

4

자동차 현가장치 기술

The Technology of Automotive Suspension Systems



이상열 • 만도
Sang Yeol Lee • Mando Corporation



조길준 • 만도
Gil Joon Cho • Mando Corporation

1. 서론

차량의 현가시스템(Suspension System)의 기능은 차량의 주행 중에 발생하는 노면으로부터의 진동이나 충격이 차체에 전달되는 것을 감소시켜서 승객에게 안락한 승차감(Ride Comfort)을 제공하고 선회, 제동, 구동 시의 차량의 조종 안정성(Handling)을 확보하는 것이다. 현가시스템을 구성하는 핵심 부품은 댐퍼와 스프링으로서 댐퍼와 스프링의 특성을 변화 시킴에 따라서 차량 성능을 향상 시킬 수 있다. 본 특집에서는 현재 승용차에 적용되고 있는 댐퍼와 스프링의 적용 현황 및 향후 개발 동향에 대해서 소개 하고자 한다.

2. High Value Damper

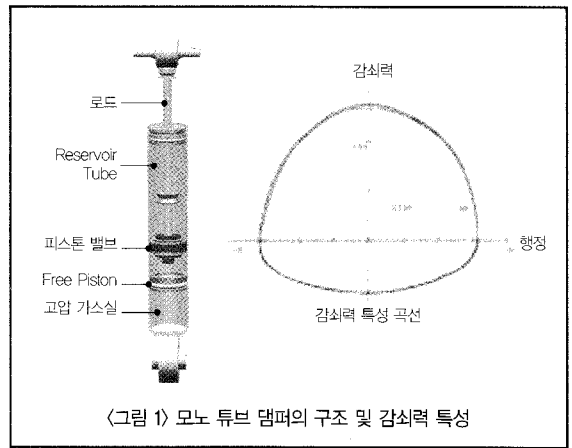
일반적으로 차량에서 널리 사용되고 있는 수동형 댐퍼는 가장 경제적인 가격으로 차량의 승차감과 조종안정성을 만족 시키기 위해서 사용되어 지는데 최근에는 이러한 수동형 댐퍼에 차량의 성능을 향상

시킬 수 있는 추가 기능이 부가된 High Value댐퍼가 널리 사용 되어지고 있는데 이러한 댐퍼들에 대해서 살펴 보기로 하겠다.

1) 모노 튜브 댐퍼

일반적인 수동형 댐퍼가 트윈 튜브(Twin Tube) 구조인데 비하여 모노 튜브 댐퍼는 싱글 튜브 구조로 되어 있으며, 튜브 내부에 있는 Free Piston에 의해서 오일 챔버와 가스 챔버로 나뉘어진다. <그림 1>은 모노 튜브 댐퍼의 구조 및 감쇠력 특성을 나타낸 것이다. Free Piston 하부에는 고압의 질소 가스가 봉

입되어 있으며, 상부에는 오일이 가득 차 있는데 댐퍼가 신장 및 압축 운동을 함에 따라서 로드(Rod)의 체적 변화가 생기고 이에 따라서 동일한 체적만큼 Free Piston이 상하 왕복운동을 하게 된다. 고압의 질소 가스의 역할은 감쇠력 생성시 응답성을 향상 시키고, 오일에 포화되어 있는 공기에 의한 에어레이션(Aeration) 발생을 억제하여 연속 가진 시 발생하는 감쇠력 특성 곡선의 왜곡을 개선 시켜서 안정된 감쇠력 특성을 얻을 수 있으며 이



<그림 1> 모노 튜브 댐퍼의 구조 및 감쇠력 특성

에 따라서 차량의 조종안정성 및 승차감을 향상시킬 수 있다. 적용 사례를 살펴 보면 현대자동차가 국내 OEM에서는 최초로 2008년에 제네시스 쿠페에 모노 튜브 댐퍼를 적용하였으며 성능의 우수함으로 인해 향후 그 적용 차종이 계속적으로 증가할 것으로 예상된다.

해외에서는 중대형 차량의 프리미엄급에 모노 튜브 댐퍼를 널리 사용하고 있으며 현재는 소형급 차량에도 차량 성능 개선을 위해 장착이 되고 있다.

