

통합 샤시제어 시스템 개발을 위한 시뮬레이션 환경 구축

황태훈*(국민대 자동차전문대학원), 박기홍(국민대), 허승진(국민대)
이민수, 이규훈, 기승관(국민대 자동차전문대학원)

A Simulation Environment Development for Global Chassis Control System of Vehicles

T. H. Hwang*(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU), K. Park(School of Mech. & Auto. Eng., KMU)
S.-J. Heo(School of M&A Eng., KMU), M. S. Lee, K. H. Lee, S. G. Kee(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU)

ABSTRACT

Most electronic chassis control systems until today have been designed with optimization on its own performance. However, According to the increase of the interest regarding a vehicle safety and development of information technique, the integration technique of current chassis systems is being emphasized. Each enterprise proposed it with name of GCC(Global Chassis Control) or UCC(Unified Chassis Control). This study realizes control algorithm of suspension and brake by using the vehicle model of low degree of freedom as the primary stage of realization of integrated chassis control system. The proposed algorithm build the simulation environment connected to the CarSim having full vehicle model of 27 degree of freedom for raising the thrust of results

Key Words : Global Chassis Control (통합 샤시제어), Electronic Stability Program (전자제어식 안정성 프로그램), Electronically Controlled Suspension (전자제어식 현가장치)

1. 서론

오늘날의 전자식 샤시 제어시스템은 제동, 현가, 조향 등에 있어서 독립적인 기술개발이 이루어져 왔으며, 그 결과 각각의 개별시스템 내의 성능최적화가 이루어져 왔다. 이와 함께 차량 전자화 및 통신 네트워크 기술의 발전은 차량 정보화 기술의 발전을 가져다 주었으며 다양한 정보의 통합 혼용화가 가능하게 됨으로써 차량 안전도 기술의 향상을 꾀할 수 있게 되었다. 이런 배경 아래 개별 시스템간의 성능 한계를 극복하고, 이들 사이의 시너지 효과를 내게 할 수 있는 이른바 통합 샤시제어(Global Chassis Control)에 관한 연구의 중요성은 더욱 커져 가고 있는 실정이다. 이와 관련된 자동차 업계의 상용화 노력을 살펴보면, Bosch¹⁾에서는 VDM(Vehicle Dynamic Management)이라는 이름으로 ESP(Electronic Stability Program), AFS(Active Front Steering), ARC(Active Roll Control)의 통합을 시도하

였으며, Delphi와 만도²⁾에서는 UCC(Unified Chassis Control)라는 이름의 통합 샤시제어 시스템에 관한 연구를 진행하고 있다.

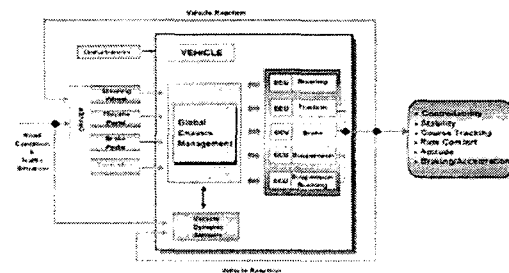


Fig. 1 Vehicle chasis management concept

본 연구에서는 통합 샤시제어 알고리즘 연구의 시작단계로써 제동 및 현가 시스템의 제어 알고리즘을 구현하였다. MATLAB/Simulink 환경에서 구현된 저자유도 차량모델과 제어 알고리즘은 주행 시

물레이션을 통해 검증하였으며, 보다 나은 신뢰성을 얻기 위해 CarSim 과의 연동 시뮬레이션 환경을 구현하였다. 2 장을 통해 ESP 제어 알고리즘과 현가시스템의 제어 알고리즘에 대해 살펴보고, 3 장에서는 MATLAB/Simulink 모델과 CarSim 응용프로그램 간의 연동 시뮬레이션에 대해 기술하였다. 4 장에서 여러 주행조건에서의 ESP 시뮬레이션 결과를 보이며 시뮬레이션 환경의 타당성을 보일 것이다.

2. 개별 사시제어 알고리즘

2.1 현가시스템

차량의 현가시스템은 승차감과 주행안정성에 있어 상충되는 특성을 가진다. 상반되는 두 가지 특성 향상을 위해 전자 제어식 현가시스템 (Electronically Controlled Suspension)이 개발되었으며, 그 중에서도 가격대비 우수한 성능을 가지는 반능동형 현가시스템에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이번 장에서는 반능동형 현가장치에 적용되는 알고리즘에 대해 살펴보도록 하겠다.

