Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp.162-167 (2004)

Copyright © 2004 KSAE
1225-6382/2004/067-22

Sports Utility Vehicle-EPS 의 자유제어 안정성 해석

장 봉 춘[*1] · 권 대 규[2]

안동대학교 기계공학부[1] · 전북대학교 기계공학과[2]

Free Control Stability Analysis of Sports Utility Vehicle-EPS

Bong-Choon Jang[*1] · Tae-Kyu Kwon[2]

[1]*Department of Mechanical Engineering, Andong National University, Gyeongbuk 760-749, Korea*
[2]*Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea*
(Received 12 May 2003 / Accepted 25 October 2003)

ABSTRACT : In this research the Co-simulation technique for an electric power steering system with MATLAB/SIMULINK and a full vehicle model with ADAMS has been developed. The dynamic responses of vehicle chassis and steering system are evaluated. Then, a full vehicle model interacted with EPS control is concurrently simulated with an impulsive steering wheel torque input to analyze the stability of 'free control' or hands free motion for Sports Utility Vehicle. This integrated method allows engineers to reduce the prototype testing cost and to shorten the developing period.

Key words : EPS(전동 조향 시스템), Co-simulation(동시 시뮬레이션), Electronic control unit(전자제어장치), Free control(자유제어), Rack displacement(랙 변위)

1. 서 론

자동차에 있어 조향장치는 운전자가 진행하고자 하는 방향으로 차를 이동시키기 위해 사용되는 장치이다. 차량개발 초기 단계에서부터 수동 조향장치(manual steering system)가 사용되어 왔으나 작동시키는 데 큰 힘이 소요되므로 운전자에게 피로감을 가중시키는 문제점이 있다. 최근에는 센서 및 제어기술의 발달로 작은 힘으로도 손쉽게 핸들을 돌릴 수 있는 조향시스템이 개발/적용되고 있는데 이러한 시스템이 동력 조향장치(power steering system)이다. 대부분의 승용차에 적용되고 있는 동력 조향장치는 유압에 의해 동력을 얻어내는 방식을 채택하고 있다.[1,2] 이러한 장치를 부착한 차량은 오일 압력을 계속 유지해야 하기 때문에 수동 조향장치를 갖춘 차량에 비해 연료 소모가 많다.

동력 조향장치의 하나로 최근 개발이 활발히 진행되고 있는 전동 조향장치는 부가적인 조향력을 얻기 위해 유압 대신에 전기 모터를 사용하는 장치로써 유압펌프, 호스, 유체, 벨트 및 풀리 등과 같은 유압발생장치가 불필요하므로 비교적 시스템이 간단하고 가볍다. 또한 전동 조향장치의 경우 핸들을 돌릴 경우에만 모터가 동작하도록 설계된 시스템이기 때문에 연료소모량도 적은 장점이 있다. 이러한 이유 때문에 최근에는 전동 조향장치의 모델링[3], 하드웨어 및 소프트웨어 개발[2]에 많은 연구가 집중되고 있고 전동 조향장치를 탑재하는 차량이 급증하고 있다.

본 논문에서는 차량 동력학 및 제어 분야에서 최근 중요한 이슈가 되고 있는 전동 조향장치의 제어

*To whom correspondence should be addressed.
bjang@andong.ac.kr

알고리즘을 MATLAB SIMULINK[4]으로 구성하고 이를 차량 모델과 결합하기 위해 Mechnical Dynamic Inc. 사가 제공하는 ADAMS[5,6] 프로그램을 이용하여 완전 차량 동력학 모델(full vehicle dynamic model)을 완성한 후, 이 두 프로그램을 이용하여 제어 알고리즘과 차량 모델이 결합되어 하나의 시스템처럼 동시에 동작하도록 하는 기법 개발을 소개한다. 또, 요즘 큰 관심거리가 되고 있는 자유제어(Free control 또는 Hands free motion) 안정성 해석에 연구의 초점을 두고자 한다.

또한, 연구 결과의 성능 검증을 위해 컴퓨터 시뮬레이션이 수행 되었는데 한 쪽 바퀴에 범프(bump) 입력이 가해지는 경우에 대해 전동 조향시스템의 제어 알고리즘과 차량모델이 동시에 상호 동작이 가능하다는 사실이 시뮬레이션을 통해 확인되었다.[7,8] 본 연구에서는 자유제어 안정성 해석을 위한 임펄스 조향 토크입력(Impulse steering input torque)을 이용한 시뮬레이션 결과가 보여진다. 이는 EPS가 SUV에 장착되었을 때 시스템의 안정성을 해석하는 데 도움이 될 수 있다.

