

# 변수비를 갖는 랙과 피니언 기어의 전동식 동력 조향장치의 동적 모델링

## Dynamic Modeling of Electric Power Steering System with Variable Ratio Rack and Pinion Gear

\*김경태<sup>1</sup>, 목형수<sup>2</sup>, 이성수<sup>3</sup>, 김창원<sup>4</sup>

\*K. T. Kim<sup>1</sup>, H. S. Mok<sup>2</sup>, S. S. Lee<sup>3</sup>, C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)<sup>4</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 대학원 기계설계학과, <sup>2</sup>건국대학교 전기공학과 <sup>3,4</sup>건국대학교 기계설계학과

Key words : EPS, Electric power Steering, Variable Ratio Rack and Pinion Gear

### 1. 서론

자동차에 있어 조향장치는 운전자가 진행하고자 하는 방향으로 차를 이동시키기 위해 사용되는 장치이다. 차량개발 초기 단계에서부터 수동 조향장치가 사용되어 왔으나 작동시키는데 큰 힘이 소요되므로 운전자에게 피로감을 가중시키는 문제점이 있다. 근래에 들어 센서 및 제어기술의 발달로 작은 힘으로 손쉽게 핸들을 돌릴 수 있는 동력 조향장치가 채택되어지고 있다. 최근 전동식 동력 조향 장치(Electric Power assist Steering System, EPS)의 개발이 활발히 진행되어지고 있다.

전동식 동력 조향 장치는 모터 및 torque sensor 그리고 감속기(gear 및 gear box)로 구성되어 경량화가 가능하며, 차량 탑재가 쉬워 공간 활용이 우수할 뿐만 아니라, 필요시에만 모터를 회전시켜 에너지 절약 면에서도 탁월한 성능을 가지고 있다. 또한 엔진의 동작에 독립적이므로 연비 향상 및 환경 친화적 특징을 가지며 소량의 동력으로 구동시킬 수 있어 전기차 및 소형차에 매우 적합한 시스템이다. 그리고 전자제어 장치를 사용함으로써 조향각의 정확성을 높일 수 있으며 응답성을 향상시킬 수 있다.

보통 EPS는 높은 효율과 더 적은 링크장치를 사용하는 랙과 피니언기어를 사용하게 된다. 변수비를 갖는 랙과 피니언 스티어링 메카니즘은 잠겨있는 타이어를 더 적은 힘으로 회전시키기 위해 개발 및 향상되어지고 있다. 이러한 랙의 형상은 중심에서부터 끝에 이르기까지 다양한 형상을 지니고 있다. Fig. 1은 전형적인 변수비를 갖는 랙과 피니언기어의 특성을 보여주고 있다.[1] 중심부분의 랙의 이득 값은 양 끝부분의 이득 값 보다 더 높다. 즉, 피니언은 랙의 중심부분이 랙의 양 끝부분 보다 더 많은 각변위를 가짐을 의미한다.

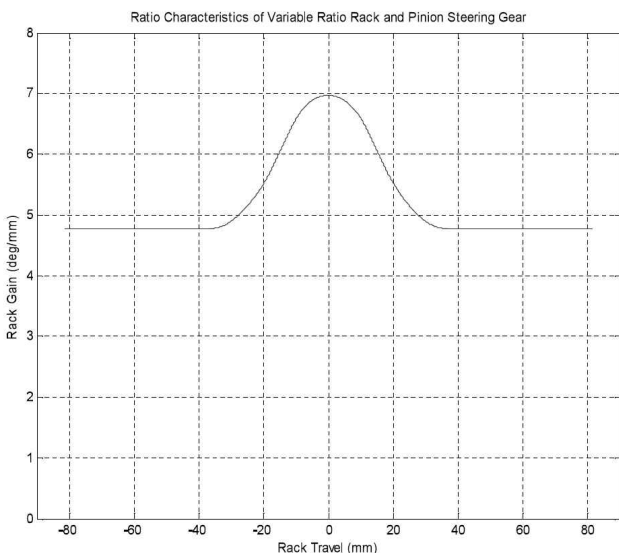


Fig. 1 Ratio characteristic of variable ratio rack and pinion steering gear

### 2. 변수비를 갖는 랙과 피니언 기어의 메카니즘 모델

Fig. 2는 스프링과 댐퍼로 이루어진 12자유도의 모델링으로 참고문헌 [1]을 참고하여 유압방식의 파워스티어링을 EPS형식으로 응용했고 다음과 같이 식(1)로 나타내어진다. 식 (1)은 뉴턴