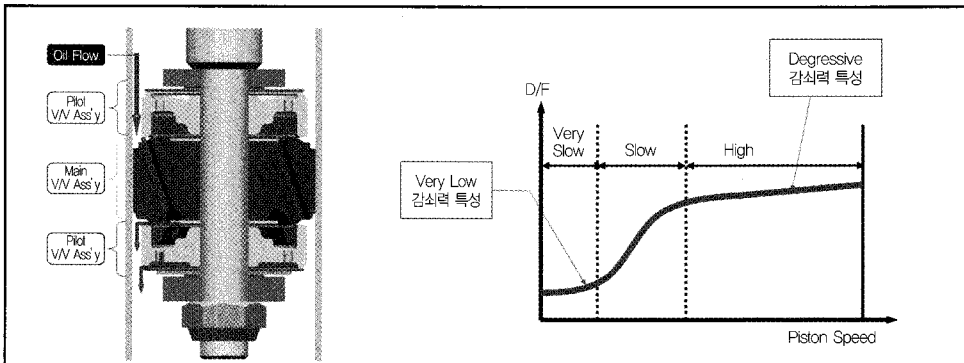
BMW	GM		Toyota	Ford	Opel	Hyundai
• E350 - Front/Rear	• Cadillac STS - Rear	• Cadillac SRX - Rear	• Lexus LS430 - Front / Rear	• Five Hundred - Front / Rear	• Vectra - Rear	• Genesis Coupe - Rear

<그림 2> 모노 튜브 댐퍼 적용 차량

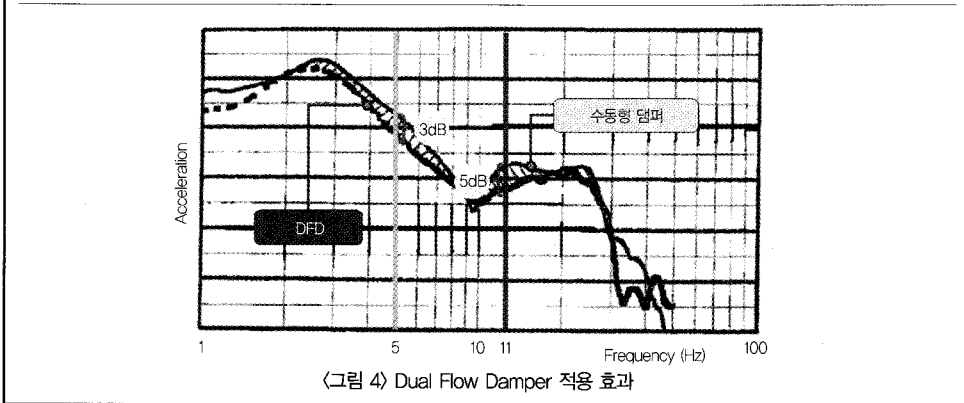
2) DFD (Dual Flow Damper)

기존의 감쇠밸브의 상부와 하부에 파일럿 밸브를 추가로 설치하여 댐퍼의 작동 속도에 따라서 감쇠력 특성을 지배하는 오일의 유로를 이원화 시켜 차량의 승차감과 NVH 성능을 향상 시킬 수 있다.

〈그림 4〉는 DFD 적용 효과를 나타낸 것인데 극 저속 구간에서는 감쇠력을 30% 저감하는 것에 의해서 5Hz 부근에서 약 3dB, 11Hz 부근에서 약 5dB의 차체에 전달되는 가속도 개인 감소 개선효과를 얻을 수 있고, 이로 인해서 차량의 접지성 및 NVH성능을 향상 시킬 수 있으며, 고속 영역에서는 감쇠력을 40% 저감시켜 둔 톱 통과 시 Impact Shock을 감소시켜 승차감 개선효과를 얻을 수 있다. 〈그림 5〉는 DFD 적용 차량을 나타낸 것이다.



