

현가와 조향장치에서의 유공압 시스템 적용 기술 동향

Trend of Fluid Power Technology in Suspension and Steering System of Automobile

장주섭 · 윤영환

J. S. Jang and Y. H. Yoon

1. 서 언

유압 시스템기술의 발전으로 인해 중장비와 같은 건설기계나 프레스, 큰 동력을 필요로 하는 많은 기계장치에 유압 시스템이 널리 사용되고 있다.

특히, 자동차에 사용되고 있는 유압은 오래전부터 확고한 위치를 차지하고 있다. 유압 충격흡수장치, 자동변속기, 동력조향 장치가 좋은 예라고 할 수 있겠다.

이들 유압 기술은 수동적(Passive) 요소에서 점차 능동적(Active) 시스템으로 발전되고 있으며, 또한 각각의 독립적인 요소가 아닌 자동차의 전체적인 개념으로서 시스템이 발전되어 가고 있다.

주행안정성에 관한 문제에서 우선적으로 새시시스템을 검토하게 된다. 이중 가변 댐퍼 외에도 능동시스템의 적용도 차량 유압기술에 새로운 장을 열고 있다. 하지만 능동시스템의 적용은 원가문제와 소비자의 요구에서 나타나는 장단점으로 인해 아직도 국내 차량에 적용하는 것은 검토 중에 있다. 그러나 능동형 시스템은 주행 성능에 탁월한 시스템의 주행안정성과 승차감 향상을 보장하고 있다. 현실적으로 볼 때 완전한 능동현가장치 보다는 유압과 공압이 적절히 조화된 장치가 현재 주행되고 있는 차량에 적용되고 있다.

조향 시스템은 안전에 매우 민감한 것이기 때문에 시스템에 대한 기술적인 요구 조건은 매우 높다. 많은 차량의 전륜에는 유압 동력 조향시스템이 적용되어 있고 일부 해외차종에서는 후륜에도 유압을 적용한 조향 장치가 적용되어 있어 차량의 주행안정성은 높아졌으나 많은 경우 원가문제 때문에 국내 차량에서는 적용을 미루고 있는 것으로 판단된다.

이러한 현가 및 조향장치가 우리들이 사용하는 자동차에 어떻게 적용되어 있는지를 몇 가지로 구분하여 구체적으로 시스템의 작동원리와 적용 현황을 알아보려고 한다.

2. 현가장치에서 유압 적용

2.1 반 능동식 현가장치

본 시스템은 적응제어식과 능동식 현가시스템의 장점을 취합하여 능동형 시스템 보다 저렴한 보급형 전자제어 현가 시스템으로 제안 및 개발되어 1994년부터 일본에서 양산 적용(Nissan, Toyota, 등에서)되기 시작한 제품이다. 시스템의 제어 방식은 능동형 시스템과 유사하며 가변기구는 에너지 소모가 거의 없고 중량에 대한 부담도 거의 없다. 그 대신 능동형 시스템에서 제공하던 차체의 자세제어 기능은 수행이 불가능하며 차체운동제어 및 승차감 제어 등으로 기능이 제한된다.

본 시스템에서 중요시되는 기술은 감쇠력을 다단 또는 연속적으로 실시간 제어할 수 있는 감쇠 기구(Damping mechanism)의 구현이다.

Sky-Hook 감쇠 알고리즘에 의하면 요구 감쇠력은 차체의 상하 운동속도와 차륜과 차체의 상대운동속도에 의해 아래와 같이 결정된다.

Table 1 Sky-Hook 감쇠 알고리즘

| | | 차체의 운동(2Hz 이하) | |
|-----------------------|------------------|----------------|------|
| | | Up | Down |
| 차륜과 차체의 상대운동 (10Hz이상) | Compression (압축) | Soft | Hard |
| | Extension (인장) | Hard | Soft |

Table 1 에서와 같이 감쇠력은 차체의 운동 및 차륜과 차체의 상대운동에 관련하여 4가지의 경우를 판단하여 감쇠력을 적절히 제어하여야 한다. 그러나 차륜의 운동은 위에 나타낸 것과 같이 10 Hz 이상의 빠른 운동이기 때문에 이에 실시간으로 대처하기 위해서는 감쇠력 전환 장치가 10msec 이하의 매우 빠른 응답특성을 갖지 않으면 안 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 차체와 차륜의 상대운동에

