



자동차 현가제어시스템의 최근 기술동향

A Technical Trend of Vehicle Suspension Control Systems



장진희 • 지엠대우오토엔테크놀로지
Jinhee Jang • GM Daewoo Auto & Technology



이강원 • 지엠대우오토엔테크놀로지
Kangwon Lee • GM Daewoo Auto & Technology

1. 서론

차량 현가시스템(Suspension System)의 특성은 크게 Geometry를 포함한 Kinematic & Compliance의 성능과 차량의 강성(Stiffness)에 영향을 미치는 Spring, Stabilizer Bar 등의 성능, 그리고 감쇠력에 영향을 미치는 Damper의 성능으로 이루어진다. 이러한 현가시스템은 노면으로부터의 불규칙한 입력을 효과적으로 차단(Isolation)하여 탑승자에게 안락한 승차감(Ride Comfort)을 주고, 도로와 타이어가 접촉하는 기준면에서 적절한 수직 하중을 유지하여 차량의 선회와 구동, 제동 시의 차량의 조정 안정성(Handling Performance)을 확보하는 역할을 수행한다.¹⁾

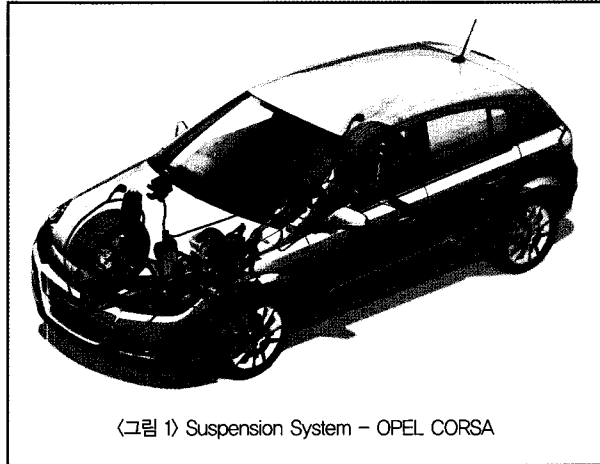
일반적으로 현가시스템(Suspension System)의 위 두 가지 특성은 서로 상반되는 경향으로 알려져 있다. 이런 이유로 기존의 차량들은 승차감(Ride Comfort)과 조정 안정성(Handling Performance)에 대한 선호 경향이 각기 다른 여러 소비자들의 요구를 동시에 만족시키기 어려웠다. 또한 하나의 특성으로 고정된 각 Component들의 특성으로 인하여 차량의 현가시스템(Suspension System)은 전체 차량

주행 상태에 따라 요구되는 특성을 모두 만족 시키기가 매우 어려웠다.

따라서 다양한 소비자의 요구를 만족 시키고 차량의 주행상태에 적합한 차량의 성능을 구현하기 위한 현가시스템(Suspension System)에 대한 연구는 지속적으로 수행되어 왔다. 최근에도 새로운 설계 기술과 제어 시스템들이 계속 제안되고 있으며 현가시스템(Suspension System)을 구성하는 Component마다 각각의 성능을 향상시키기 위한 제어 시스템들이 다수 소개되었다.

더 나아가 현가시스템(Suspension System)을 구성하는 각각의 제어시스템(Sub-System)들을 통합하여 제어하는 통합현가제어시스템(Integration Suspension Control System)이 등장하였으며, 현가시스템뿐만 아니라 Chassis System을 구성하는 주요 개별시스템들을 통합 제어하여 차량의 운동상황에 가장 적합한 성능을 구현하는 샤시 통합 제어(Integrated Chassis Control System)에 대한 연구도 소개되고 있다.

이러한 흐름에 따라 본 고에서는 현가시스템을 구성하는 주요 Component들에 대한 제어시스템들과 샤시 통합 제어(Integrated Chassis Control System)의 기술개발 동향을 정리하고자 하였다.