〈그림 3〉 Dual Flow Damper 밸브 구조 및 감쇠력 특성



〈그림 4〉 Dual Flow Damper 적용 효과

업체	Skyline	FUGA	Fairlady	Infiniti EX35	Infiniti FX50
Nissan					

〈그림 5〉 Dual Flow Damper 적용 차종

3) 차고 조정식 댐퍼 (Self-Leveling Damper)

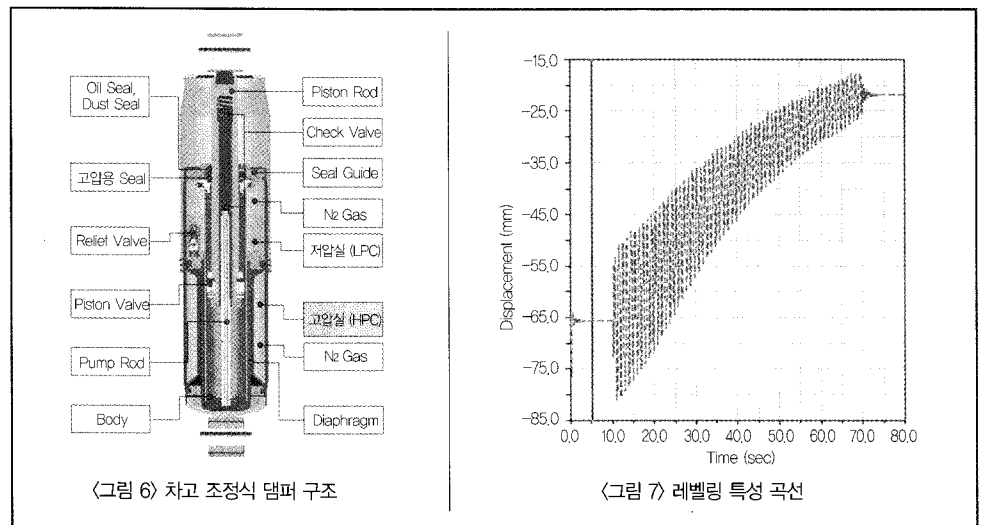
차고 조정식 댐퍼(Self Leveling Damper)는 적재 중량에 무관하게 후륜 차고를 일정하게 유지시키며, 이를 통해 전륜과 후륜의 Balance를 유지하여 승차감을 향상시키고, 전륜의 Toe와 Chamber 등의

변화를 최소화하여 조종안정성을 유지시켜 준다. 또한 야간 주행 시 헤드 램프 조사각을 일정하게 확보하여 야간 주행 안정성을 높여준다. 이 댐퍼는 차량이 주행 시에 발생하는 상하 방향의 운동에너지만을 이용하여 후륜차고를 상승시켜 지정된 차고를 유지시켜주는 댐퍼로 별도의 주변장치가 필요 없는 것이 장점이다. <표 1>은 차고 조정식 댐퍼와 일반 수동형 댐퍼의 기능 및 특징을 비교한 것이다.

<표 1> 차고 조정식 댐퍼와 수동형 댐퍼 비교

항목	차고 조정식 댐퍼	수동형 댐퍼
기능	<ul style="list-style-type: none"> 감쇠력 구현 적재 하중에 관계없이 후륜의 일정차고 유지 : 내압상승에 의한 반력 증대 승차감 및 안정성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 감쇠력 구현 적재 하중 증가 시 후륜의 차고 하강 승차감 및 안정성 저하 작동 스트로크 과다 발생 (Off-Road 주행 시)
내부압력	<ul style="list-style-type: none"> 초기 압력 : 20~30bar 작동 중 최대 압력 : 150bar 	<ul style="list-style-type: none"> 초기압력 : 5 ~ 7bar 작동 중 최대압력 : 25bar ↓
상부 Sealing	<ul style="list-style-type: none"> Step Seal : 최대압력 200bar 	<ul style="list-style-type: none"> Rubber Seal : 최대압력 10bar