2. 시스템별 모델 구성

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

2.1 전동조향장치

전동 조향장치는 그림 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 조향방향 및 조향지원이 요구되는 토크의 크기를 결정하게 된다.

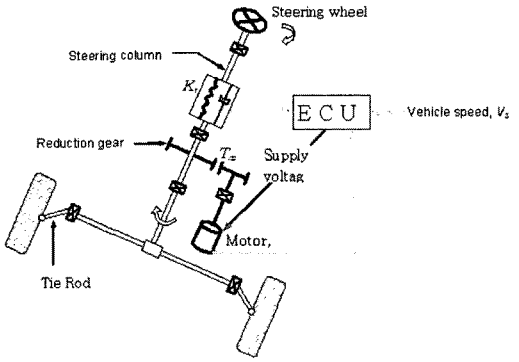

Fig. 1 Schematic diagram of electric power steering mechanism

전동 조향장치의 제어 블록선도는 [7, 8]에서 그려진다. 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 조향각도 사이에 차이가 발생하게 되면 제어장치는 이를 줄이기 위해 요구되는 제어신호인 전류를 산출하여 모터에 보낸다. 이 신호를 이용하여 모터전류가 결정되면 여기에 모터상수와 기어비(gear ratio)를 곱하여 동력 조향장치에서 지원해야 하는 부가토크(Ta, motor assisted torque)가 계산된다. 이렇게 계산된 부가토크가 입력 조향토크와 함께 타이어의 반력토크 및 조향 메커니즘의 마찰 손실토크들을 극복하고 조향축이 필요한 각도만큼 회전하도록 해준다. 따라서 운전자는 그 만큼의 노력 없이도 의도했던 바를 이룰 수 있기 때문에 조향이 용이하게 된다.

2.2 완전 차량 모델

완전 차량 모델은 상용 프로그램 ADAMS를 이용하여 구성하였으며 Fig. 2에 예시되어 있다.

Fig. 2는 다물체 동력학 모델(multi-body dynamic model)로써 347 자유도를 가지고 있으며 차량동력학 시뮬레이션을 위해 이미 내장되어 있는 앞뒤 비선형 서스펜션, 랙(rack)과 타이로드(tie-rod) 및 관련 조인트, 그리고 종 방향과 횡 방향의 결합된 힘을 고

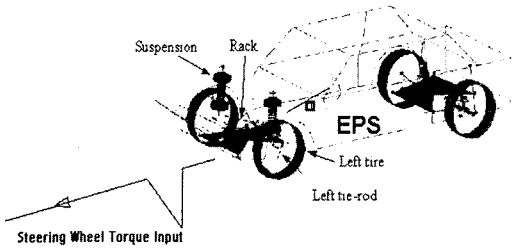

Fig. 2 Steering wheel torque input to full vehicle model equipped with EPS system

려한 타이어 모델 등으로 구성되어 있다. 이 다물체 모델은 무게중심점에 주어진 속도에 따라 움직이게 되고 움직이는 경로는 랙 변위에 의해 제어된다. 스티어링 핸들에 가해진 입력토크와 같이 자유제어(free control)라고 불리는 임펄스 조향 토크입력(steering input torque)이 시뮬레이션에서 입력신호로 사용되었다.

3. 동시 시뮬레이션 해석

3.1 ADAMS with MATLAB

앞에서 언급한 바와 같이 전동 조향장치의 제어 알고리즘은 MATLAB을 사용하고 차량 모델은 ADAMS를 사용하였다. 이러한 각각의 프로그램을 상호 인터페이스를 해가면서 동작시키기 위한 동시 시뮬레이션에서는 각각의 프로그램에 대한 입력과 출력 변수들이 정해져야만 한다. 전체의 결합은 MATLAB에 있는 서브루틴에 의해 통제된다. 이 서브루틴이 데이터 교환을 위한 통로를 열어주고 매 시간 간격으로 ADAMS를 구동한다. 시뮬레이션 동안 각각의 프로그램은 동일한 시간간격을 사용한다. 각 시간간격의 시작과 끝에서 두 프로그램은 입력과 출력 데이터들을 상호 교환한다.