2.1.1 스카이훅(Skyhook) 제어

1974 년 Kamopp 이 제안한 스카이훅 댐퍼 시스템은 스프링상 질량의 진동을 제어하기 위해 가상의 관성 댐퍼를 장착한다는 개념으로 차체의 고유진동수 영역에서 탁월한 성능향상을 보이며 주행 중 승차감을 향상시킬 수 있다. 식(1)은 연속 스카이훅 제어법칙에 의한 감쇠력을 나타내고 있다.

$$f_{d_{exc}} = \begin{cases} f_{d_{hard}}, & \text{if } |f_{d_{SH}}| > |f_{d_{hard}}| \\ f_{d_{SH}}, & \text{if } |f_{d_{soft}}| \leq |f_{d_{SH}}| \leq |f_{d_{hard}}| \\ f_{d_{soft}}, & \text{if } |f_{d_{SH}}| < |f_{d_{soft}}| \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서 $f_{d_{hard}}, f_{d_{soft}}$ 는 반능동형 현가장치의 최대 감쇠력과 최소 감쇠력을 나타내며, $f_{d_{SH}}$ 는 Skyhook 제어법칙에 의해 결정된 감쇠력이며, $f_{d_{exc}}$ 는 연속 가변 댐퍼의 성능을 고려해 계산된 최종적인 제어 감쇠력이 된다. 그림(2)는 9[rad/sec]의 주파수로 0.15[m]의 크기를 가지는 노면 입력을 인가하였을 때 차체의 수직방향의 가속도의 결과이다. 스카이훅 제어기에 의해 가속도의 값이 전체적으로 감소한 것을 볼 수 있으며 이는 운전자의 승차감에 영향을 미치게 된다.

2.1.2 Anti-Roll/Dive 제어

일반적인 차량 주행시 스카이훅 감쇠력을 이용

하여 현가시스템을 제어할 경우 차체의 수직 방향 운동이 줄어들어 우수한 승차감을 가지는 반면 급제동이나 코너링시 차체의 하중 이동량이 커지면서 안정성이 떨어지는 단점을 갖게 된다. 본 연구에서 기본제어 알고리즘으로 스카이훅 감쇠력을 사용하면서 동시에 코너링 및 제동시와 같은 상황에서는 ARC 및 ADC 를 통하여 차량의 안정성을 확보하고자 하였다. 그림(3)은 ARC 및 ADC 개념을 도식적으로 나타내고 있다. 차량의 롤 및 피치각이 허용값 이상으로 커지면서 반능동 현가시스템의 최소 감쇠력의 크기가 점차적으로 커짐을 알 수 있다.

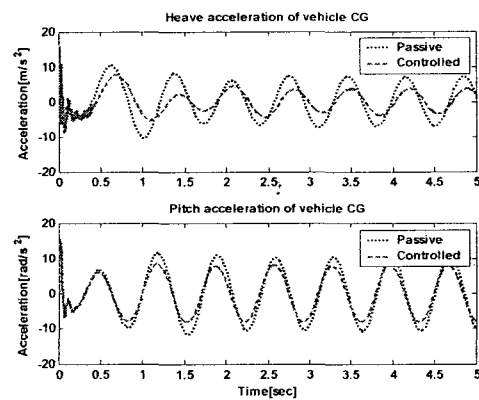


Fig. 2 Vehicle body response of sinusoidal terrain input

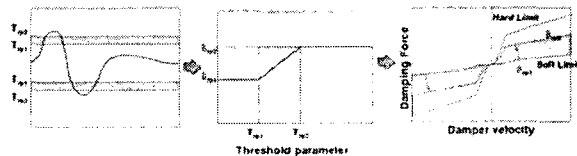


Fig. 3 ARC and ADC control scheme

2.2 제동 시스템

서론에서 언급했던 VDM 과 UCC 는 ESP 를 기반으로 한 통합 사시제어 알고리즘을 제안하고 있다. ESP 는 차량의 횡방향을 제어함으로써 주행 안정성을 확보하는 시스템으로 근래의 차량 제어 시스템중에 가장 진보된 기술로 평가되고 있다. 이번 절에서는 LQR(Linear Quadratic Regulator) 제어를 이용한 ESP 제어 로직에 대해 살펴보겠다.

2.1.1 LQR 제어를 이용한 ESP

단순 제어기는 자전거 모델(Bicycle model)로부터 얻어진 참조 요각속도와 실제 요각속도의 오차 부호에 따라 제동압력 ON/OFF 형식으로 제어하도록 하는 알고리즘이다.

단순 제어기에서는 보다 큰 보상 요모멘트 요구

시 응답속도 지연, 정확한 요모멘트 생성의 어려움 등이 있어 LQR 제어를 통해 차량이 빠르고 정확하게 안정상태로 가기 위해 보상 요모멘트를 즉각적으로 얻을 수 있도록 하였다. 보상 요모멘트 T_z 항이 추가된 One-track 차량 모델의 상태 공간 방정식은 식(2)와 같다.

$$\dot{x} = Ax + BT_z + E\delta_f \quad (2)$$

여기서 보상 요모멘트 T_z 는 제어 변수이며 전륜 조향각 δ_f 는 외란으로 처리하였다.

