

차량 통합샤시제어 로직에 관한 연구

박기홍*(국민대학교), 허승진(국민대학교)
손성효(국민대학교), 장영하(국민대학교), 황태훈(국민대학교)

A Study on Global Chassis Control Logic of Vehicles

K. Park*(School of Mech. & Auto. Eng., KMU), S.-J. Heo(School of M&A Eng., KMU)
S. H. Son(Grad. Sch. of Auto. Eng., KMU), Y. H. Jang(GSAEK, KMU), T. H. Hwang(GSAEK, KMU)

ABSTRACT

Most electronic chassis control systems until today have been designed with optimization on its own performance. Recently, however, importance of the global chassis control (GCC) concept that aims to achieve optimal performance on a global basis is more emphasized than ever, as the x-by-wire technology is rapidly progressing. In this research, a study has been done for developing a GCC logic for combining longitudinal, lateral, and vertical chassis control subsystems. A simulation has been performed to investigate interactions among the subsystems, and based upon the results, a GCC logic has been developed. The logic has been tested under various driving conditions, and the results have been compared with those from implementing subsystems without any GCC logic.

Key Words : Global chassis control (GCC, 통합샤시제어), Vehicle Dynamic Control (VDC, 차량동역학제어), Electro-Hydraulic Braking (EHB, 전기유압식 제동장치), Electronically Controlled Suspension (ECS, 전자제어식 현가장치)

1. 서론

오늘날의 전자식 샤시 제어시스템은 제동, 현가, 조향 등에 있어서 독립적인 기술개발이 이루어진 결과, 각각의 서브시스템 내에서만 성능 최적화가 이루어지고 있다. 반면 2000년대 첨단 샤시 시스템에서는 서브시스템간의 한계를 극복하는 이른바 통합 샤시제어(GCC: Global Chassis Control) 시스템의 중요성이 높게 평가되고 있다. 이제까지는 각각의 부품 및 조향/구동/제동의 서브시스템 차원의 정보가 관련 센서 등을 통하여 독립적으로 사용되어 왔으나, 차량 정보화 기술을 바탕으로 하는 차량 안전도 기술에서는 다양한 정보의 통합 혼용화가 가능하게 됨으로써 총체적인 개념의 차량 안전도 기술의 향상을 꾀할 수 있게 되었다. 또한 통합샤시제어는 현재 부분적으로 상용화되고 있는 drive-by-wire 기술이 머지않은 장래에 대부분의 샤시 모듈에 적용이 되면 통합샤시제어를 구현하기가 매우 용이하기 때문에 전자화 기술과 함께 더욱 강조되고 있다.

Fig. 1은 GCC 장착 차량의 통합제어 개념도를 보여준다. 이 그림으로부터, 안전도(Safety), 안락함(Comfort), 운전 편의성 측면의 성능 극대화를 위해서 운전자-차량-환경 요소에서 발생하는 각종 주행 정보를 공유화하여 지능적으로 통합 제어하기 위한 이른바 ECU-Supervisor 기능의 통합샤시제어의 중요성을 알 수 있다.

GCC 차량 개발을 위해서는 신속성, 합리성, 기능 안정성, 효율성이 고려되는 통합제어 로직의 설계 기술이 무엇보다 우선적으로 요구된다. 본 연구에서는 이를 위해 일차적으로 차량의 종방향, 횡방향, 수직방향의 제어를 위해 각각 독립적인 제어를 설계하고자 한다. 이때 차세대 제동시스템으로 주목되고 있는 EHB (Electro-Hydraulic Brake)시스템을 고려한 제어 알고리즘을 추가 고려하여 기존의 브레이크 시스템의 성능과 비교하고자 한다. 또한 이들 결과를 바탕으로 각 서브시스템에 대한 통합제어시뮬레이션을 수행하여, 서브시스템의 독립적인 작동과 비교하여 그 성능을 평가하고자 한다.