<그림 6>은 차고 조정식 댐퍼의 구조를 나타낸 것인데, 댐퍼의 작동에 따라 펌핑 메커니즘이 작동하여 저압실에 있는 오일을 빨아 들어서 고압실의 외측에 있는 챔버로 이동 시킴에 따라서 고압실의 가스 체적이 줄어들 때 따라 압력이 증가하게 되고 이 압력에 의해서 차량의 중량 변화를 지지하여 항상 일정한 차고를 유지시켜 주게 된다. <그림 7>은 차고 조정식 댐퍼의 펌핑 작용에 의해서 차고가 변화하는 레벨링 특성 곡선을 나타낸 것이다. 43mm의 차고 상승을 위해서 약 60초의 시간이 걸림을 알 수 있다. 국내에서는 현대자동차 산타페, 기아자동차 소렌토, GM대우 윈스툼에 장착이 되고 있다. <표 2>는 차고 조정식 댐퍼의 성능 평가 지표를 나타낸 것이다.



〈표 2〉 차고 조정식 댐퍼의 성능 평가 지표

	차고 상승	차고 유지	차고 복귀
설계목표	2Km 주행 후 Leveling	24시간 방치 후 10mm 이하	Weight 제거 후 10초 이내
평가결과	<p>R/Height (mm)</p> <p>주행거리 (Km)</p>	<p>R/Height (mm)</p> <p>Time (Hr)</p>	<p>R/Height (mm)</p> <p>Time (Sec)</p>
	<p>▶ 2Km 주행 후 : 25mm ~ 35mm ↑</p> <p>▶ 4Km 주행 후 : 40mm ~ 48mm ↑</p>	<p>▶ 24시간 방치 후 : 4mm ~ 5mm ↓</p> <p>▶ 72시간 방치 후 : 9mm ~ 15mm ↓</p>	<p>▶ GWV-CVW로 하중 제거 시 : 2초 ~ 3초 후 복귀</p>

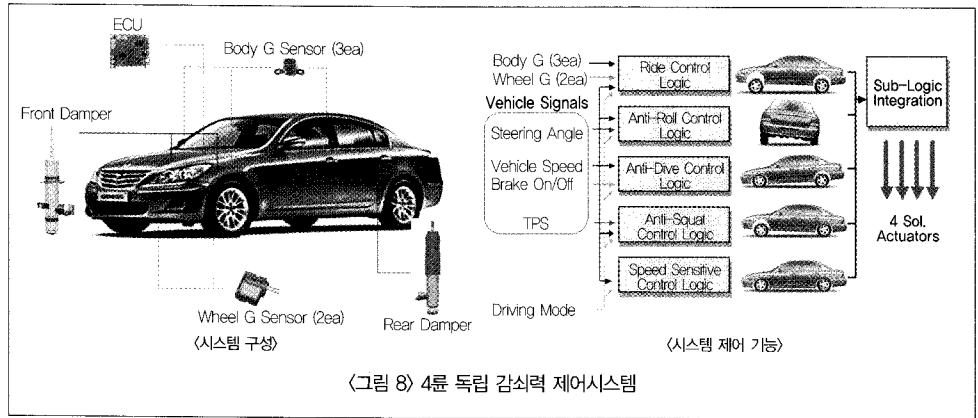
3. 감쇠력 제어 시스템

감쇠력 제어 시스템은 차량에 장착된 댐퍼의 감쇠력 특성을 주행조건에 따라서 변화시킴으로써 주행 안정성 및 승차감을 향상시키는 장치이다. 〈표 3〉은 현재 양산 적용되고 있는 감쇠력 제어 시스템을 정리한 것이다. 감쇠력 제어 시스템은 제어 방식에 따라서 Sky-Hook 제어 시스템과 Adaptive 제어 시스템으로 나눌 수 있다.