의 제 2 법칙과 자유 물체도에 의해 나타내어졌다.[1]

$$[M(I)]_{12 \times 12} [\ddot{\theta}(x)]_{12 \times 1} + [C]_{12 \times 12} [\dot{\theta}(x)]_{12 \times 1} + [K]_{12 \times 12} [\theta(x)]_{12 \times 1} = [T(F)]_{12 \times 1} \quad (1)$$

이 메카니즘에서 랙의 추진력은 EPS의 모터에 의해 결정되고 스티어링 시스템에서 중요하게 고려되어야 하는 사항이고 식(2)와 같이 나타내어질 수 있다.

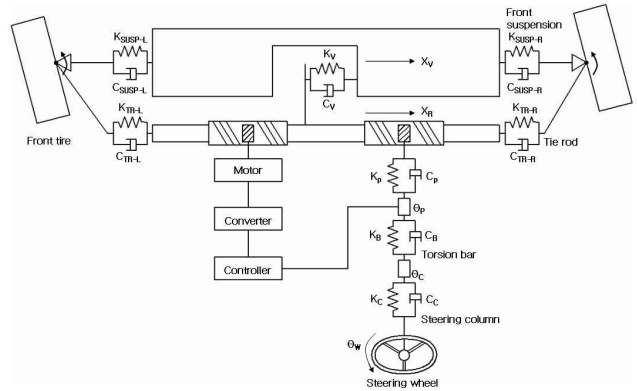


Fig. 2 Steering system modeling included front suspension

$$m_R \ddot{x}_R - \frac{C_P}{N} \dot{\theta}_P + \left( \frac{C_P}{N^2} + C_{TR-L} + C_{TR-R} \right) \dot{x}_R - C_{TR-L} l \dot{\theta}_{FW-L} - C_{TR-R} l \dot{\theta}_{FW-R} - \frac{K_P}{N} \dot{\theta}_P + \left( \frac{K_P}{N^2} + K_{TR-L} + K_{TR-R} \right) x_R - K_{TR-L} l \theta_{FW-L} - K_{TR-R} l \theta_{FW-R} = F_B - F_{FR-H} \quad (2)$$

여기에서  $x_R$ ,  $\theta_P$ ,  $\theta_{FW-L}$ ,  $\theta_{FW-R}$  은 랙, 피니언 왼쪽, 오른쪽 바퀴의 독립적인 좌표계이다.  $N$ 은 랙과 피니언의 기어비이며  $l$ 은 타이로드의 끝과 바퀴의 회전중심간의 거리를 나타낸다.  $F_{FR-H}$ 는 모터의 마찰력이고  $F_B$ 는 모터의 추진력을 나타낸다.

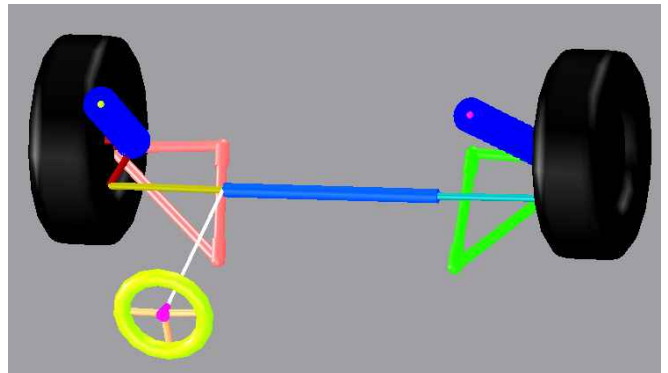


Fig. 3 Front steering system with RecurDyn

Fig. 3은 다물체 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 통해

모델링 되었다.

