각을 이용하여 구하면 식 (5)와 같다.

$$F_R = F_X \sin \delta + F_Y \cos \delta \quad (5)$$

본 연구에서는 타이로드와 타이어의 질량, 타이어의 움직임, 마찰 등을 배제하였다. 그리고 기어의 효율도 100%라 가정하였다. 식 (1)은 조향 칼럼의 운동을 기술하고 있다. 좌변은 조향 칼럼의 관성모멘트와 댐핑의 영향 그리고 랙의 비틀림에 의한 토크를 표현하고 있다. 우변은 운전자에 의해 발생하는 조향 휠의 토크에 대한 내용이다. 식 (2)와 (3)은 각각 모터와 랙의 운동을 기술하고 있다.

### III. C-EPS 시뮬레이터 설계 및 구성

EPS 시뮬레이터는 크게 세 부분으로 구성되어 있다. 시뮬레이터의 핵심인 C-EPS 시스템, 노면으로부터 전달되는 힘을 제공 할 반력 시스템 그리고 두 시스템의 제어를 위한 컨트롤러 시스템이다. 그림 2에서 C-EPS 시뮬레이터 구성도를 보여주고 있다.

#### 1. C-EPS 시스템

C-EPS 시스템은 컬럼에 장착된 전기 모터의 도움으로 운전자가 손쉽게 조향을 할 수 있게 해주는 시스템이다. 운전자가 스티어링 휠을 돌렸을 때 컬럼에 작용하는 토크, 스티어링 휠의 각도 및 각속도 그리고 차량의 속도 등을 바탕으로 컨트롤러가 모터에 적절한 전류를 인가하게 된다. 이를 위해 비접촉식 토크 센서와 CAN 통신 방식의 조향각 센서를 조향 칼럼에 장착하였고, 차량의 속도 구현을 위해 실제 차량의 가속페달을 사용하였다.

#### 2. 반력 시스템

실제 차량에서 발생하는 반력은 타이어와 접지면의 마찰력, 주행 시 발생하는 복원력 그리고 노면의 요철에 의해 생성되는 힘으로 구성된다. 이 반력에 대한 정보는 차량의 모델로부터 출력되는 데이터를 이용하였으며, 랙에 로드셀을 설치하여 적절한 반력이 생성되는지 모니터링 하였다. 본 연구에서는 운전자에게 노면의 반력을 제공하기 위해 리니어 모터를 두 개를 사용하였다. 반력값은 Carsim을 이용하여 대상차량에 대하여 시뮬레이션을 한 결과를 반력맵으로 작성하여 사용하였다. 랙과 리니어 모터의 연결은 실제 차량과 같이 설계 하였으며, 차량의 크기와 무게에 따라 조절이 가능하게 구성하여 여러 차종에 적용이 가능하도록 하였다[5].

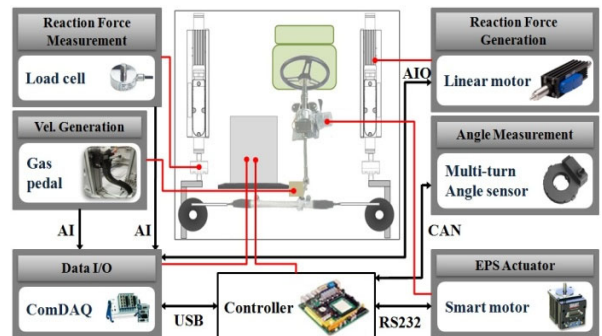


그림 2. C-EPS 시뮬레이터 구성도.  
Fig. 2. C-EPS simulator configuration.

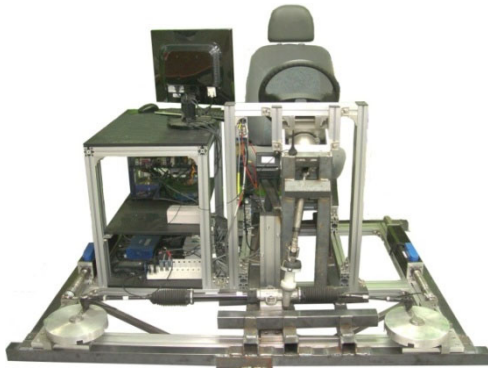


그림 3. C-EPS 시뮬레이터.  
Fig. 3. C-EPS simulator.