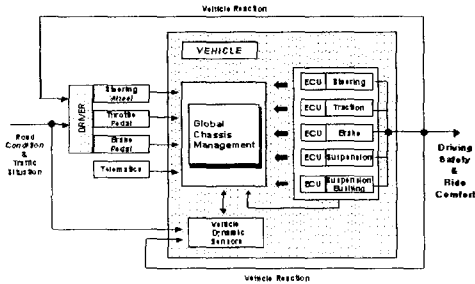


Fig. 1 Global chassis management concept

2. 차량 동역학 시뮬레이션 환경 구성

2.1 차량 모델링

본 논문에서는 차량 모델링 및 시뮬레이션 결과 분석의 용이함을 위해 다물체 동역학 상용 S/W인 ADAMS CAR (Ver 12.0)를 사용하여 Fig. 2와 같이 차량 모델링을 수행하였다. 차량 모델은 Fig. 2와 같이 다물체 모델링 방식을 이용하였으며 전후륜 모두 Double Wishbone 타입의 현가시스템을 갖고 있으며, 일반승용 차량과 유사한 동특성을 보이도록 차량모델을 수정하였다.

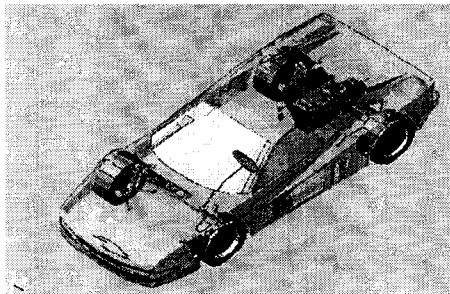


Fig. 2 Multibody vehicle model

2.2 시뮬레이션 환경 구성

본 연구에서는 제어알고리즘을 적용하기 위해 ADAMS와 Matlab (Ver 6.1)의 Simulink를 연결하여 시뮬레이션 할 수 있도록 환경을 구축하였다. Fig. 3은 다물체 모델과 제어알고리즘간의 상호 연결관계에 대해서 도시적으로 나타내고 있다. Fig. 3의 상단부의 ADAMS 차량모델로부터 차량 현상태에 대한 정보가 나오면 하단부의 Matlab 제어를 통하여 제동토크와 속도소버의 제어감쇠력이 결정되고 차량모델로 입력된다. Fig. 4는 Fig. 3의 개념을 실제 Simulink상에서 구현한 모습으로서, 좌측의 큰 블록이 ADAMS 차량모델을 나타내며 차량모델로부터 나온 신호가 통합되어 들어가는 오른쪽의 블록이 제어

기 모델을 나타낸다.

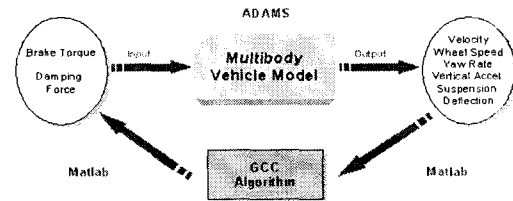


Fig. 3 Concept diagram of combined simulation of ADAMS and Matlab Simulink

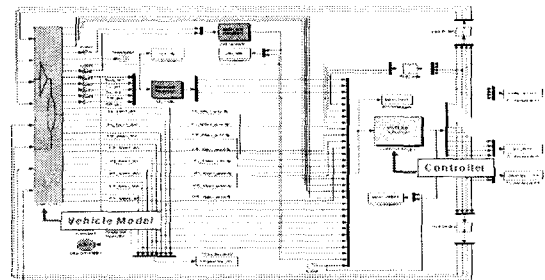


Fig. 4 Program scheme for GCC simulation in Matlab

3. 제어 알고리즘

3.1 ECS(Electronically Controlled Suspension)

차량승차감 향상을 위한 제어알고리즘으로 식 (1)과 같이 Sky-hook 감쇠기를 반응동형 연속가변형 현가시스템에 적용하였다.