〈그림 1〉 Suspension System - OPEL CORSA

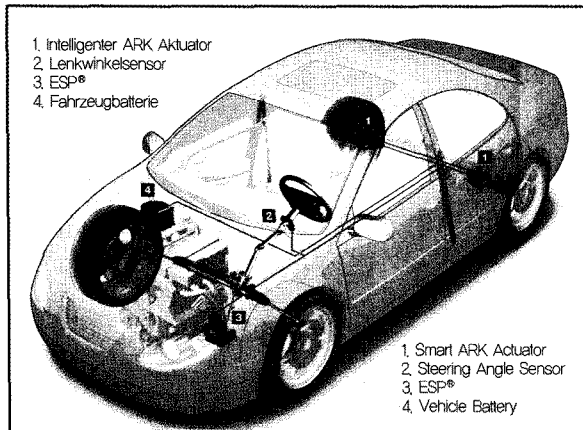
2. 각 구성 요소 별 현가제어시스템의 최근 기술동향

앞서 언급한 바와 같이 현가시스템(Suspension System)의 특성은 Geometry를 포함한 Kinematic & Compliance의 성능, Spring, Stabilizer Bar, Damper 등의 성능으로 이루어진다. 일반적으로 보다 향상된 차량의 성능을 구현하기 위하여 현가시스템(Suspension System)을 구성하는 각 요소의 성능을 향상시키기 위한 연구가 많이 진행되었으며, 이를 구현한 현가제어시스템들이 다수 개발되었다. 이러한 배경으로 현가시스템(Suspension System)의 각 Sub-System별로 개발되었거나, 개발되고 있는 현가 제어 시스템의 동향을 우선 알아보하고자 한다.

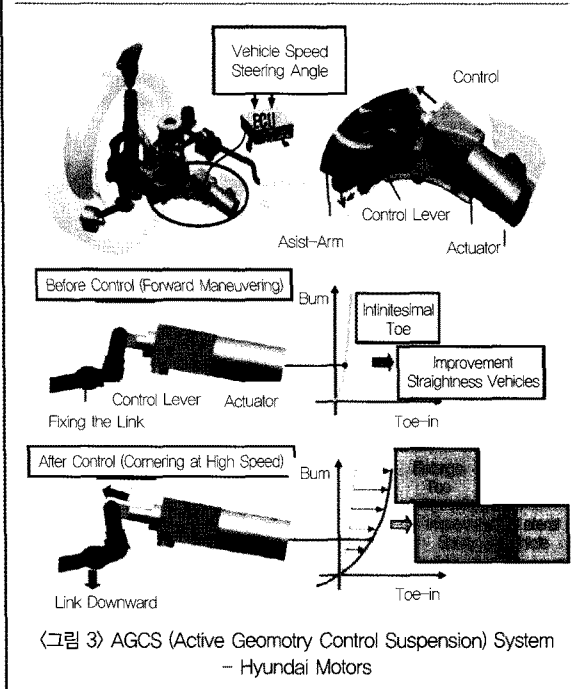
2. 1. Kinematic Control System

차량에서 Tire가 상하로 Stroke 될 때, Tire는 단순히 수직으로 움직이는 것이 아니라, Suspension의 Link와 Arm의 배치에 의존하여 움직이게 된다. 따라서 상하 Stroke 시 Link의 길이나 위치 등의 기하학적 요소에 따라 Tire의 Toe, Camber, Caster Angle 등이 모두 바뀌게 된다. 이러한 Link 등의 기하학적 배치를 Suspension Geometry 혹은 Hard Point라 부르며, 이 Geometry로 인한 기구적인 운

동(Kinematic)은 Suspension의 Stroke 시의 Tire 자세 뿐만 아니라, Cornering Force가 가해지는 때의 Toe의 변화 등 차량의 동적인 자세 변화를 결정하는 주요한 요소이다.¹⁾ 일반적으로 자동차의 Geometry는 고정되어 있어, 앞서 언급한 소비자마다의 다른 요구나 주행조건에 따라 요구되는 동역학적인 특성으로 Geometry를 변경한다는 것은 물리적으로 불가능하였다. 그러나 최근 들어 Kinematic Mechanism에 변화를 주거나 제어하여 보다 향상된 성능을 도모하고자 하는 연구들이 발표되었으며