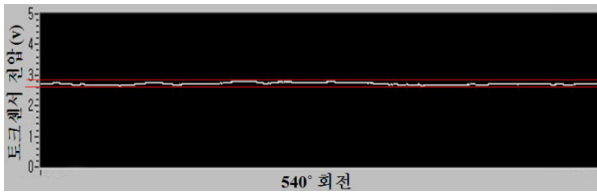


그림 4. 시뮬레이터의 기구학적 설계 테스트.  
Fig. 4. Test result of verification simulator mechanism.

3. 컨트롤 시스템

컨트롤 시스템은 각종 센서의 값을 받아 주행 상황에 맞는 적절한 토크를 모터가 출력할 수 있도록 해준다. 제어기로 사용한 PC는 산업용 보드를 이용하여 그 처리 속도를 빠르게 하였고, 모터 드라이버와는 RS-232 통신을 사용하여 모터를 제어하게 된다. 그리고 각종 센서는 National Instrument사의 CompactDAQ 및 CAN (Controller Area Network) 통신 모듈을 사용하여 정확한 계측이 이루어질 수 있게 하였다.

그림 3은 C-EPS 시뮬레이터 모습을 보여주고 있으며, 그림 4는 스티어링 시스템에 부하를 주지 않고 스티어링 휠을 540° 회전했을 때 컬럼에 작용하는 토크 값을 측정하는 것이다. 0.1V 이하의 진폭을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이 값을 토크로 환산하게 되면 0.32N·m가 된다. 이는 시뮬레이터의 기구학적 설계가 잘 되었다는 것을 보여준다[6].

IV. 제어 알고리즘

C-EPS 시스템을 제어하기 위해 맵 기반 제어 알고리즘을 개발 하였다. 저속주행에서의 운전 용이성과 고속주행에서의 조향 안정성을 확보하기 위해 속도가 증가함에 따라 보조토크는 감소하도록 토크맵을 구성하였다. 맵 기반 C-EPS 제어 블록도는 그림 5와 같다. 차량의 속도, 토크 그리고 스티어링 휠 각도 데이터가 입력되면 토크맵에서 그 데이터에 맞는 토크 값( $T_{map}$ )을 계산하게 된다. 이 값을 모터 컨트롤러에 입력하면 시뮬레이터에서 피드백 된 전류 값( $I_{sen}$ )과 비교하여 실제 모터로 입력되는 토크 값( $T_m$ )을 계산한다. 이 과정을 반복 하며 모터를 제어하게 된다. 모터 제어는 PID 제어를 사용 하였으며, 반복 실험을 통해 안정된 값을 찾았다.

또한 맵 튜닝 알고리즘을 개발하여 C-EPS 제어 알고리즘 개발을 용이하게 하였다[7]. 제어 대상 차량의 최적맵을 찾기 위해서는 토크맵을 수 없이 수정해야 하는 과정을 반복해야

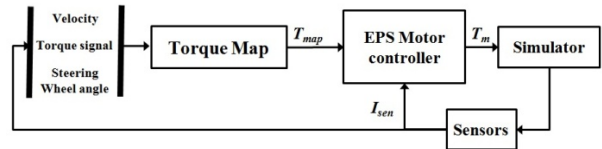


그림 5. C-EPS 제어 블록도.  
Fig. 5. C-EPS control block diagram.

하며, 시간이 많이 소요 된다. 이러한 면에서 맵 튜닝 알고리즘 개발은 이 과정에서의 시간을 상당하게 줄여줄 수 있다. 또한 차량의 종류에 따라 맵을 빠르게 적용이 가능하다.