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

식 (1)에서 $f_{d_{hard}}$, $f_{d_{soft}}$ 는 각각 반응동형 가변댐퍼의 최대감쇠력 및 최소감쇠력을 나타내며, $f_{d_{SH}}$ 는 Sky-hook 감쇠기로부터 결정된 제어감쇠력이며, $f_{d_{ecc}}$ 는 연속가변댐퍼의 성능을 고려해 계산된 최종적인 제어감쇠력이다. 일반적인 차량주행시 Sky-hook 감쇠기 개념을 이용하여 현가시스템을 제어할 경우 차체의 수직방향 운동이 줄어들어 승차감이 우수하나 급제동 및 코너링시 차체의 하중이동량이 커지면서 안정성이 떨어지는 단점을 갖게 된다. 본 연구에서는 기본제어 알고리즘으로 Sky-hook 감쇠기를 사용하면서 동시에 코너링 및 제동시과 같은 상황에서는 ARC(Anti-Roll Control) 및 ADC(Anti-Dive Control)를 통하여 차량의 안정성을 확보하고자 하였다. Fig. 5는 ARC 및 ADC 개념을 도식적으로 나타내고 있는

데 차량의 Roll 및 Pitch 각이 허용값 이상으로 커지면 반능동 현가시스템의 최소 감쇠력의 크기를 점차적으로 커짐을 알 수 있다.

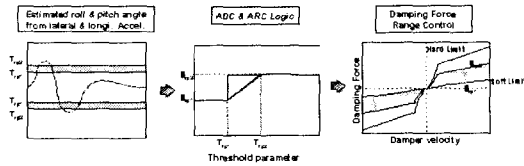


Fig. 5 ARC and ADC control scheme

3.2 ABS (Anti-Lock Brake System)

제동시 및 차량 안정성 제어중 차륜의 슬립이 발생하면 차량의 조종안정성이 크게 떨어진다. 이를 방지하기 위해 본 연구에서는 Fig. 6과 같은 차륜의 슬립률에 의한 제어알고리즘을 채택하여 바퀴의 잠김현상을 방지하고자 하였다.

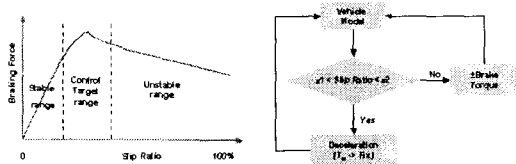


Fig. 6 ABS operation range and control scheme

3.3 VDC (Vehicle Dynamics Control)

차량의 횡방향의 불안정한 운동은 타이어와 노면 사이의 정상적인 관계가 유지되지 못할 때 발생하는데, 이러한 현상이 발생하면 차량의 미끄럼각이 커지게 되고 조향입력에 대한 요 모멘트가 급격히 감소하여 차량의 안정성이 급격히 떨어진다. VDC의 목표는 운전자가 조향하는 대로 차량이 움직일 수 있도록 보상 요 모멘트를 발생시켜주는 데 있다. 본 연구에서는 2자유도 차량모델(Bicycle 모델)을 적용하여 차량속도와 운전자의 조향입력의 크기에 따라 참조요각속도를 추출하여 Fig. 7과 같은 방법을 이용하여 차량의 횡방향운동을 제어하였다.

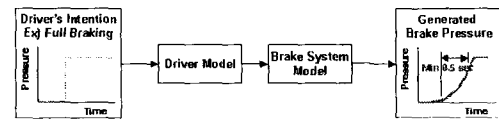
$\gamma_{ref} - \gamma_{act} > 0$	$\delta \geq 0$		
	$\delta < 0$		
$\gamma_{ref} - \gamma_{act} < 0$	$\delta \geq 0$		
	$\delta < 0$		
$\gamma_{ref} - \gamma_{act} = 0$	any δ		HOLD MODE

Fig. 7 VDC Concept

3.4 EHB (Electro-Hydraulic Brake)

기존의 수동(Passive)제동시스템이나 ABS 제동시스템은 운전자의 제동의지에 의해 발생된 힘을 이용하여, 운전자에 의해 발생된 제동압의 크기를 미소하게 증압 또는 감압하여 제어하였다. 따라서 급제동시 또는 차량 안정성을 위해 특정한 휠에 큰 제동력이 필요할 경우에는 제동압의 크기 그리고 운전자의 동특성 및 제동시스템의 동특성의 영향으로 인해 제동성능 및 안정성 면에서 그 성능을 충분히 발휘하지 못하였다. 본 연구에서는 기존의 제동시스템의 단점을 보완하기 위해 EHB 시스템을 제안하였다. Fig.8은 기존시스템과 EHB에서 사용하는 제동력 발생시스템에 대해 간단하게 나타내고 있는데 기존시스템의 경우 운전자가 급제동(Full Braking)을 하고자 할 때 운전자가 페달을 밟는 순간부터 최대압이 발생할때까지 약 0.5초의 지연이 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 EHB의 경우 Pedal에 장착된 센서시스템으로부터 운전자의 의지를 파악하여 고압 어큐뮬레이터로부터 최대제동압력을 신속하게(0.2초) 발생시키게 되는데 이로부터 제동성능을 향상시킬 수 있게된다.