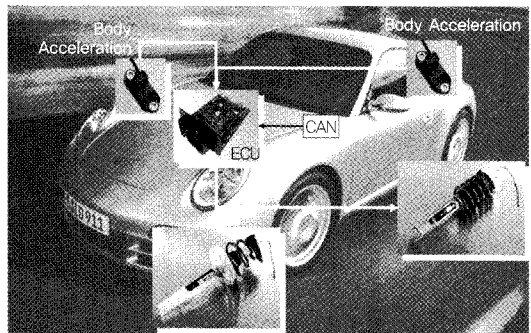
〈표 3〉 감쇠력 제어시스템 개발 현황

항목	만도	ZF Sachs	Delphi	Tenneco	Bilstein
형상					
시스템 명칭	SDC	CDC	MagneRide	CES	DampTronic
감쇠밸브	외장형 밸브	외장형/내장형 밸브	외장형 밸브	외장형 밸브	내장형 밸브
사용 센서 수	Body G : 3 Wheel G : 2	Body G : 3 Wheel G : 2	차고 센서 : 4	Body G : 3 차고 센서 : 4	Body G:2
제어 방식	4륜 독립제어 Sky-Hook	4륜 독립제어 Sky-Hook	4륜 독립제어 Sky-Hook	4륜 독립제어 Sky-Hook	전후륜 동시제어 Adaptive 제어

〈그림 8〉은 Sky-Hook 로직을 적용한 4륜 독립 감쇠력 제어 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 상기 시스템에 적용된 제어 알고리즘의 기본 원리는 주파수별 노면 입력 및 차체 거동에 따라 감쇠력을 적절하게 조절하여 승차감과 조종안정성의 최적화를 이루는 것이다. 차체의 수직 방향 거동과 관련된 승차감 제어부(Ride Control)는 5개의 수직 가속도 센서와 차속 입력을 받아서 Sky-Hook 방법을 이용해서 제어량을 결정한다. 횡 방향 제어를 수행하는 롤 제어부(Anti-Roll Control)는 조향각속도와 차속을 이

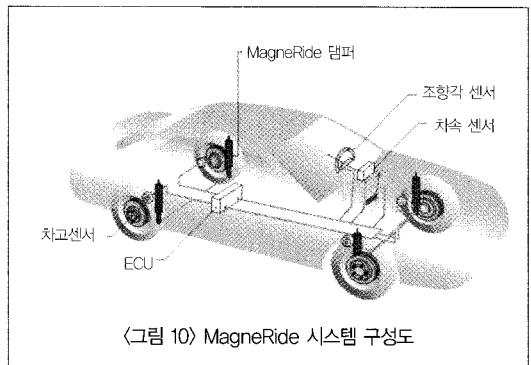


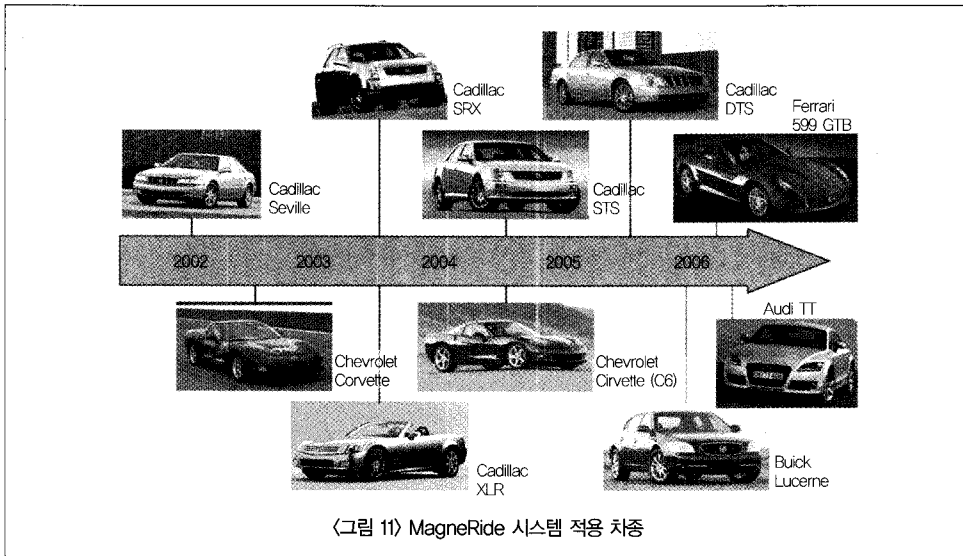
용하며, 종방향 제어인 다이브 제어부(Anti-Dive Control)는 브레이크 센서 정보와 차속 신호를 이용, 스퀴트 제어부(Anti-Squat Control)는 트로틀 위치 센서 신호를 이용한다. 또한 차속 감응부(Speed Sensitive Control)는 차속에 따라 감쇠력 증감폭을 달리하여 준다. 최종적으로 통합부(Integration)는 상기 각 제어부의 연산 결과를 제어 우선순위에 따라 슬레노이드 밸브를 구동하여 가변 댐퍼의 감쇠력을 연속적으로 제어한다. <그림 9>는 포르쉐 911에 적용된 Bilstein의 Adaptive 제어 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템은 차량의 전후부에 2개의 수직 가속도 센서를 설치하여 차량의 운동을 감지하기 때문에 4륜 독립제어가 아닌 전후륜의 감쇠력을 동시에 제어하게 된다. 센서를 2개만 사용하기 때문에 4륜 독립제어 시스템에 비하여 시스템의 가격 측면에서 장점을 가지고 있으나 성능면에서는 다소 불리하다고 할 수 있다.