의한 빠른 감쇠력 절환은 감쇠기 내부의 밸브 기구에 의해 기계적으로 될 수 있도록 한 장치(Reverse damping mechanism)가 개발되었다. 즉 감쇠기의 압축(Compression) 과 인장(Rebound) 행정시에 감쇠력특성을 별도로 제어 할 수 있는 기구가 제안되어 성능(특히 승차감 성능)을 더욱 향상시킬 수 있다. 이러한 감쇠력 절환 장치를 사용하는 경우 Table 1 에서 보인 바와 같이 비교적 느린 응답특성을 갖는 차체의 상하운동만을 감지하여 감쇠력특성을 제어하기 때문에 감쇠력 절환을 위한 액추에이터(스텝 모터, 비례 또는 On-off 솔레노이드)의 응답특성이 크게 문제되지 않는다. 또 하나의 장점은 차체와 차륜의 상대운동을 측정하기위한 센서가 필요 없기 때문에 시스템가격을 낮출 수 있다는 것이다.

아래의 Fig. 1은 스텝모터로 구동되는 Reverse damper의 구현 예를 보이고 있다. 물론 감쇠력 제어 밸브의 크기가 커져 댐퍼의 전체 행정의 크기를 제한하고 있는 것은 사실이지만 현가 시스템 초기 설계단계에서 고려된다면 큰 문제가 발생하지 않을 것으로 생각된다. 또한 최근에는 비례 또는 On-off 솔레노이드 액추에이터로 구동되는 시스템들도 등장하고 있다. Fig. 2는 적용된 사례를 나타낸다.

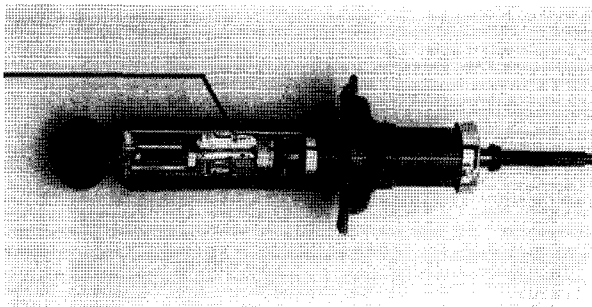


Fig. 1 연속가변댐퍼(스텝모터 구동형- Reverse damping 가변구조) [SAE 940863]

또 하나의 감쇠력 가변장치로 Fig. 3에 나타낸 전기장이나 자기장의 크기에 따라 특성이 변하는 ER (Electro-Rheological) 또는 MR (Magneto-Rheological) 유체를 이용하여 감쇠력을 제어하는 방식이 활발히 연구되고 있다. 이 방식은 기존에 기계적인 밸브구조의 가변에 의한 방식의 한계인 반응시간을 10 msec 이하로 구현 할 수 있고, 간단한 밸브 구조를 장점으로 들 수 있다. 그러나 유체특성의 제어 범위, 보존성(침전, 증발), 신뢰성(유체특성

안정성, 내구성) 등 해결해야할 문제가 산적해 있는 실정이며 최근 캐딜락에 적용되었으며 해외의 유수 업체에서 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있어 조만간 성과가 기대 되고 있다.

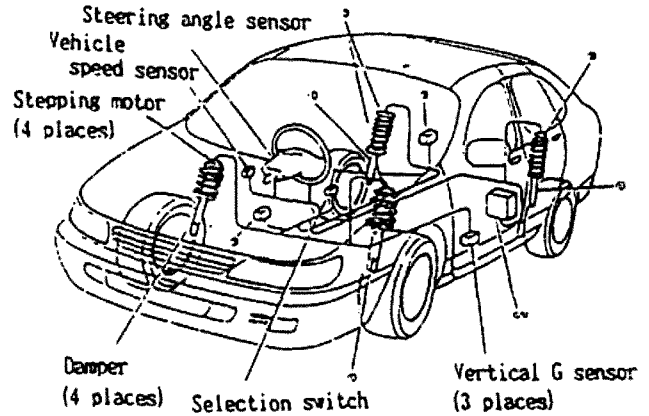


Fig. 2 Nissan의 Semi-Active suspension 시스템 [AVEC '94 #058, SAE 9438484]