- Passive or ABS Brake System Model



- EHB System Model

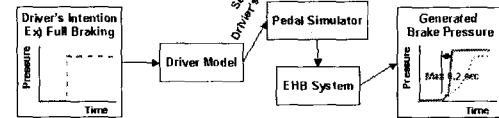


Fig. 8 Basic Concept diagram for generating break pressure of EHB system

또한 제동압 배분율이 고정되어 있는 기존 시스템과는 달리 고압어큐뮬레이터로부터 각 차륜에 필요한 만큼의 고압을 독립적으로 공급할 수 있으므로 차량의 안정성확보에 용이한 장점을 갖고 있다.본 연구에서는 이러한 EHB시스템의 장점을 고려하여 기존의 수동제동시스템과 ABS/VDC 시스템과 비교 평가하였다.

3.5 Combined GCC

Fig. 9는 본 연구에서 구현한 Fig. 4의 프로그램 화면에 나타난 통합제어기를 도식화하고 있다. 상단부의 각각의 블록이 ADAMS 차량모델로부터 나온 센서신호를 나타내며, 차량의 상태에 따라 필요한

제어기가 구동되어 차량모델로 제어신호가 입력된다.

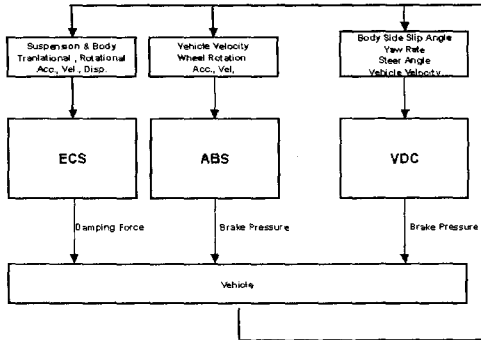


Fig. 9 Scheme of Combined GCC

4. 시뮬레이션 결과

4.1 직진주행 급제동 시험

제어기 성능 평가를 위해 첫 번째 시험상황으로 직진주행 급제동 시험을 수행하였다. 극한상황을 표현하기 위하여 양쪽 바퀴의 마찰계수가 다른 노면(좌측륜 마찰계수 1.0, 우측륜 마찰계수 0.3)을 이용하였으며, 초기속도 100km/h에서 급제동을 수행하였다. 시뮬레이션 수행중 조향각은 0도로 고정하였다. Fig.10과 Fig.11은 시뮬레이션 결과를 차량의 주행거리와 요각속도를 통하여 나타내고 있다. Fig. 10의 주행거리를 통하여 각 서브시스템별 제어보다 통합 사시제어를 하였을 경우 가장 직진에 가까운 운동을 보임으로써 가장 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 동일하게 Fig. 11을 통하여 통합제어를 수행하였을 경우가 가장 작은 요각속도를 나타내고 있는데 경우에 비하여 우수한 성능을 보임으로써 안정성을 확보하고 있음을 볼 수 있다. 특히 기존의 제어기에 차세대 제어기인 EHB를 사용함으로써 EHB를 사용하지 않은 통합사시제어보다 나은 성능이 나타나는 것을 볼 수 있다.