(그림 9) 전 후륜 동시제어 감쇠력 가변시스템

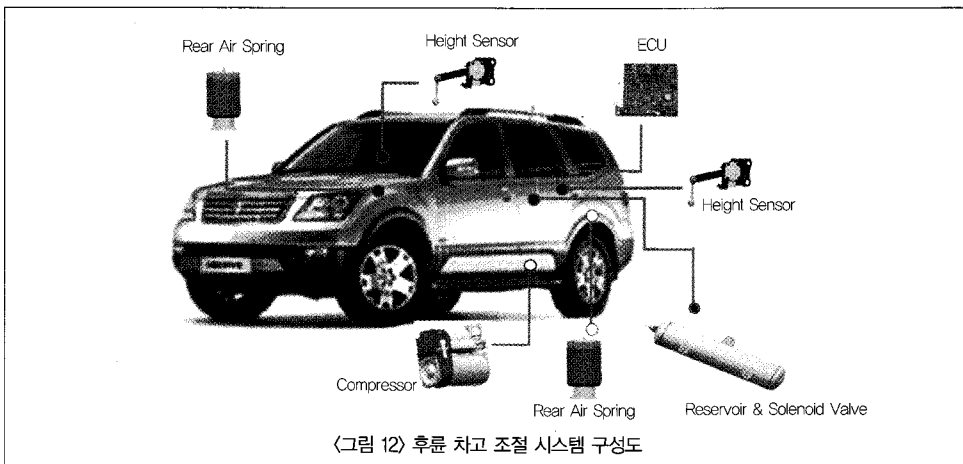
<그림 10>은 Delphi에서 개발한 MagneRide 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 이 시스템에 사용되는 연속 가변댐퍼에는 자기장의 세기에 따라서 감쇠력을 조절하는 MR(Magnetic Rheological) 유체를 적용하여 10msec 이내의 빠른 응답성을 실현하였으며 이로 인해 다른 완성차 업체에서도 MR유체의 적용을 검토 중에 있는 것으로 알려지고 있다. <그림 11>은 MagneRide 시스템 적용 차종을 나타낸 것이다.





4. 차고 조절 시스템

차고 조절 시스템은 차량 탑승 인원의 증감 및 화물 적재 유무에 따른 후륜의 차고 변화를 차고 센서를 통하여 감지하고, 후륜에 장착된 에어 스프링의 압력을 조정하여 일정 차고를 유지함으로써 차량의 승차감 및 조종 안정성을 향상 시키는 시스템이다. 적용된 주요 기능으로는 차고 조절 기능 외에 승차감, 조종안정성 및 편의성 측면에서 우수한 성능을 확보할 수 있다. 〈그림 12〉는 기아자동차 모하비에 장착된 후륜 차고 조절 시스템을 나타낸 것이며, 〈표 4〉는 이 시스템의 주요 기능을 나타낸 것이다.