1. 보조력 및 복원력 제어 알고리즘

보조력 제어는 저속이나 정차 시에는 운전자에게 조향 용이성을 제공하기 위해 보조력을 많이 제공하며, 고속 주행 시에는 조향 안정성을 제공하기 위해 보조력을 적게 제공하도록 하였다. 그림 6은 보조 토크맵을 보여 주고 있으며, 여기서 X축은 스티어링 컬럼에 작용하는 토크 신호이며, Y 축은 속도, Z축은 토크 값을 나타내고 있다.

복원력 제어는 스티어링의 복원특성을 변화시켜 차량의 복원능을 향상시킬 수 있도록 하였다. 스티어링 휠에서 운전자의 힘이 줄어들면, 셀프 얼라이닝 토크에 의해 부드럽게 복원 될 수 있게 개발 하였다. 그림 7은 보조 토크맵을 보여 주고 있으며, 여기서 X축은 스티어링 휠 각도를 나타내고, Y 축은 속도, Z축은 토크 값을 나타내고 있다.

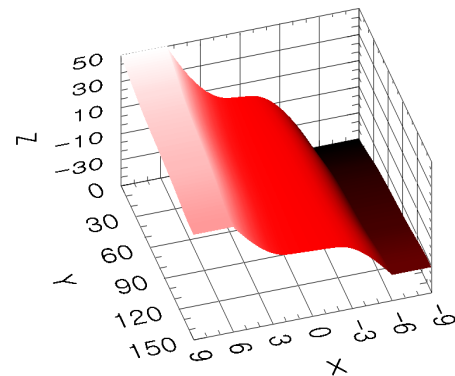


그림 6. 보조 토크맵.  
Fig. 6. Assist torque map.

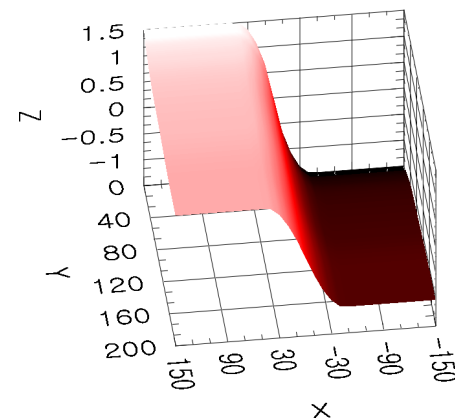


그림 7. 복원 토크맵.  
Fig. 7. Returnability torque map.

2. 맵 튜닝 알고리즘

맵 튜닝 알고리즘을 개발하기 위해 튜닝 파라미터를 설정해야 한다. C-EPS 제어는 스티어링에 작용하는 토크 데이터, 스티어링 휠 각도와 각속도 그리고 주행 속도 정보를 입력받아 모터의 토크를 제어하는 것이다. 따라서 튜닝 파라미터 역시 입력 값에 따라 개발자가 원하는 출력 값이 발생 가능하게 설정할 수 있도록 하였다.

개발자가 원하는 파라미터를 모든 속도 구간이나, 전체 스티어링 휠 각도에 해당하는 토크 데이터를 입력할 수 없다. 따라서 중요한 위치의 파라미터만 입력을 한 뒤에 전체적인 맵이 생성될 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 cubic hermite spline 방법을 사용하였다. Cubic hermite spline은 여러 가지 spline 공식 중 하나로, 두 점과 그 점에서의 기울기를 만족하는 3차 곡선에 관한 해법이다. 이 3차 식의 곡선을 가장 단순한 매개변수식으로 나타내면, 식 (6)과 같은 형태를 생각할 수 있다[8].

$$P(u) = [x(u)y(u)z(u)] = a_0 + a_1u + a_2u^2 + a_3u^3 \quad (0 \leq u \leq 1) \quad (6)$$