〈그림 2〉 ARK (Active Rear Axle Kinematics) System Configuration - Conti-Teves



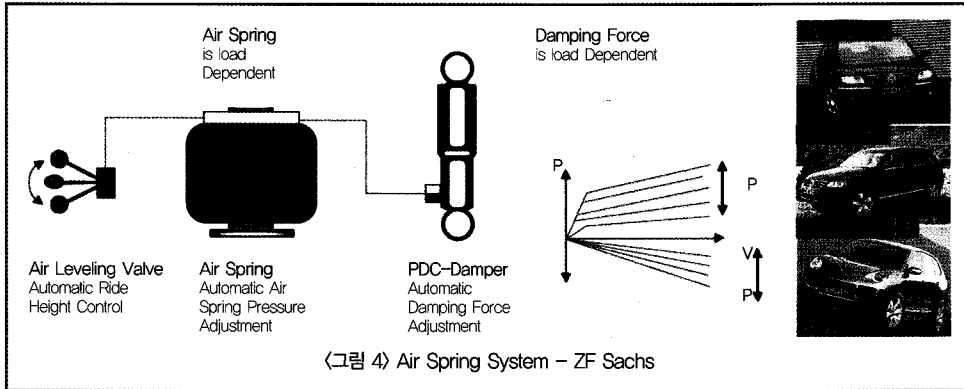
〈그림 3〉 AGCS (Active Geometry Control Suspension) System - Hyundai Motors

연구들의 결과로 ARK(Active Rear Axle Kinematics), AGCS(Active Geometry Control Suspension) 등의 Kinematic Control을 구현하는 System들이 소개되고 있다. 〈그림 2〉는 ARK (Active Rear Axle Kinematics) System은 운전자의 조향 입력과 차량의 운동상태를 이용한 후, 차량의 Rear Axle에 장착한 Actuator를 통하여 차량의 Kinematic Control을 구현하는 System이다.²⁾

〈그림 3〉는 Kinematic Control을 구현하는 System 중의 하나인 AGCS System이다. 이 System은 Actuator를 이용하여 기구적으로 Suspension Geometry를 변화시켜 Kinematic 특성을 변화시키는 원리로, 그림에서 보듯이 차량의 속도나 Bump 상황에 맞게 Rear Wheel의 Assist Arm을 Actuator로 밀거나 당겨주어 Rear Wheel의 Toe Angle을 변화시켜주는 방법으로 차량의 안정성 (Understeer 특성)을 증가시키는 효과를 나타낸다.³⁾

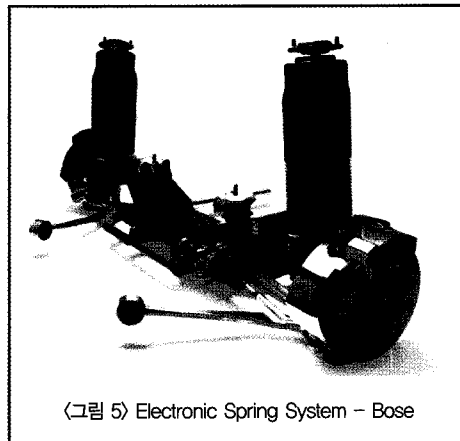
2.2. Spring Systems

Spring System은 차량에서 차체의 상하 지지의 역할과 차고를 조절하는 역할, Tire의 상하 위치를 결정하고, Damper의 Bending을 방지해 주는 역할을 하는 동시에 차량의 강성 계수(Stiffness)를 결정하는 중요한 요소이다.³⁾ Spring System은 재료의 특성상 하나의 강성계수를 가짐으로써 차량의 특성 역시 변화시키기 어려웠으나 최근 Pneumatic and Hydro-Pneumatic Spring Systems이나 Electronic Spring Systems 등이 개발 되면서 차량의 거동이나 운전자의 요구에 상응하는 System으로 발전하고 있다.



〈그림 4〉은 Air Spring System으로 이 System은 공기 압력을 이용하여 Spring의 강성을 변화시킬 수 있으며, Air Leveling Valve를 이용하여 차체의 높이를 현재의 하중에 맞게 높이를 Leveling 할 수 있게 된다. 또한 공기의 압축유체 특성상 Damping의 효과도 나타낸다.⁴⁾ 이러한 Air Spring System은 차량의 성능향상, 특히 승차감 측면에서 유리하여 그 장점이 늘어나고 있는 추세로 SUV급이나 Luxury Sedan 차량 위주로 장착이 되고 있는 상황이다.