〈표 4〉 후륜 차고 조절 시스템의 주요 기능

NO	기능	내용
1	차고유지기능	적재 하중과 무관한 후륜 설계 차고 유지
2	화물 적재성 향상	트렁크에 화물 적재 시 후륜 차고 40mm 하강
3	험로 주행성 향상	험로 통과 시 지면 접촉 방지를 위해 후륜 차고 40mm 상승

4륜 차고 조절 시스템의 최근 국내 양산 적용 현황을 살펴보면 국내 최고급 차종인 쌍용자동차의 체어맨 W, 현대자동차의 제네시스에 양산 적용하였으며, 타 완성차 업체에서도 4륜 차고 조절 시스템을 적용한 신차 개발을 검토 중이다. 〈그림 13〉는 현대자동차의 제네시스에 적용된 4륜 차고 조절 시스템을 나타낸 것이며 〈표 5〉는 이 시스템의 주요 기능을 나타낸 것이다.



〈표 5〉 4륜 차고 조절 시스템의 주요 기능

NO	기능	내용
1	차고유지기능	적재 하중과 무관하게 4륜의 설계 차고 유지
2	승차감 향상	부드러우면서도 (Soft & Smooth), 든든한 (Flat & Controlled) 승차감 확보
3	조종안정성 향상	조종안정성 향상 (Roll, Dive, Squat, High Speed)
4	험로 주행성 향상	험로 통과 시 차고 상승으로 지면 접촉 방지 (70KPH 이하)
5	화물 적재성 향상	트렁크에 화물 적재 시 후륜 차고 40mm 하강
6	승차 기능 향상	차량 승차 위해 Door Open 시 차고 30mm 상승

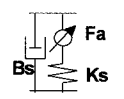
5. 능동형 시스템

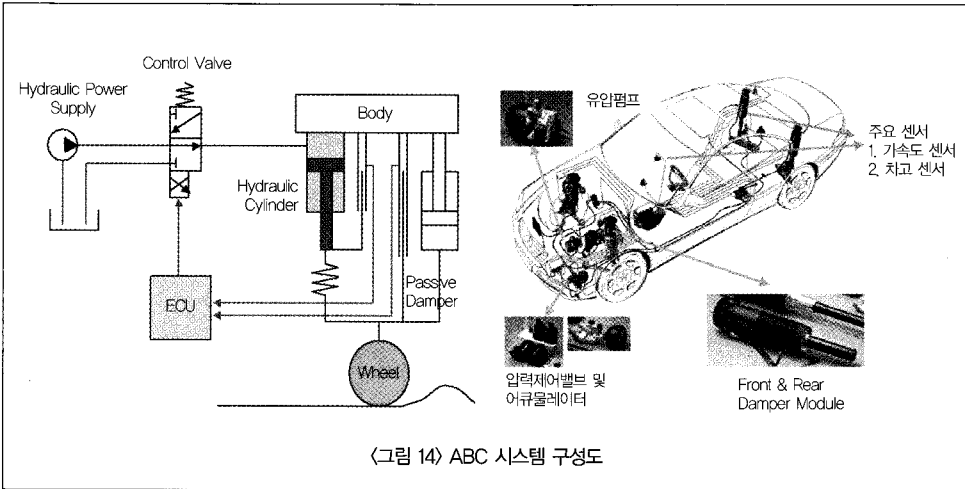
1) ABC 시스템 (Active Body Control System)

ABC 시스템은 1999년에 Daimler Benz에서 개발한 시스템으로서 승차감은 기존의 수동형 댐퍼를

사용하여 확보하고 유압 실린더를 사용해서 코일 스프링의 변위를 능동적으로 제어하기 때문에 자세제어는 물론 급속 차고 조절까지도 최대 5Hz까지 가능한 시스템이다. <표 6> 센서, ECU, 유압 실린더 등의 3개의 주요 부품으로 구성되어 있는데 차량의 운동을 감지하기 위해 총 9개의 센서(차고 센서 4개, 가속도 센서 5개)를 사용하며 각 휠에 장착된 유압 실린더를 사용하여 스프링의 변위를 제어하는데, 각각의 유압 실린더에는 압력 측정을 위한 압력 센서가 장착되어 있다. <그림 14>는 ABC 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