3.2 인터페이스 변수

수평으로 작용하는 힘이 자동차의 회전을 결정하는 랙 변위(rack displacement)를 발생시키도록 하기 위해 랙에 작용되었다. 그러므로 랙에 작용된 힘(rack force)은 차량 모델의 외부 입력 변수를 의미하게 되고 랙에 작용한 힘의 결과로 발생되는 랙의 변위와 속도가 외부 출력변수가 된다.

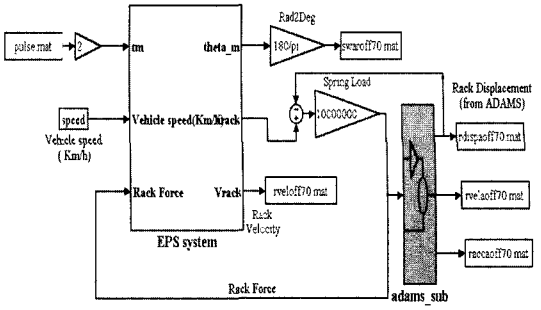

Fig. 3 Block diagram of co-simulation between matlab EPS control and ADAMS car model

Fig. 3은 통합된 모델, 즉 차량 모델과 전동 조향장치의 제어 모듈 사이의 인터페이스에 대한 블록선도를 나타내 주고 있다. 전동 조향장치로 들어오는 입력변수들은 모터 토크(Tm), 차속(Vs)과 랙에 작용하는 힘(Fr)이고 전동 조향장치의 출력변수들은 결과적인 각(angle), 랙 변위와 랙 속도이다. Fig. 3에서 adams_sub로 표시된 음영부분은 ADAMS로부터 만들어진 완전 차량모델을 구성하는 서브 시스템이다.

4. 시뮬레이션

본 절에서는 시뮬레이션 과정들에 대해서 설명하고자 한다. 새로운 전동 조향장치의 제어 알고리즘과 결합된 완전 차량 모델이 조향 입력토크에 대해 시뮬레이션 된다. 소프트웨어 ADAMS/Control을 이용하여 관심있는 입력(Input)과 결과(Outputs)를 ADAMS 환경에서 정의해준다. 이때 여러 개의 파일들이 생성되는데, 그 중의 하나가 MATLAB 파일이다. 그러면 MATLAB에서 하나의 파일을 불러들여 파라미터/변수들을 정의를 해준다. 그리고 시뮬레이션을 SIMULINK에서 실행시키면 MATLAB과 ADAMS가 동시에 시뮬레이션을 수행하게 된다. 전체 시뮬레이션 시간은 4초이고 샘플 주기는 0.001초이다. 차량 모델과 전동 조향장치의 제어 알고리즘은 4,000 스텝의 연산이 수행되도록 매 0.001초마다 입력과 출력 신호를 교환한다. HP Unix 내에서 ADAMS version 10과 MATLAB 6.1을 이용하였고, CPU의 시뮬레이션 러닝타임은 11분이었다.

5. 자유제어 안정성 해석

본 연구에서는 Fig. 4에서 보여지는 바와 같이 시속 100 mph에서 5(N-m)의 조향 입력 토크 값을 이용한다. Fig. 5는 Fig. 4의 입력에 대한 MATLAB과 ADAMS에서의 랙 변위를 나타낸다. MATLAB의 랙 변위는 전동조향장치에서의 출력이고, ADAMS에서의 랙 변위는 차량에서의 출력이고, 두개의 결과는 같게 나와야 한다. Fig. 5는 랙의 변위가 무한대로 커지면서 불안정한 Prototype SUV 차량을 보여주고 있다. 이러한 문제 해결을 위해서 실험적인 방법으로는 서스펜션의 위치를 바꾼다든가 부싱을 바꾼다든가 하면서 많은 시간 투자가 행해지지만, 이때 동시시뮬레이션 기법이 문제해결의 실마리를 제공하고 경제적 효과를 창출한다 하겠다. 이처럼 고속주행에서의 자유제어에 관하여 스티어링이나 서스펜션 파라미터들의 변화에 관한 안정성 해석에 관한 좋은 연구[9]가 참조되어진다.