식 (6)에서  $a_0, a_1, a_2, a_3$  는 벡터계수로 각각 x, y, z 성분을 갖는 행벡터이다. 그런 데 이 벡터계수는 단순한 대수계수 이어서, 이 계수들의 변화에 따른 곡선형태의 변화를 미리 예측하기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해  $a_0, a_1, a_2, a_3$  을 기하학적으로 의미가 있는 새로운 벡터계수  $P_0, P_1, P_0', P_1'$  로 대체할 수 있다. 여기서  $P_0, P_1$  은 곡선의 양 끝점이고,  $P_0', P_1'$  은 양 끝점에서의 접선 벡터이다. 이와 같은  $P_0, P_1, P_0', P_1'$  의 정의로부터 다음과 같은 네 개의 경계조건식을 이끌어 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_0 &= P(0) = a_0 \\ P_1 &= P(1) = a_0 + a_1 + a_2 + a_3 \\ P_0' &= P'(0) = a_1 \\ P_1' &= P'(1) = a_1 + 2a_2 + 3a_3 \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)을 풀어  $a_0, a_1, a_2, a_3$  을  $P_0, P_1, P_0', P_1'$  으로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_0 &= P_0 \\ a_1 &= P_0' \\ a_2 &= -3P_0 + 3P_1 - 2P_0' - P_1' \\ a_3 &= 2P_0 - 2P_1 + P_0' + P_1' \end{aligned} \quad (8)$$

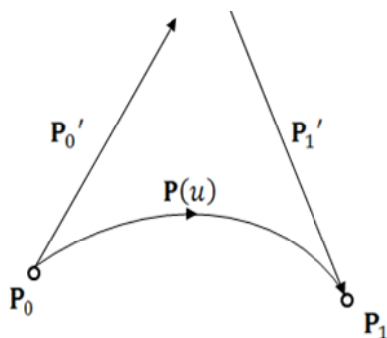


그림 8. 벡터계수. Fig. 8. Vector coefficient.

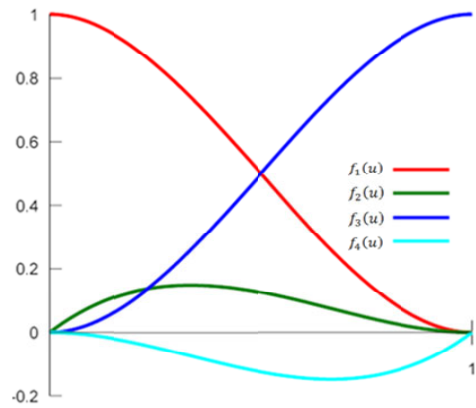


그림 9. Hermite 블렌딩 함수. Fig. 9. Hermite blending function.

식 (8)을 식 (6)에 대입하면 아래와 같은 곡선 표현식을 얻을 수 있다.

$$P(u) = [1 \quad u \quad u^2 \quad u^3] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & -3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

이 곡선식은 앞의 대수계수를 포함하지 않고 대신 새로운  $P_0, P_1, P_0', P_1'$ 의 곡선형상에 대한 영향력은 다음 각각의 함수 값의 크기에 결정된다.

$$\begin{aligned} f_1(u) &= 1 - 3u^2 + 2u^3 \\ f_2(u) &= 3u^2 - 2u^3 \\ f_3(u) &= u - 2u^2 - 2u^3 \\ f_4(u) &= u + u^3 \end{aligned} \quad (10)$$

즉, 이들 함수들은 경계조건인  $P_0, P_1, P_0', P_1'$ 의 영향력을 적당히 혼합하여 곡선의 형상을 결정짓는 역할을 한다고 볼 수 있다.