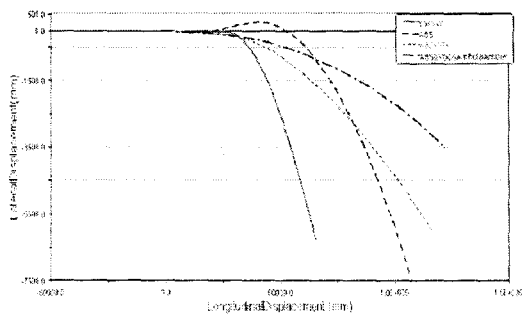


Fig.10 Vehicle trajectory in full braking simulation on the split-proad

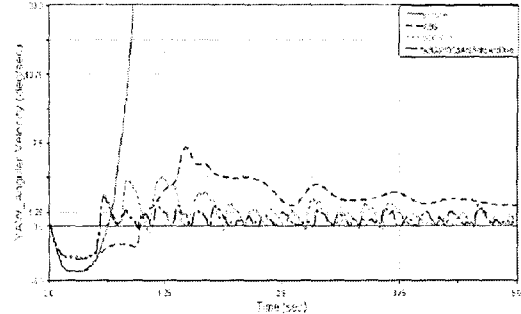


Fig.11 Yaw rate in full braking simulation on the split-proad

4.2 선회주행 급제동 시험

두 번째 시험상황으로 적용된 선회시 급제동 시험 역시 극한 상황을 고려하기 위하여 마찰계수 0.3의 미끄러운 노면을 초기속도 100km/h와 조향각 45도의 시험조건을 사용하였다. Fig.12와 Fig.13은 직진주행 급제동시험결과와 같이 EHB를 사용한 통합제어를 했을 경우 기존 통합 사시제어 혹은 서브시스템제어에 비해 우수한 선회율과 제동거리를 보이고 있음을 알 수 있다.

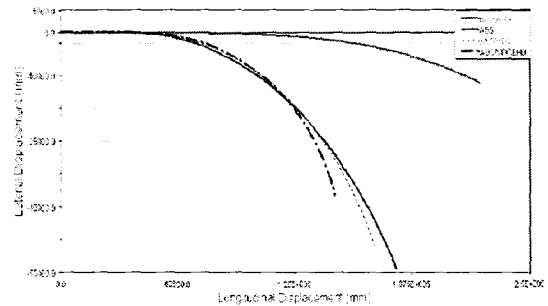


Fig.12 Vehicle trajectory in full braking and cornering simulation on a very slippery load

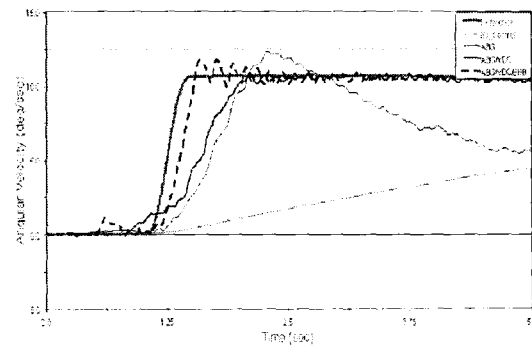


Fig.13 Yaw rate in full braking and cornering simulation on a very slippery load

5. 결론

본 논문에서는 차량운동의 가시화와 모델링의 용이성을 위해 상용S/W를 사용하여 차량모델링을 수행하였으며 현재 대표적으로 사용되고 있는 샤시제어기 및 통합제어기를 설계하여 상호연계시뮬레이션을 수행하였다. 극한조건의 주행 시뮬레이션을 통하여 각 서브시스템의 제어가 정상적으로 이루어짐을 확인하였으며, 서브시스템간 제어를 통합했을 경우 보다 우수한 제어성능을 보이고 있음을 알 수 있었다. 또한 기존 제동시스템이 아닌 EHB시스템의 특성을 고려한 제어를 수행했을 때 보다 우수한 제동 및 선회성능을 보임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Karnopp, D., Crosby, M.J and Harwood, R.A., "Vibration Control Using Semiactive Force Generation", *J. of Engineering for Industry*, pp. 619-629, 1974.
2. Hwang, S.H., "Vehicle Dynamic Analysis of Continuously Variable Damper System using Hardware-in-the-loop Simulation", Ph.D, Thesis, Seoul National University, 1997.
3. Gillespie, T.D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992.
4. 박기홍, 허승진, "VDC를 위한 HILS 시스템 개발에 관한 연구", 한국자동차공학회 논문집, 제11권, 제3호, pp.184-191, 2003.
5. 허승진 외, "승합차의 통합된 샤시 제어시스템에 대한 차량 동역학적 해석", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp.316-321, 1995.