<표 6> ABC 시스템 개요

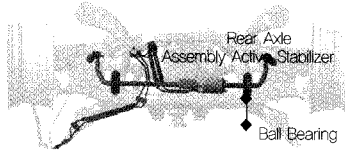
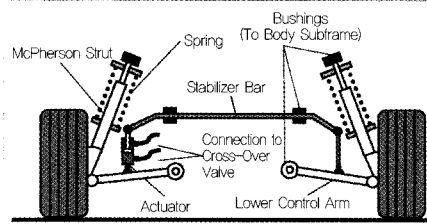
개발업체	구성부품	센서	구조	기능	비고
Daimler Benz	유압 펌프 비례제어밸브 유압 실린더	차고 센서 가속도 센서 압력 센서		차고 제어 자세 제어	수동 소자 사용 (Spring 직렬, 댐퍼병렬) : 유압실린더를 수동형 댐퍼와 분리시켜서 기본적인 승차감 확보



2) ARC 시스템 (Active Roll Control System)

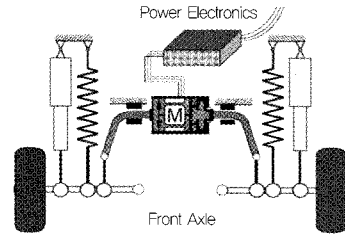
ARC(Active Roll Control) 시스템은 코너링 시 차량의 롤 제어를 목적으로 사용한다. <표 7>은 ARC 시스템 현황의 적용 현황을 나타낸 것이다. 이 시스템은 차량의 롤 강성을 제어하기 위해 Stabilizer Bar에 부가적인 유압 Actuator를 장착하는데 유압 Actuator의 작동 방식에 따라서 Rotary Type과 Linear Type으로 나눌 수 있다. 일반 주행 시는 Stabilizer Bar의 강성을 약하게 하고 롤 발생시는 Stabilizer Bar의 강성을 증대 시켜서 롤을 감소시키는 역할을 하게 된다.

〈표 7〉 Active Roll Control 시스템 현황

항목	유압식	
	Rotary Type	Linear Type
구성도		
적용 차종	<ul style="list-style-type: none"> • BMW 5, 6, 7 Series, X5 • Range Rover (Delphi) • Porsche Cayenne 	<ul style="list-style-type: none"> • Land Rover Discovery
개발업체	Sachs / Delphi	TRW / Delphi

〈표 8〉은 ARC 시스템의 최근 개발 현황을 나타낸 것이다. ARC 시스템은 유압 구동 방식에서 전기모터 구동 방식으로 변화하고 있는데 이미 도요타에서는 Lexus 차종에 양산 적용 중에 있으며, 타 부품 업체에서도 개발을 진행 중이다. ARC 시스템은 인간의 감성에 의존하는 다른 전자제어 현가장치와는 달리 소비자의 입장에서 시스템 적용 효과를 확실하게 느낄 수 있어서 상품성 측면에서는 효과가 있다고 판단되지만 확대 적용 여부는 낮은 시스템 가격과 차량에 장착을 용이하게 할 수 있는 컴팩트한 시스템 설계에 달려 있다고 판단된다.

〈표 8〉 전기모터 구동 방식 ARC 개발현황

항목	전기모터 구동 방식 (Rotary Type)
구성도	
적용 차종	<ul style="list-style-type: none"> • Lexus GS430, GS450h
개발업체	<ul style="list-style-type: none"> • Aisin
개발업체	<ul style="list-style-type: none"> • Roll 제어 : 1 degree at 0.5g • Stability 제어 : Understeer / Oversteer Compensation

5. 결론

이상에서 현가장치의 적용 및 개발 현황을 간략히 살펴보았다. 현가 장치는 수동형 댐퍼에서부터 능동형 현가장치에 이르기까지 다양한 기능을 갖춘 제품들이 개발 적용되고 있는데, 향후에는 차량의 주행 안정성 및 승차감 향상 등을 목적으로 능동형 시스템의 확대 적용 및 Suspension-by-Wire 등으로 더욱 진보해 나갈 것으로 기대된다. 또한 기존의 유압 제어 방식에서 전기 모터 구동 방식으로 기술 개발 방향이 변화하고 있기 때문에 이와 관련된 기술개발이 향후 과제로 예상된다.

〈이상열 전무 : sylee@mando.com〉