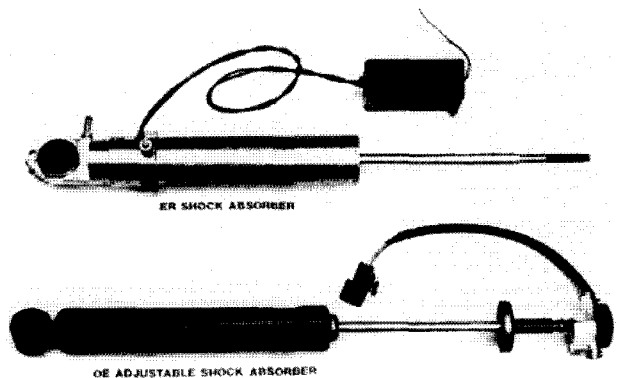


Fig. 3 ER 유체이용 가변 댐퍼 구현 예[SAE 920275]

2.2 수동식 선택방식 현가장치

이 방식은 운전자에게 현가장치의 특성을 변경시킬 수 있는 버튼(Button)을 제공하여 운전자의 취향, 주행상태, 노면의 특성, 교통 환경 등의 판단에 의해 운전자가 직접 특성을 선택할 수 있게 하는 시스템이다. 이 시스템은 과거에 수동식으로 각 차륜의 감쇠력을 조정할 수 있게 한 댐퍼를 장착한 차량의 경우 정차 상태에서 운전자가 하차하여 수동으로 감쇠력을 가변시킨 시스템을 전자화한 것이다. 이 시스템은 자동차를 운전하는 일반대중을 위한 것이라기보다는 운전 경험이 풍부하고 운전 상태에 따라 필요한 현가장치의 특성에 대한 감을 습득한 운전자의 경우에만 유효한 시스템이다.

2.3 적응제어식 현가장치

이 시스템은 앞서 수동식 선택방식의 발전된 형태로서 운전자의 판단을 전자제어 장치가 대신 수행하는 형태이다. 즉 운전자의 조향핸들(Steering handle)조작, 브레이크페달(Brake pedal) 조작, 가속페달(Accelerator pedal) 조작 등의 운전행위를 센서를 통해 판단하여 운전자의 운전 편의성을 제공해주며 차체의 운동 감지를 위한 가속도 센서 등을 이용 차체의 운동을 적응적으로 제어하는 방식이다. 이 시스템의 특징은 4륜의 현가장치의 특성을 동시에 제어한다는 것이며 일부 발전된 시스템은 전 후륜의 특성을 독립적으로 제어하는 방식도 있다. 또한 가변 대상을 댐퍼로만 국한하는 경우와 가변가능한 공기식 스프링을 사용하여 현가장치의 강성(Stiffness)까지도 제어 대상으로 하는 시스템도 등장하였다. 이 시스템은 노면의 상태나 운전자의 거동을 몇 가지의 상황(특성가변 단수와 같음)으로 분류하여 가변 가능한 현가장치 특성과 일대일 대응시켜주는 방식으로 제어 시스템이 구성된다. 이 경우 주행 상황의 분류를 위해 수많은 시험 또는 시뮬레이션을 수행한다. 기존의 방법은 상황분류를 위해 특정 센서 값의 범위로서 연산식을 만들어 IF, Then 방식의 조건식을 주로 사용하였으나 최근에는 퍼지(Fuzzy)나 신경망(Neural network) 이론을 도입하여 인간의 판단이나 추론과정을 모사하는 시스템이 제안되고 있다. Fig. 4에는 차고센서를 이용한 노면감지 제어 시스템인 토요타의 TEMS 시스템을 나타내었다.

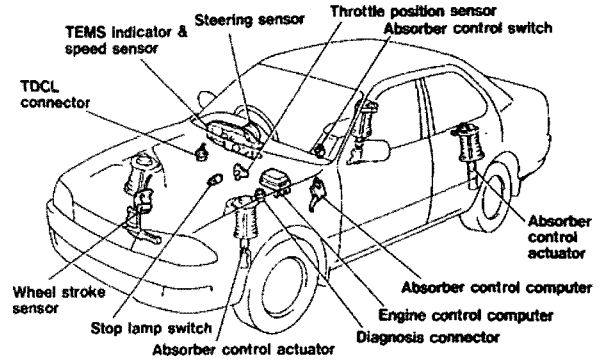


Fig. 4 Toyota의 TEMS 시스템(차고센서 이용한 노면감지 제어시스템) [SAE 911900]