Air Spring System과는 다르게 Motor를 이용한 Spring System이 있다. 〈그림 5〉는 Electronic Spring System이다. 이 시스템은 Linear Electromagnetic Motor를 이용하여 Spring의 강성이 변화되는 효과를 구현한다. 또한 Motor의 Milli-Second 단위의 빠른 응답 특성으로 시스템 전체의 응답이 매우 빠르다는 특징이 있다.⁵⁾



2.3. Dampers-Shock Absorber System

일반적으로 Soft한 Damping은 승차감에 유리하고 Hard한 Damping은 조정안정성에 유리한 것으로 알려져 있다. 따라서 차량의 승차감과 조정안정성을 동시에 향상시키기 위한 Damper의 특성은 차량의 주행상태에 알맞은 Soft한 Damping 특성과 Hard한 Damping 특성을 모두 구현할 필요가 있었다. 이와 같은 필요에 의해 Damper의 감쇠력을 조절하기 위한 Control System이 소개 되었으며, 전자제어 기술과 접목을 통하여 현재는 여러 우수한 기술의 제품들이 구현되어 있다.

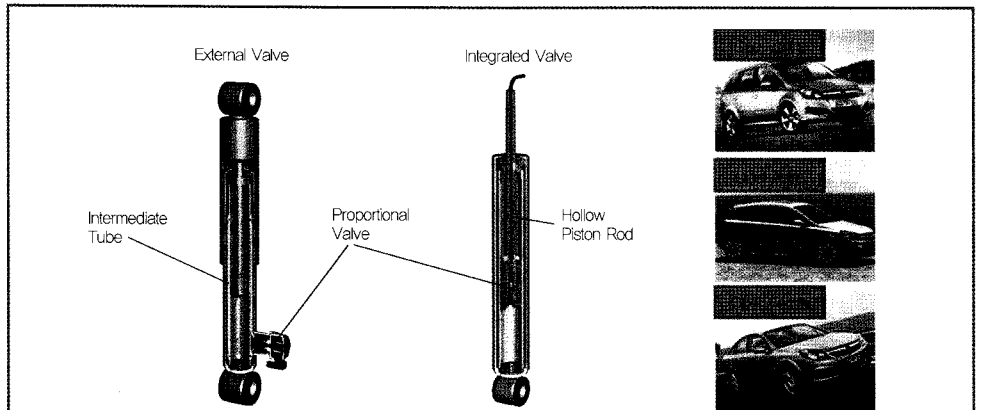
이중 Adaptive Damping System(ADS)는 여러 개의 Solenoid Valve를 선택적으로 사용하여 상황에 맞는 Damper의 Rebound와 Compression 성능을 구현할 수 있으며, 차체의 움직임을 작게 유지할 수 있는 특징이 있다.⁶⁾

〈그림 6〉는 Continuous Damping Control System(CDC)으로 Proportional Valve로 유체의 양을

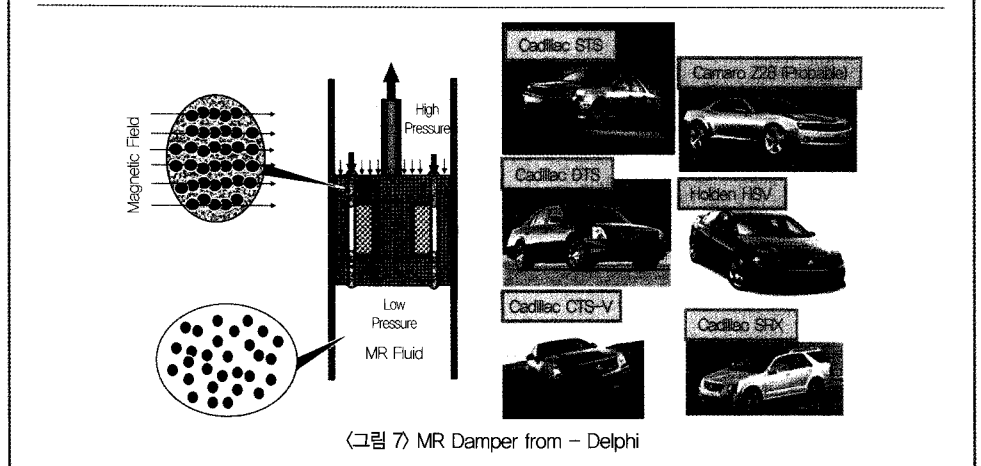
조절하여 Damping 특성을 바꾸어 주는 방식의 시스템이다. 이 CDC는 Proportional Valve의 위치에 의하여 유로가 결정되고, 유체의 흐름이 추가적인 공간으로 확장되거나 제한되어 Soft하거나 Hard한 Damper의 특성을 만들어 낸다. 이러한 시스템은 Hardware 적으로 Damper내부 혹은 외부의 추가적인 유로가 요구되며, Damping의 특성을 만들어 내는데 소모되는 에너지가 적다.⁸⁾

이외에도 Tenneco, TRW, Kayaba, Mando 등 많은 회사들이 Damper의 Rebound와 Compression이 Conventional Damper보다 넓은 성능 영역을 가지는 제품들을 출시하고 있다.