### 3. EPS 모델

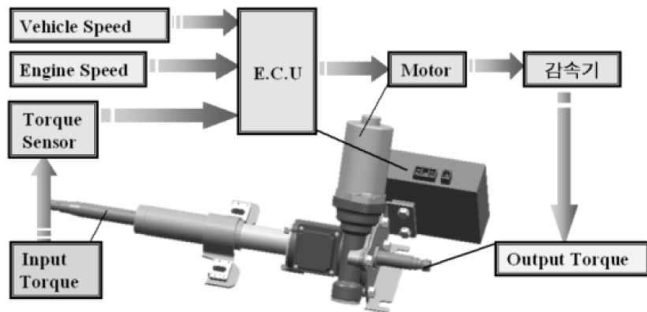


Fig. 4 Control block diagram for EPS

EPS 시스템에서는 차량의 속도, 조향 토크, 그리고 조향 핸들의 회전각 등을 입력 신호로 사용한다. 이때, 차량의 속도가 입력신호로 사용되는 이유는 차속에 따라 제공되어야 할 보조 토크의 크기가 다르기 때문이다. 주차시와 같은 저속 주행 상황에서 운전자는 조향토크의 대부분을 조향 시스템에서 보조받아 쉽게 운전하기를 원할 것이며, 고속주행 시에는 안전상의 이유로 조향 핸들에 묵직한 느낌을 받아 조향 핸들이 쉽게 돌아가지 않기를 원할 것이다. 그러므로 조향토크와 조향핸들의 회전각은 보조 모터 제어에 있어서 가장 중요한 변수가 된다. 이러한 조향 토크의 변화를 보조 모터를 통하여 만들어 내어 운전가 가해주는 조향 토크를 변화 시키는 것이 EPS 시스템이다. 전동조향장치는 조향 기어, 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 조향방향 및 조향지원이 요구되는 토크의 크기를 결정하게 된다.

Fig. 4는 전체적인 EPS의 흐름도를 보여주고 있다. 운전자가 의도했던 대로 움직이도록 하기 위해 핸들에는 조향 입력토크가 가해지고 이로 인해 각도가 생성된다. 도로조건과 운전자의 방향 전환 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 모터 전류가 결정되면 여기에 모터상수와 기어비를 곱하여 동력 조향장치에서 지원해야 하는 토크가 계산된다. 이렇게 계산된 토크가 입력 조향토크와 함께 타이어의 반력 토크 및 조향 메카니즘의 마찰 손실 토크들을 극복하고 조향 축이 필요한 각도만큼 회전하도록 해준다. 즉, 차량의 속도와 조향 핸들 토크 입력값을 기반으로 E.C.U를 통해 모터를 제어하고 토크를 출력한다.[2][3] 직류 전동기의 토크는 식(3)와 같이 표현할 수 있다.

$$T_e = k_T \Phi_f i_a \tag{3}$$

여기에서  $k_T$ 는 토크 상수이고  $\Phi_f$ 는 계자 자속,  $i_a$ 는 계자 자속 내에 흐르는 전류이다.  $i_a$ 의 제어를 통해 모터의 토크를 계산할 수 있다.

식(2)에서의 모터의 추진력은 식(4)와 같이 된다.

$$F_B = \frac{K_T \Phi_f i_a}{r_m N_m} \tag{4}$$

여기에서  $r_m$ 은 모터부분의 피니언의 피치원 반지름이고  $N_m$ 은 모터의 피니언과 랙 사이의 기어비이다.

### 4. 결론

동력 조향장치는 운전자에게 손쉬운 운전조건을 제공해 주는 장치이다. 기존의 유압식 동력 조향장치는 공간, 중량, 연비문제에서 해결해야 할 문제가 남아 있는 장치로서 다른 종류의 동력 조향장치가 필요하다. 그러므로 기존의 자동차 뿐만 아니라 향후의 자동차에 대해서도 필수적으로 채택되고 이용되어질 전동식 동력 조향 장치에 모델을 살펴 보았다.

- 1) 전동식 동력 조향장치의 모터부분의 힘 부분을 함께 제어할 수 있는 식을 마련하였다.
- 2) 앞으로 이 모델을 기초로 더 정확한 시뮬레이션과 실험을 통해 전동식 동력 조향장치를 개발해야 할 것이다.
- 3) 변수비를 갖는 랙과 피니언 기어에 대한 시뮬레이션과 실험을 통한 데이터 구축이 필요하다.

### 후기

이 연구는 "BK21 ST-IT" 융합 공학인력 양성사업단의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

### 참고문헌

1. Nong ZHANG, Miao WANG, "Dynamic Modeling of Hydraulic Power Steering System with Variable Ratio Rack and Pinion Gear", JSME International Journal, 48, 251-260, 2005.
2. 이재천, 전대석, 황태훈, 김일환, 박기홍, 허승진, "TCS 및 EPS를 이용한 차시 통합 제어 시스템 설계," 한국자동차공학회 춘계 학술대회논문집, 733-739, 2007.
3. 장봉춘, 소상균, "EPS 제어시스템 장착 승용차의 통합적 시뮬레이션 기법 연구," 한국정밀공학회지 제 23 권 제 6 호, 72-80, 2006.