2.4 능동식 현가장치

앞서 3가지 시스템은 현가장치특성의 가변을 위해 가변 가능한 감쇠기(Damper)나 스프링(Spring) 요소를 사용하였다. 이 경우 전자제어식 현가시스템은 차량 내부에서의 에너지 흐름을 적절히 제어한다는 수동적인 입장의 제어 역할을 하였다. 즉 노면을 통해 차륜으로 전달되는 충격 에너지를 감쇠기를 통해 한꺼번에 흡수할 것인지 일단 차륜 및 차체의 운동에너지와 스프링에 위치 에너지 형태로 저장하였다 시간을 두고 감쇠기가 흡수하게 할 것인지를 판단을 통해 에너지의 흐름을 조절하는 방식의 시스템이다. 그러나 능동식 현가 시스템은 차량 내부에 에너지 발생장치(예: 유압펌프)를 두어 차체와 차륜의 움직임 및 자세를 능동적으로 제어 하고자 하는 방식이다.

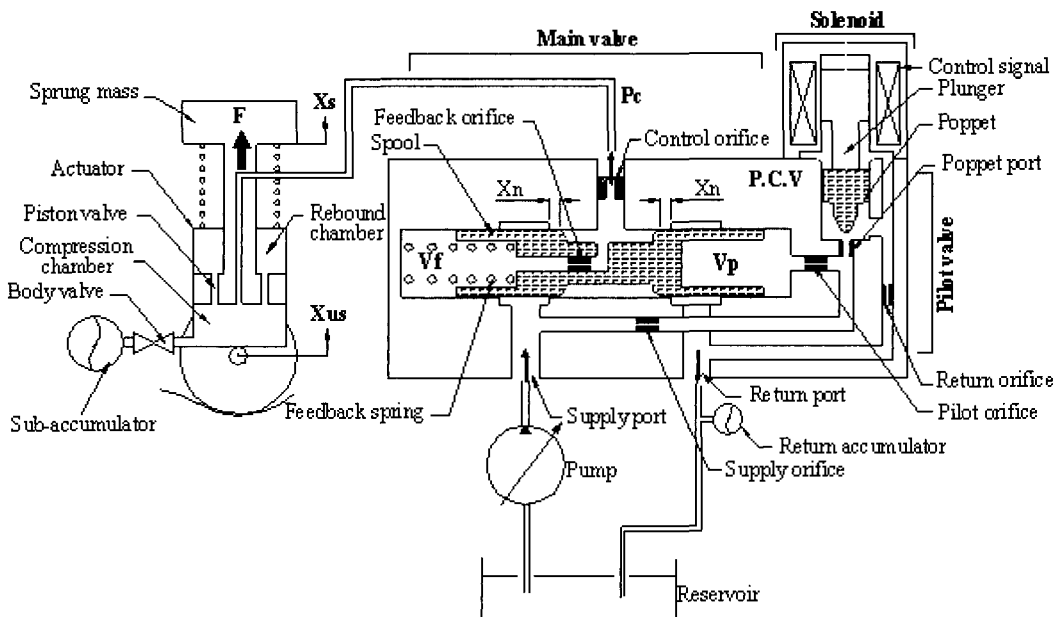


Fig. 5 Active suspension 시스템의 유압회로(1/4 Car)

이것을 위해 보통은 유압식 에너지원(엔진에 의해 구동되는 유압펌프)을 사용하나 최근에는 전기모터를 액추에이터(Actuator)로 사용한 방식도 제안되고 있다. Fig. 5에는 비례압력제어 밸브가 적용된 유압을 에너지원으로 사용하는 능동식 현가장치의 유압 회로도를 1/4차량에 대하여 나타내었다. 앞서 두 시스템(적응제어식, 반 능동식)이 차량운동(Vehicle motion)의 제어에 중점을 둔 시스템이라면, 본 시스템은 차체 자세의 제어에 중점을 두고 있다. 가장 상식적인 예를 들면 일정 반경을 갖는 원형 주행 코스를 주행하는 경우 일반차량은 원심력에 의해 선회 바깥쪽으로 기울어짐(Roll)이 발생한다. 여기에 능동식 현가장치를 설치하면 기울어짐을 영(Zero)으로 만든다든지 더 나아가서 선회반경 안쪽으로 기울어지는 제어(Negative roll control)도 가능하다