식(3)은 ? 값을 갖지 않는 전륜 조향각 δ_f 에 의해 발생하는 정상상태 offset을 보상하기 위한 상태 피드백 제어를 나타낸다.

$$T_z = T_{x_d} - C_x(x - x_d) \quad (3)$$

여기서 x_d 는 주어진 δ_f 에서의 정상상태 참조값이며, T_{x_d} 는 x_d 를 생성하기 위한 보상 요모멘트이다. 식(3)의 C_x 를 얻기 위해 이용한 최적제어의 성능지수값을 계산하는 식은 식(4)와 같다.

$$PI = \int_0^{\infty} (x^T Qx + rT_z^2) dt \quad (4)$$

식(3)과 (4)로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$PI = \int_0^{\infty} (x^T Qx + r(T_{z_d} - C_x(x - x_d))^2) dt \\ = \int_0^{\infty} (Qx^2 + r(T_{z_d} - C_x(x - x_d))^2) dt \quad (5)$$

따라서 식(5)에서 PI 계인이 최소가 되는 시점의 C_x 를 구할 수 있다. 여기서 Q 와 r 은 Trial error를 통해 얻은 값들을 사용하였다

3. 시뮬레이션 환경 구축

3.1 CarSim

CarSim은 MSC(Mechanical Simulation Corporation)사의 제품으로 27 자유도의 전차량 모델을 가지는 차량 동역학 해석 프로그램이다. 높은 자유도를 가지고 있어 정확한 차량 파라미터로 차량이 설계될수록 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있다. 또한 풍부한 입/출력 변수를 가지고 있어 MATLAB/Simulink와의 연동시 제어기 구성이 용이하다는 장점을 가진다. 전처리과정과 후처리과정을 GUI 환경에서 실행할 수 있으며 계산 속도가 빠르다는 장점 또한 가지고 있다. 그림(4)는 CarSim의 구성 요소들을 나타내고 있다.

3.2 시뮬레이션 환경

그림(5)는 MATLAB/Simulink와 CarSim 연동 시

뮬레이션시 서로간의 입/출력 관계를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 CarSim의 출력은 제어 알고리즘의 입력이 되며, 제어 알고리즘을 통해 계산된 출력 신호는 CarSim의 입력이 되어 페루프를 형성하게 된다. 그림(6)은 입력과 출력 관계를 고려하여 CarSim과 ESP 제어 로직을 연결한 시뮬링크 모델을 나타내고 있다. 다음 장에서 이에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴보도록 하겠다.

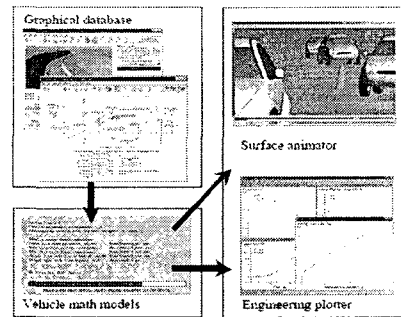


Fig. 4 Components of CarSim

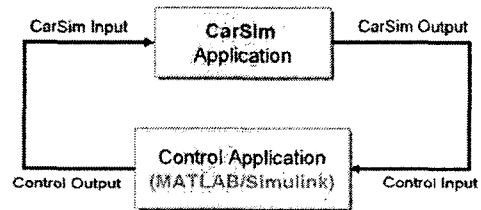


Fig. 5 Relation of input and output

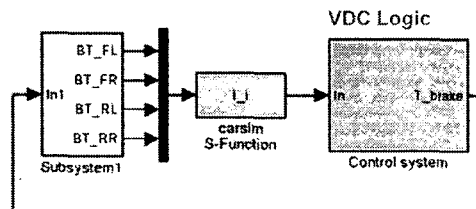


Fig. 6 VDC Co-simulation simulink model

4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 그림(6)에서 보인 것과 같이 LQR 제어를 이용한 ESP 제어 로직의 연동 시뮬레이션 결과를 보고자 한다. 그림(7)과 (8)은 차선 변경 주행 시험 결과이다. 주행 조건은 노면 마찰계수 0.3, 초기속도 80km/h, 운전자 조향각 100[deg] 상황에서 수행하였다. 두 가지 시험 결과 모두 ESP 제어를 적용한 차량은 참조 요각속도 값을 잘 추종하고 있는 것을 보여주고 있다. 반면 그렇지 않은 차량은 궤적의 결과에서도 알 수 있듯이 조향성을 상실하여 궤적을 이탈하고 방향성을 잃어 주행하는 것을

확인 할 수 있다.