위의 CDC와는 다르게 <그림 7>은 Metallic Particles을 이용한 MR (Magneto Rheological) Damper는 Tube안의 유체의 특성 변화를 이용하여 Damping Force를 조절하는 시스템이다. 그림에서 보듯 Tube 안의 유체에는 자성을 띠 수 있는 입자들이 포함되어 있고, Piston에 전극을 가지고 자기장을 발생시킬 수 있는 회로가 형성되어 있다. 따라서 Piston의 오리피스를 통과하는 유체는 Piston에서 형성된 전극으로 인하여, 유체특성이 순간으로 변화하게 되며, 이 유체가 오리피스를 통과하는 동안 전체 Damper의 인장/압축 속도가 변화되어 차량의 Damping 특성이 변화하게 되는 것이다.⁸⁾



<그림 6> CDC (Continuous Damping Control) System - ZF Sachs



<그림 7> MR Damper from - Delphi

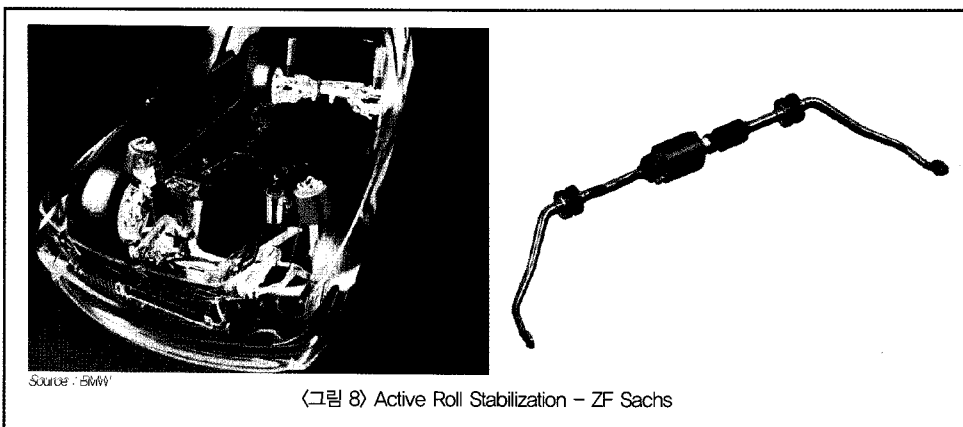
2.4. Stabilizer Bar System

ARC (Active Roll Control Stabilizer Bar) System는 기존의 Stabilizer Bar를 유압이나 Motor를 가지고 Stabilizer Bar의 비틀림 양을 조절하여 결국엔 전체 차량의 롤 강성(Roll Stiffness) 값을 조절할 수 있게 개발된 System이다. ARC System은 차량의 초기 Roll Angle을 줄여 주며, 차량의 횡가속도가 작은 영역에서 차량의 Roll Angle을 제어하여 차량의 안정성과 승차감을 향상시킨다. 아래 <그림 8>는 ARS(Active Roll Stabilization)이라는 유압식 Stabilizer Bar Control System으로 BMW의 7 Series와 SUV 차량 등에 장착되어 있다.^{4,5)}

3. 통합제어 시스템의 최근 기술동향

앞서 본 것과 같이 현가 시스템(Suspension System)을 구성하는 각각 Component마다 성능을 향상시키기 위한 현가 제어 시스템(Suspension Control System)들이 개발되었다. 이러한 현가 제어 시스템(Suspension Control System)은 기존의 Passive System보다 향상된 성능을 구현 할 있었으며, 마찬가지로 차량의 성능도 향상될 수 있었다. 그러나 각 Component만의 성능 향상으로는 Suspension 전체의 성능을 향상 시키는데 물리적인 한계가 있음이 일반적으로 알려져 있다. 따라서 차량 전체의 운동 성능을 향상시키기 위한 보다 최적화된 현가 시스템(Suspension System)의 성능을 구현하기 위하여 각 Suspension Component들을 통합 제어하는 시스템이 제안되고 있다.