제어를 하기위한 에너지원을 별도로 필요로 하기 때문에 동력의 손실, 차량 중량 증가 등의 문제점을 내포하고 있지만 일본에서는 1990년 초반에 일부 대형차에 적용 양산한바있다. 그 이유는 앞서 언급한 문제점에 비해 시스템이 갖는 잠재적인 성능 향상 가능성을 십분 인정한 결과이다. 이 시스템은 차체의 기울어짐(Roll & Pitch)을 직접 제어할 뿐만 아니라 각 차륜의 접지력 배분을 능동적으로 수행함으로써 선회 주행시 차량의 요우(Yaw)방향의 운동 안정성을 확보해 줄 수 있다는 장점을 갖는다. Fig. 6에는 서보 밸브를 사용하여 응답성을 빠르게 설계한 능동형 현가 시스템을 나타내었다. 이 시스템은 Lotus사에서 경주용 자동차의 현가장치에 적용한 것으로 매우 고가이고 작동유의 관리가 어려워 일반 자동차용으로 상품화에는 성공하지 못했다.

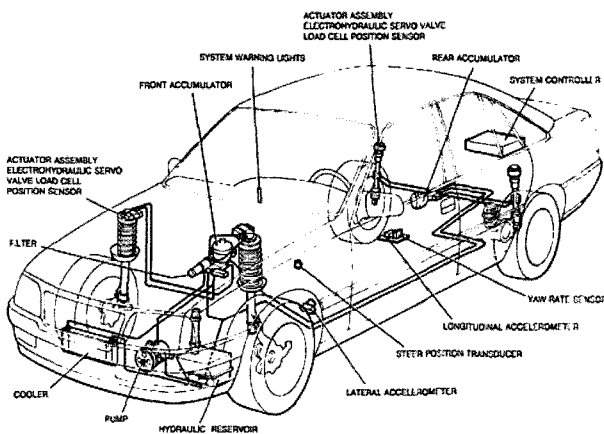


Fig. 6 Lotus 사의 Active suspension 시스템 (서보밸브 사용한 고속 반응 시스템) [SAE 930266]

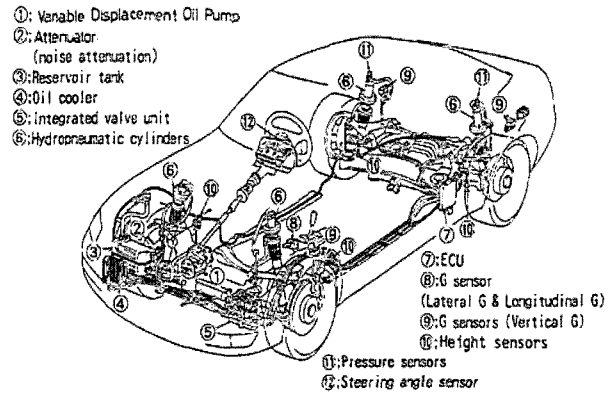


Fig. 7 Toyota 사의 Active suspension 시스템 (저주파 감응형 시스템) [SAE 920269]

반면에 Fig. 7에 나타난 저주파 감응형 시스템은 Toyota사에서 차량에 장착하여 시판하고 하고 있는 시스템이다. 하지만 이런 시스템들은 성능에 비하여 가격이 비싸기 때문에 국내에서는 현재까지 적용된 차량은 없고 좀 더 저렴한 방식으로 차량에 적용되고 있다. 즉 유압은 감쇠력 제어 장치에만 사용하고 있고, 압축 공기는 차고제어와 공기스프링을 사용할 수 있도록 공급하는 것으로 유공압을 동시에 사용하는 반 능동형 시스템이 적용되어 사용되고 있다.

2.5 능동형 롤 제어 현가장치

앞에서 나타난 현가시스템은 감쇠력과 차고를 제어하기 위한 고가의 장치이다. 그러나 선회시 차고가 높은 자동차의 경우 롤 오버가 발생하여 전복의 위험요소가 발생할 여지가 있고 선회안정성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 이와 같이 차량의 롤링을 억제하기 위한 장치의 명칭을 능동 롤 스테빌라이저(Active Roll Stabilizer(ARS)) 혹은 동역학적인 구동기(Dynamic drive)가 개발되어 장착되고 있다. 특히 상품화가 진행된 것은 2001년도에 BMW의 7시리즈에 먼저 장착되었고 그 이후 5, 6시리즈에도 장착되었다. 이것은 Fig. 8에 나타난 것과 유사한 로터리 액추에이터를 사용하는 방식으로 차량의 자세 제어에 이용되었다, 또한 Fig. 9에 나타난 것과 같은 실린더 액추에이터를 사용하는 방식으로 TRW사에서 개발하고 있다는 것을 최근에 유럽에서 기계와 관련된 학회에서 발표하였다. 이런 시스템을 채택함으로써 Fig. 10에 나타난 것과 같이 정상원 선회시 미장착 시스템에서는 최고 횡방향 가속도가 0.7g 정도였으나 ARS시스템을 적용하였을 때에는 0.9g정도까지 가능함을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8과 Fig. 9에 나타난 유압을 제어하는 방식은 매우 유사

하고 롤을 억제하는데 사용되는 최종 작동부품만이 차이가 남을 알 수 있다.