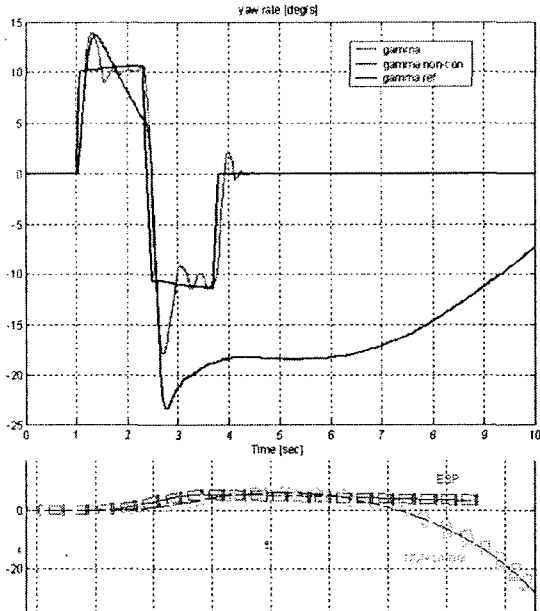


Fig. 7 Single lane change driving test (80km/h, 0.3 μ)

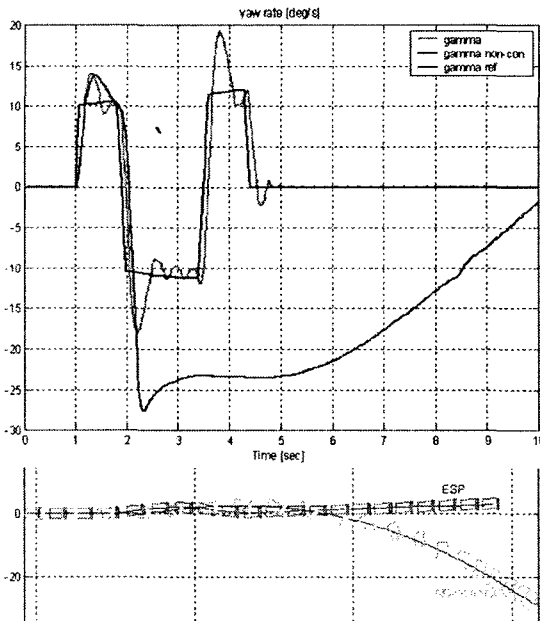


Fig. 8 Double lane change driving test (80km/h, 0.3 μ)

5. 결론

통합 샤시제어 알고리즘의 구현을 위해서는 통합을 고려하고 있는 개별 시스템에 대한 충분한 이해와 신뢰성 있는 제어 알고리즘 구현이 필수적이다. 이를 기반으로 하여 다양한 조건의 시험결과를

통한 동역학적 효과 및 Coupling effect 에 대한 결과를 필요로 한다.

본 논문에서는 이러한 일련의 과정을 수행하기 위한 시작단계로서 MATLAB/Simulink 상에서 저자유도 차량모델을 사용하여 현가시스템과 제동시스템의 제어 로직을 구현하였다. 구현된 제어 로직을 기반으로 좀더 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 27 자유도의 차량 모델을 갖는 CarSim 프로그램과의 시뮬레이션 환경을 구현하였다. 저자유도 차량 모델에서 구현된 제어 알고리즘을 차량 동역학 전용 해석 프로그램에서 검증함으로써 좀더 신뢰성 있는 결과라 할 수 있겠다.

향후 CarSim 의 보다 정확한 차량 모델링을 통해 제어 로직의 신뢰성을 보다 더 향상시킬 수 있으며, 조향시스템의 제어 로직을 함께 구현함으로써 통합 샤시제어 알고리즘 구현을 위한 환경 구축에 완성도를 더할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Verhagen A., Futterer S., Rupprecht J., "Vehicle Dynamics Management - Benefits of Integrated Control of Active Brake, Active Steering and Active Suspension Systems," FISITA, F2004F185, 2004.
2. 고유석, 김완일, 김동신, "Suspension system 과 Braking system 을 이용한 UCC System," 한국자동차공학회 2004 년 춘계학술대회 논문집, pp. 697 - 702, 2004.
3. Hwang, S.H., Vehicle Dynamic Analysis of Continuously Variable Damper System using Hardware-in-the-loop Simulation? Ph.D, Thesis, Seoul National University, 1997.
4. 박기홍, 허승진, "VDC 를 위한 HILS 시스템 개발에 관한 연구" 한국자동차공학회 논문집, 제 11 권, 제 3 호, pp. 184-191, 2003.
5. 박기홍 외, 차량 통합샤시제어 로직에 관한 연구? 한국정밀공학회 2003 년 춘계학술대회 논문집, pp. 1001-1005, 2003