더 나아가 하나의 Sub-System의 연구를 넘어 차량 전체의 동역학적 성능 향상을 위한 각각의 Sub-System(조향, 제동, 현가)을 연계한 Integrated Chassis Control System에 대한 연구가 등장하였다. 즉, 전체 차량의 관점에서 안정성 및 승차감 향상을 위한 통합 차시 제어 시스템에 대한 연구가 나타나기 시작하였으며, 몇몇 회사들이 Integrated Chassis Control System에 대한 Idea와 이를 구현한 제품들을 출시하고 있는 추세이다.

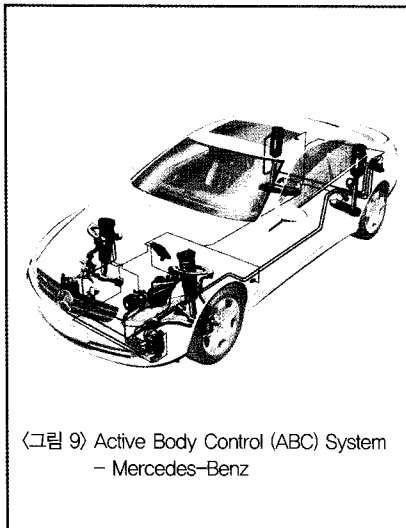


<그림 8> Active Roll Stabilization - ZF Sachs

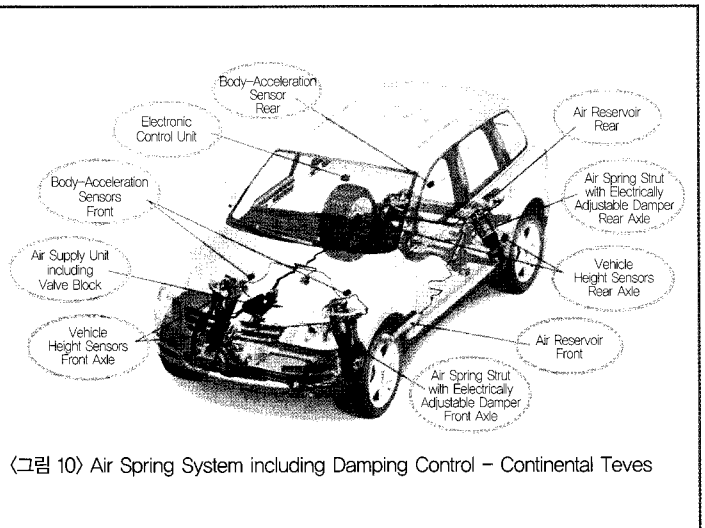
3.1. Integrated Suspension Systems

〈그림 9〉은 Active Body Control (ABC) System의 구성도이다. 이 시스템은 승객의 수나 적재물의 중량이 비대칭적으로 형성되어 타이어의 수직 하중이 급격하게 달라지게 될 경우, 유압회로를 이용하여 차체의 높이를 조절하고 Suspension Strut, Spring과 Damper를 통합 제어하여 차량의 최적화된 주행 조건을 유지할 수 있게 해주는 장치이다. 이 기능은 65kph Slalom Test에서 차량의 Roll Moment를 48% 줄여주는 효과가 있다고 하며, 60kph Slalom Test에서 17%의 Roll Angle을 줄여주는 효과가 있다고 보고되었다.⁵⁾