V. 실험 및 결과

1. 반력 실험

그림 10에서 반력 시스템에 대한 실험 결과를 보여주고 있다. 반력에 대한 실험은 차량의 모델에서 출력되는 데이터와 실제 시뮬레이터에서 측정되는 데이터를 비교하였다. 차량 모델은 CarSim에 있는 모델을 사용하였다. 그림을 보면 두 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

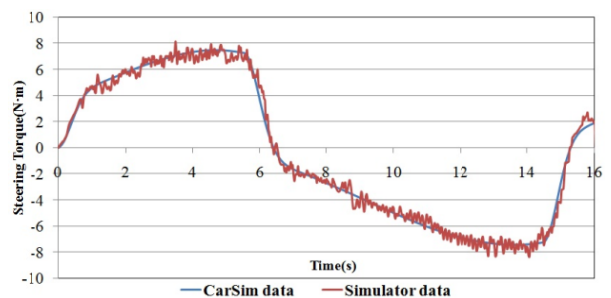


그림 10. 반력 시스템 실험(40km/h). Fig. 10. Test of reaction force system(40km/h).

2. 보조력 실험

보조력 실험은 시뮬레이터에 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우와 제어 알고리즘을 적용 하였을 경우를 비교하였다. 그 결과 차량 속도가 10km/h일 때 그림 11, 12와 같은 결과를 얻었다.

그림 11에서 보조력 제어 알고리즘을 적용하지 않은 결과를 보면 컬럼에 작용하는 토크의 최대 값이 8~9N·m인 것을 확인 할 수 있다. 하지만 보조력 제어 알고리즘을 적용하였을 때의 최대 토크는 5~6N·m이다. 또한 그림 12에서도 제어

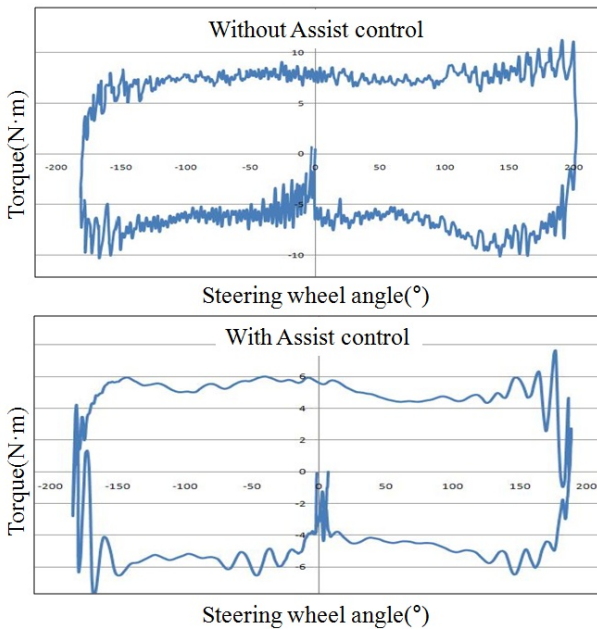


그림 11. 속도 10km/h에서 조향각 vs 토크 그래프.  
Fig. 11. Steering angle vs Torque graph at 10km/h.

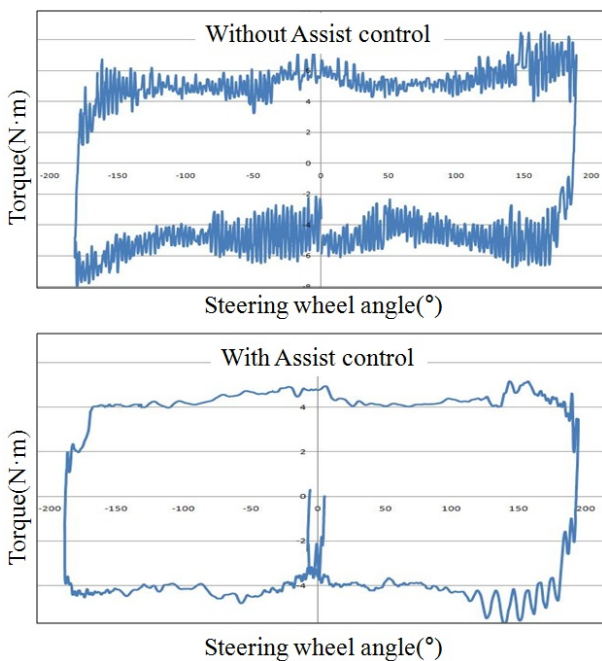


그림 12. 속도 30km/h에서 조향각 vs 토크 그래프.  
Fig. 12. Steering angle vs Torque graph at 30km/h.