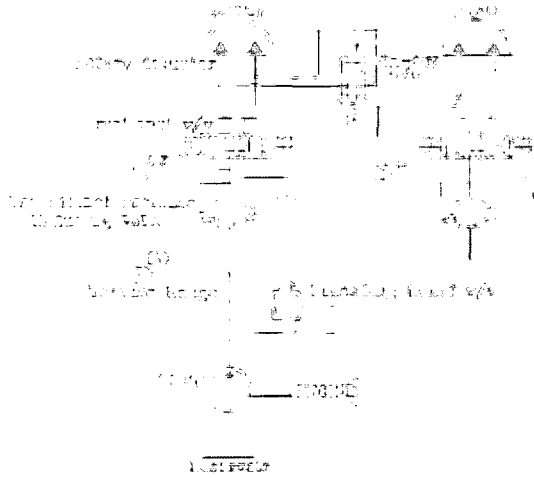


Fig. 8 ARS system의 유압회로

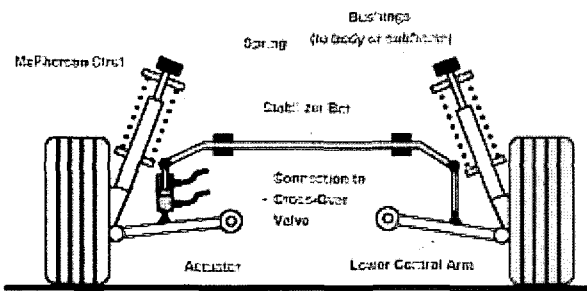


Fig. 9 Active Roll Control(ARC)의 구조도

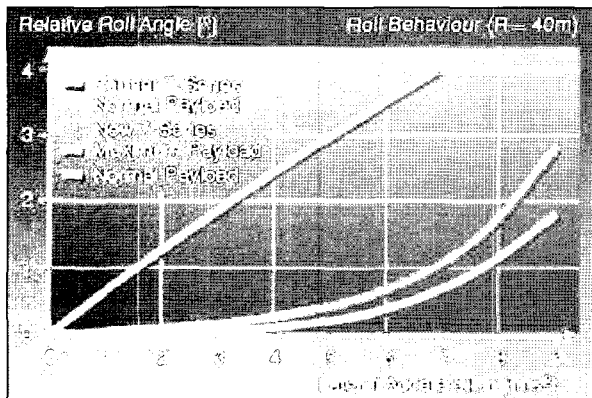


Fig. 10 ARS system에 의한 롤 각도의 감소

3. 조향장치에서 유압 적용

3.1 감도제어식 전자제어 조향장치

기존의 Power steering은 주차나 저속에서는 작은 Steering effort를 제공하고, 고속에서는 주행 안

정성과 Road feeling을 얻기 위해서 큰 Steering effort를 제공하도록 개선될 수 있다. 하지만 실제로는 소비자가 원하는 Steering effort를 항상 제공할 수는 없다. 지난 수년 동안 이러한 차속 감응형 조향 시스템에 대한 필요성이 여러 가지 형태의 혁신적인 조향력 가변 시스템의 개발을 유도하여, 현재 이러한 시스템들이 국내의 고급차량이나 유럽 미국, 일본 등의 완성차에 적용되고 있다.

감도제어식 전자제어 조향장치는 차량의 주행 속도에 따라 파워 스티어링의 밸브 개도를 제어함에 따라 주, 정차 및 저속시에는 핸들의 조향력을 가볍게, 또한 중, 고속시에는 핸들의 조향력을 무겁게 하여 운전자에게 경쾌하고, 안정된 핸들 조향력을 제공하게 된다.

그리고 차속, 조향각 및 각속도를 감지하여 현재 차량의 주행 조건, 즉 시가지, 산악로, 비포장도로 등을 판단하여 최적의 상태로 제어되도록 로직을 구성함으로써 안정성 및 편리성을 도모하는 시스템이 개발되어 국내의 일부 고급차량에도 이런 조향 시스템이 사용되고 있다.