이외에도 〈그림 10〉과 같이 Air Spring과 CDC를 통합 제어하는 시스템들이 제안되고 있다.⁷⁾



〈그림 9〉 Active Body Control (ABC) System
- Mercedes-Benz

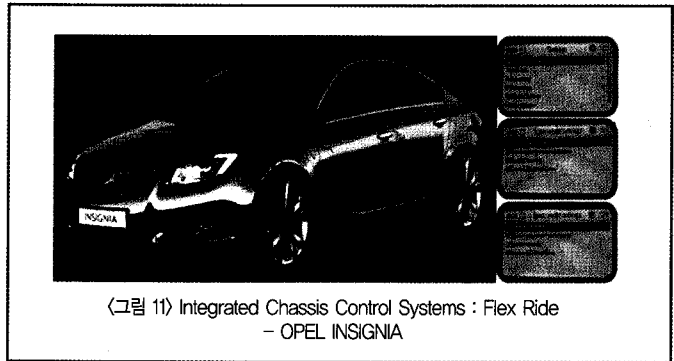


〈그림 10〉 Air Spring System including Damping Control - Continental Teves

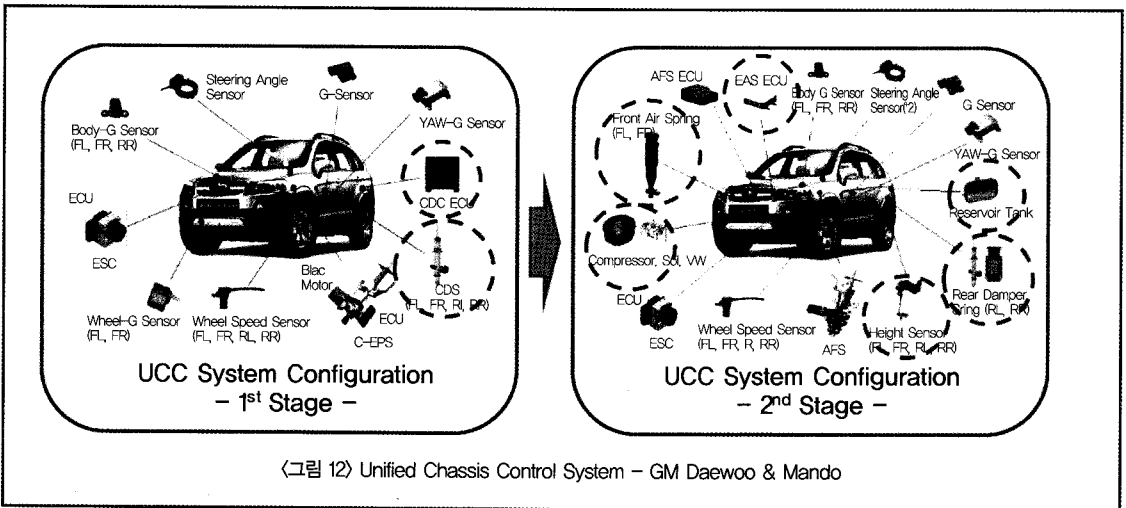
3.2. Integrated Chassis Control Systems

최근 차량의 동력학적 성능 향상을 위한 샤시 제어 분야의 기술동향의 특징은 과거에 개별 시스템 (조향, 제동, 현가)의 성능 향상 측면을 넘어서 차량의 전체적인 안정성 및 승차감 향상을 위한 통합 제어 시스템에 대한 연구로 그 분야가 확대되고 있는 것이다. 이에 따른 선진 부품 업체들의 개발 동향을 살펴 보면 VDM(Vehicle Dynamics Management) System이 ESP(Electronic Stability Program)를 기반으로 AFS(Active Front Steer), EPS(Electric Power Steering)와 CDC(Continuous Damping Control)시스템의 통합 제어를 위한 연구로 진행되고 있으며 BMW 차량에 장착하여 이미 상용화된 제품을 출시하였다. GM(General Motors)의 경우, ICC(Integrated Chassis Control) System이라는 샤시 통합 제어의 연구를 진행하여 왔으며, 운전자가 원하는 Mode(Comfort, Normal, Sport)의 입력과 운전자의 운전 성향, 그리고 차량의 주행 상태를 판단하여 샤시의 각 개별 시스템이 필요한 Mode로 최적화되는 Flex Ride 기능을 구현하였으며, 이를 OPEL INSIGNIA 차량에 장착하여 판매하고 있다.⁹⁾

이 같은 차시 통합 시스템에 대한 연구는 국내에서도 활발히 진행되고 있다. 아래는 국내에서 진행되고 있는 Unified Chassis Control (UCC) System의 구성도를 보여 주고 있다.^{10, 11, 12)} 본 UCC System 내에는 앞서 언급한 CDC, Air Spring System 등의 현가 제어 시스템(Suspension Control System)이 포함되어 있으며, 이 각각의 시스템은 보다 향상된 현가(Suspension) System의 기능을 구현하면서 동시에 전체 차량의 차시 통합 제어를 위한 Sub-System의 역할을 수행하고 있다.