기 적용을 하지 않은 경우의 토크 값은 5~6N·m이며, 적용한 실험의 결과는 최대 토크가 4~5N·m로 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

3. 복원력 실험

복원력 실험은 스티어링 휠에서 운전자가 힘을 인가하지 않았을 때 핸들 중립 방향으로의 복원성을 확인해 보았다. 그림 13은 복원력 특성을 알 수 있는 그래프이다. 복원력이 시작되는 시점으로부터 스티어링 휠 각도가 0°이 될 때까지의 선도 기울기  $\theta$ 가 클수록 좋은 복원성을 나타낸다. 또한 잔류각  $\theta_1$ 이 0°에 가까울수록 조향 시스템의 복원성 및 차량의 수습성이 좋은 것으로 평가할 수 있다.

그림 14는 복원력 실험의 결과를 보여주고 있으며, 실험 환경은 속도 20km/h에서 스티어링 휠을 90° 까지 움직인 후 운전자의 힘을 제거 하였다. 그 결과 복원력 제어 알고리즘을 적용하지 않았을 경우에는 복원 시간이 대략 1.75sec이며, 스티어링 휠 각도가 10°에서 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

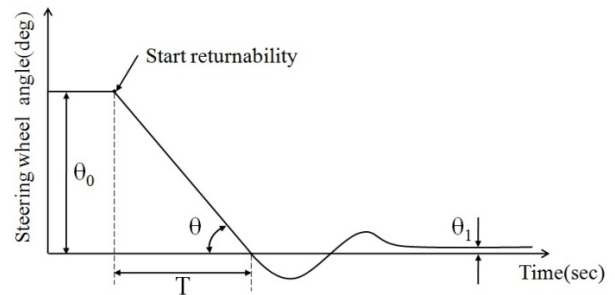


그림 13. 복원력 특성 그래프.  
Fig. 13. Characteristic graph of returnability.

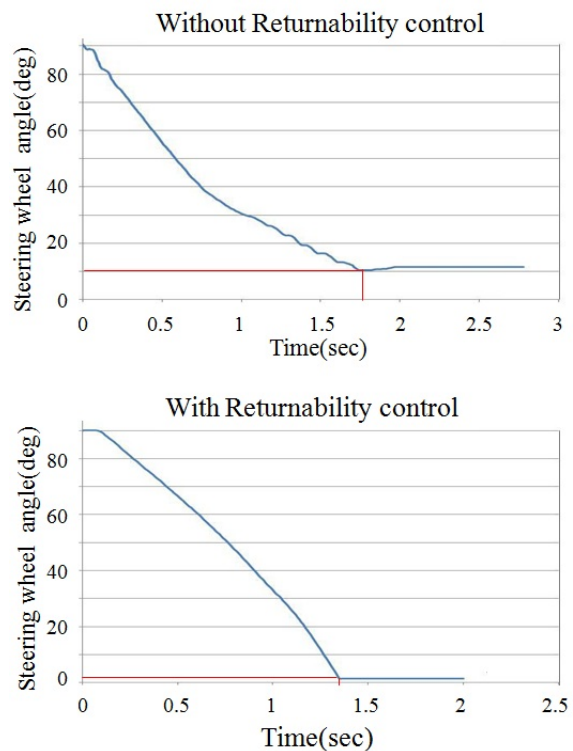


그림 14. 속도 20km/h에서 복원력 실험 결과.  
Fig. 14. Result of returnability test at 20km/h.

그러나 복원력 제어 알고리즘을 적용한 경우에는 복원 시간이 1.35sec이고, 수렴 각도가 0°에 근접한 것을 확인 할 수 있다. 복원력 제어를 함으로써 부드럽게 스티어링 휠이 중립 방향으로 복원이 되는 것을 확인할 수 있었다.