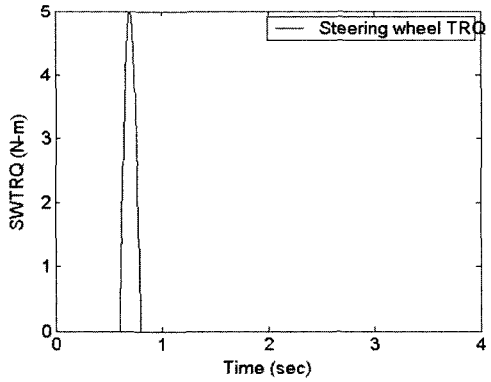

Fig. 4 Steering wheel torque input at 100 mph

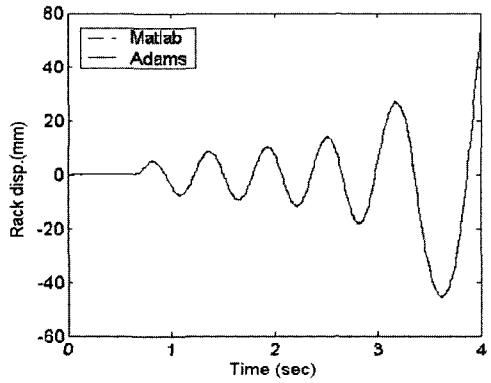

Fig. 5 Unstable result from prototype SUV

Fig. 6은 Fig. 4의 입력에 대한 MATLAB과 ADAMS로부터 얻어진 랙 변위를 보여주고 있는데 결과에서 알 수 있는 바와 같이 MATLAB과 ADAMS 사이에 랙 변위가 거의 일치하고 안정됨을 알 수 있다. Fig. 7은 전동 조향장치에 정보를 제공해 줄뿐만 아니라 ADAMS 차량 모델에 입력 값이 되는 타이로드 부하를 보여주고 있다. 조향 토크입력이 주어질 때 동적인 응답성들은 운전자가 스티어링 핸들을 자유롭게 돌린 후 0.8초 후에 영향을 받게 된다. 이러한 사실은 Fig. 8의 랙 변위, Fig. 7의 랙에 작용하는 힘의 결과들에 잘 나타나 있다. 커다란 값의 강성을 갖는 스프링 하중은 제어 모듈의 출력 변수인 랙 변위를 차량모델의 입력변수인 랙에 작용하는 힘으로 변환시켜 줄 수 있을 만큼 충분한 강성을 갖는다. 스프링이 보다 부드러운 강성을 갖는 경우에는 변위의 오차가 점점 증가하게 되는 문제점이 발생된다. Fig. 9의 토숀 바 토크는 조향 입력토크를 추종하는 경향을 보인다. Fig. 9는 대응하는 모터