〈그림 11〉 Integrated Chassis Control Systems : Flex Ride
- OPEL INSIGNIA



〈그림 12〉 Unified Chassis Control System - GM Daewoo & Mando

4. 결론

이상에서 차량의 현가제어시스템 기술 개발 동향을 살펴 보았고, 이 시스템들이 중요한 역할을 담당하게 되는 차시 통합 제어의 연구 동향을 간략히 살펴보았다. 이러한 연구들은 결국 차량의 운동 성능을 향상시키기 위한 목적으로 지속적으로 수행되리라 판단되며, 소비자의 다양한 요구를 만족시킬 수 있게 지속적으로 발전할 것이다. 아직까지는 Market에 따라 본 시스템들의 적용은 대형 고급 차량들 및 SUV/Truck에 적용이 되고 있고, 전 Grade에 적용은 아직 활발하다고는 볼 수 없으나, 차츰 그 요구가 증대되고 있으며, 자동차 회사 및 개발 업체에서는 이에 대한 요구에 대응하기 위한 준비를 활발히 하고 있는 상태이다. 앞서 언급한 대로 개별적인 Suspension 제어 시스템 개발을 통한 성능 향상과 더불어

조향, 제동, 구동 시스템과의 통합에 대한 연구도 지속적으로 이루어 지고 있으며, 결국에는 동적 상황에 따라 각각의 시스템들이 최적의 성능을 낼 수 있도록 통합될 것으로 보이며, 소비자에게는 보다 안정적이고 적합한 사양을 제공하게 될 것으로 판단된다.

(장진희 부장 : jinhee.jang@gmdat.com)

〈참고문헌〉

- ① 宇野 高明 著, 차량운동성능과 Chassis Mechanism
- ② Conti-Teves Online Media Center.
- ③ "Development of Optimized Actuator for Active Geometry Control Suspension", SAE 2007-01-0409
- ④ ZF Sachs Chassis Symposium Korea 2002
- ⑤ Supplier Business - The Suspension Report 2007
- ⑥ Vehicle Dynamics Expo 2006
- ⑦ Vehicle Dynamics Expo 2007
- ⑧ Vehicle Dynamics Expo 2008
- ⑨ Davide Danesin, Aldo Sornioti "Active Roll Control to Increase Handling and Comfort" SAE 2003-01-0962
- ⑩ <http://media.opel.com>
- ⑪ "향상된 차량동역학 제어를 위한 UCC Plus 시스템 제안" KSAE 2007 추계학술대회
- ⑫ "사시 통합 제어 시스템의 동계 시험 결과 및 방향" KSAE 2007 춘계학술대회
- ⑬ "AFS/EAS/ESC 개별 시스템 및 통합제어 시스템(UCC+)의 성능 향상을 위한 제안" KSAE 2008 추계학술대회



▶ 전라북도자동차부품산업혁신센터

- 2009년도 지역산업기술개발산업 신규지원(선도기술, 지역연계) 및 수요조사(전략기획) 설명회를 개최함 (2. 5)
- 전북자동차산업 CEO포럼을 전주월드컵컨벤션센터 컨벤션 A홀에서 개최함 (3. 12)

▶ 현대·기아자동차

- 엔진에서 발생하는 마찰손실을 줄여주는 "DLC(유사 다이아몬드) 코팅 밸브리트리"를 개발하여 2009년 제 7주 차 IR52 장영실상을 수상함 (2. 17)

- 경차용 카파 4속 자동변속기를 개발하여 2008년 장영실상 최우수상을 수상 (2. 26)

▶ 한국자동차공업협회

- 제 21회 정기총회에서 제 14대 회장으로 윤여철 현대자동차 부회장이 선임됨 (2. 26)

▶ 자동차부품연구원

- 제 8대 원장으로 이기섭 전 에너지관리공단 이사장을 이사회에서 선임함 (3. 5)

우리학회에서는 법인회원들의 소식과 동정을 널리 알리고자 회원동정을 게재하고 있습니다. 법인회원사에서는 신제품개발, 연구·개발 수행, 대표이사 또는 주요임원 변경, 수상내용 등에 대한 소식이 있을 경우 학회(auto@ksae.org)로 알려주시면 접수 순서대로 게재토록 하겠으니 많은 참여 바랍니다.