## VI. 결론

리니어 모터를 이용한 반력시스템을 갖춘 C-EPS 시뮬레이터를 개발하였고, 이에 대한 맵 기반 보조력 및 복원력 알고리즘을 개발 하였다. 또한 EPS 제어 알고리즘 개발을 용이하게 하기 위해 맵 튜닝 알고리즘을 개발 하였다.

스티어링 시스템의 기구학적 설계가 잘 되었는지 실험을 통해 확인할 수 있었다. 하지만 아직도 0.2V의 오차가 존재하기 때문에 정확한 제어를 위해서 오차를 줄이기 위한 노력이 필요하다. C-EPS 제어 알고리즘을 개발하기 위해서는 반력 시스템이 실제 도로에서 주행 상황과 같은 반력을 제공해주어야 한다. 따라서 차량 모델을 통해 운전 상황에 맞는 반력 데이터를 이용하여 시뮬레이터의 반력 시스템을 제어하였다. 그 결과 반력 시스템의 성능을 확인 할 수 있었다.

하지만 노이즈에 대한 영향을 고려 해야 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 보조력 및 복원력 제어를 위해 토크 맵을 생성하였으며, 맵 튜닝 알고리즘의 개발로 제어를 설계하고 수정하는데 시간을 상당히 줄일 수 있었다. 또한 보조력 실험을 통해 보조력 제어 알고리즘의 성능을 확인 할 수 있었으며, 운전자에게 용이성과 안정성을 줄 수 있었다. 그리고 복원력 제어 알고리즘을 적용 함으로써 복원 성능을 높였으며, 차량의 수습성이 향상되었다.

## 참고문헌

- [1] 송정훈, "Prototype의 새로운 Electron Power Steering(EPS) System의 개발," 대한기계학회논문집 A권, 제30권 제6호, pp. 684-690, 2006.
- [2] A. Badawy, J. Zuraski, F. Bolourchi, and A. Chandy, "Modeling and Analysis of an Electric Power Steering system," SAE, 1999-01-0399.
- [3] H. Kawazoe, T. Murakami, O. Sadano, K. Suda and H. Ono, "Development of a Line-keeping Support System," SAE, 2001-01-0797.
- [4] A. Sugiyama, M. Kurishige, H. Hamada, and T. Kifuku, "An EPS Control Strategy to Reduce Steering Vibration Associated with Disturbance from Road Wheel," SAE Paper 2006-01-1178.
- [5] 김기현, 김창준, 신현수, 한창수, "HILS를 이용한 R-MDPS 제어 알고리즘 개발," 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 800-806, 2007.
- [6] Angleviel, Frachon and Masson, "Development of a Contactless

Hall effect Torque Sensor for Electric Power Steering," SAE paper 2006-01-0939.

- [7] 김지훈, 송재복, "토크맵을 이용한 컬럼형 전기식 동력조향 시스템의 제어로직," 한국자동차공학회, 제8권 제4호, pp. 186-193, 2000.
- [8] KunWoo Lee, *Principles of CAD/CAM/CAE System*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2000.



## 박명욱

2006년 국민대학교 기계자동차공학부 기계공학과 졸업. 2008년 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사. 2008년~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자동차, 무인자율차량시스템의 제어.



## 문희항

2001년 선문대학교 기계설계학과 졸업. 2003년 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사. 2009년 국민대학교 공학박사. 현재 Univ. of Florida CIMAR Lab. 연구원. 관심분야는 무인자동차, 소형이동로봇, 카메라를 이용한 장애물 인식, 마이크로 로봇.



## 김정하

1981년 성균관대학교 기계공학과 졸업. 1986년 Univ. of Cincinnati 공학석사. 1990년 Univ. Pennsylvania 공학박사. 1994년~현재 국민대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 차량전자제어시스템.



## Carl D. Crane III

The B.S. Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute in 1978, the M.E. Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute in 1979, the Ph.D. Mechanical Engineering, University of Florida, 1987. 1998~present Professor, Mechanical Engineering, University of Florida. Areas of expertise are robotics, autonomous machines, computer graphics and kinematics.