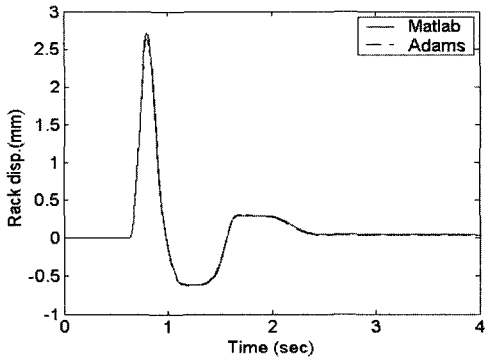

Fig. 6 Rack displacement from

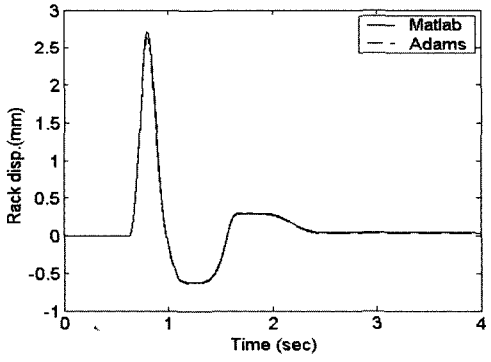

Fig. 7 Tie rod load

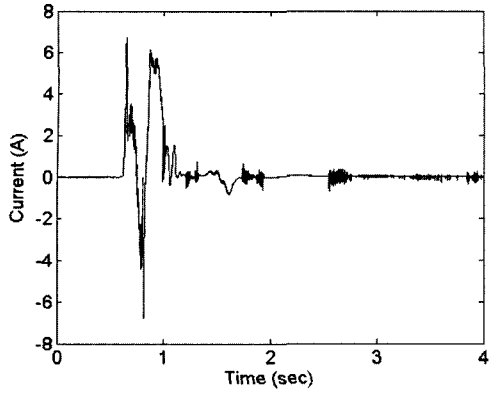

Fig. 8 Torsion bar torque

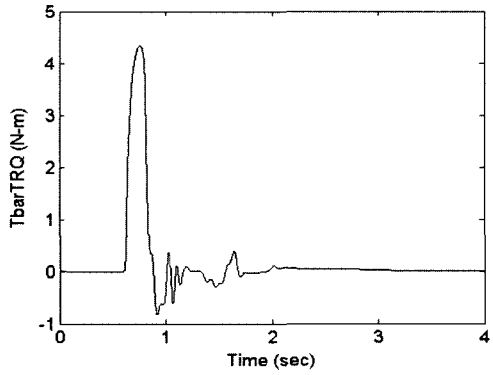

Fig. 9 Motor current from EPS

전류를 잘 나타내 주고 있다. 차량이 방향 전환을 위해 조향을 했다가 1초 후에 다시 원래의 위치로 돌아오도록 할 경우 모터 전류는 양의 값으로 증가하는 경향을 보인다.

6. 결 론

본 연구에서는 차량 샤시와 조향시스템의 동적 특성을 예측하기 위해 전동 조향장치 모델과 결합된 완전 차량모델을 개발하였다. 동시 시뮬레이션 기법을 사용하여 두 개의 컴퓨터 코드들이 각각 완성된 후 결합되었고, 결합된 차량모델이 자유제어(Free Control 또는 Hands Free Motion)의 한 예로 임펄스 조향 입력토크에 대해 시뮬레이션 되었다. 그리고 차량 샤시와 스티어링 시스템의 동적 응답성들에 대한 분석이 이루어졌고, 모터전류, 타이로드 부하, 랙 변위 등과 같은 모든 결과들이 적절하게 나타났다.

MATLAB과 ADAMS의 동시 시뮬레이션을 위한 기술적인 방법이 본 연구에서 도출 되었는데 실제 실차테스트 결과를 예측할 수 있는 우수한 성능을 나타냄이 증명되었고, 이러한 기법은 차량 조종 안정성에 관한 성능종합과 분석뿐만 아니라 전동 조향장치 성능평가 및 보상 등을 위해서도 매우 유용하게 사용될 수 있다. 또한, 동시 시뮬레이션은 제어 시스템 뿐만 아니라 브레이크 제어와 차량의 역학과 같은 복잡한 메커니즘 통합 분야에도 두 개의 다른 소프트웨어들을 씀으로써 매우 효과적으로 응용이 가능하다 할 수 있다.

후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다. 그리고 대구 · 경북지부 자동차공학회 춘계학술대회에서 발표되었습니다.

References

1) B. C. Jang, S. C. Lee, "A Mathematical Model of a Power Steering System," Transactions of KSAE, Vol.5, No.4, pp.39-47, 1997.
2) S. H. Hwang, H. S. Kim, S. J. H대, "Effects of Design Parameters of Power Steering System for Passenger Cars on the Vehicle Steering Characteristics," Transactions of KSAE, Vol.4, No.4, pp.38-45, 1996.
3) S. Yun, Y. Wang, C. Han, "A Study on the Control Algorithm for a Ball Screw Type of Motor Driven Power Steering System," Transactions of KSAE, Vol.8, No.1, pp.124-134, 2000.
4) MATLAB Users Manual, V. 5.3.1, (Math-Works, Inc.), 2000.
5) ADAMS/Solver Reference Manual, V. 10.0, (Mechanical Dynamics, Inc.), 2000.
6) Using ADAMS/Controls, V. 10.0, (Mechanical Dynamics, Inc.), Aug.15, 1999.
7) B. C. Jang, C. W. Liang, Co-Simulation/ Integration of Electric Power Steering System and Vehicle Dynamics, GM Internal Report., GME 2000-12, Dec. 2000.
8) B. C. Jang, "Free Control Stability Analysis of

SUV-EPS," Daegu-Kyungbuk KSAE Conference May 3, pp.52-58, 2003.
9) H. S. Kim, W. J. Do, J. S. Shim, S. R. Choi, "The Stability Analysis of Steering and Suspension Parameters on Hands Free Motion," SAE 2002 World Congress, SAE 2002-01-0620, 2002.