3.2 차속 감응형 전자제어의 방식

차속 감응형 유압 Power steering의 대표적인 구조는 아래에 나타낸 3종류로 분류할 수 있다.

3.2.1 반력 제어 방식

메인 압력에 반응하는 반력의 압력으로 입력축을 구속하여 필요한 Torque를 얻는 방법으로 제어 특성이 가장 우수하여 국내의 고급차량에 많이 장착된 시스템으로 Fig. 11에 대표적인 구조와 작동회로를 나타내었다.

3.2.2 유량 제어 방식

유량 제어 밸브를 이용하여 로터리 밸브 축으로 공급되는 유량을 조정하여, 로터리 밸브의 유량 특성 범위 내에서 필요한 Torque를 얻는 방법으로 응답성이 빠르지 않아 국내의 일부 차종에만 적용되어 사용되고 있는 시스템으로 Fig. 12에 나타내었다.

3.2.3 감도 제어 방식

유량 특성이 다른 복수의 밸브를 조합하여 요구되는 Torque를 얻는 방법으로 밸브의 구조가 다른 방식에 비해 복잡한 구조로 Fig. 13에 유압 회로도 와 작동 방식을 나타내었다.

3.3 동력조향 펌프시스템

동력 조향 시스템을 위한 펌프가 갖추어야 할 사항으로 작은 크기와 적은 무게, 저맥동, 저소음 특성을 가지고 있으면서 대량생산에 적합하여야 한다. 또한 회전수가 1000rpm이상으로 되어도 공급되는 유량은 일정하게 공급하는 유량제어밸브와 설정압력 이상이 되면 펌프로 재순환 시키는 압력제어밸브가 장착되어 있다. 일반적으로 승용차에 사용되고 있는 펌프의 사양으로 압력은 80~150bar이고 유량은 4~12cc/rev, 작동 회전수 범위는 500~7000rpm, 온도 범위는 -40℃에서 120℃까지이고 압력 맥동은 평균 토출압력 크기의 3%이내에 있어야 하고, 소음은 느낄 수 없을 정도로 작아야 되고 에너지 소비량은 가능한 한 최소가 되는 시스템이 요구되고 있고 현재 사용되고 있는 범위이다. 자동차에는 가격이 상대적으로 비싼 가변용량형 보다는 비교적 저렴한 정 용량형 펌프가 사용되고 있다. 사용되고 있는 펌프의 종류로는 기어펌프, 볼 타입 베인펌프, 레이디얼 피스톤펌프, 베인펌프가 사용되고 있으나 다른 펌프에 비하여 압력 맥동 특성이 우수한 베인펌프가 가장 많이 사용되고 있다.

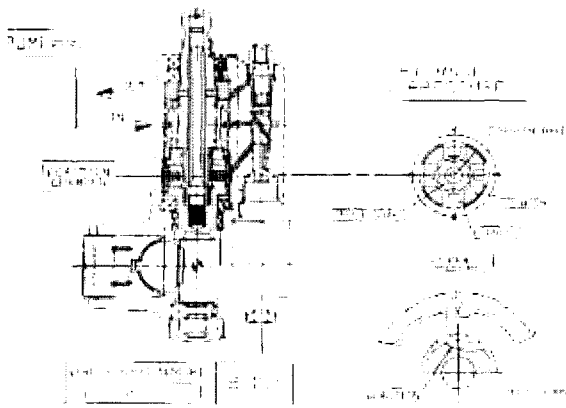


Fig. 11 반력 제어 방식의 작동 회로도

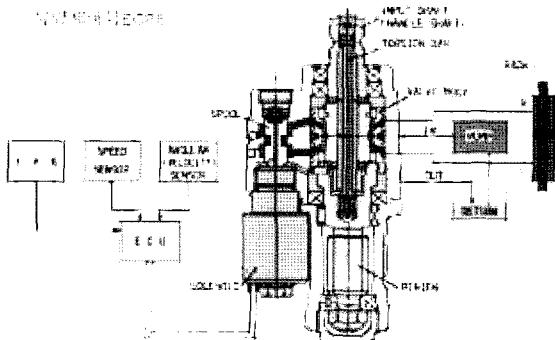


Fig. 12 유량 제어 방식의 작동 회로도

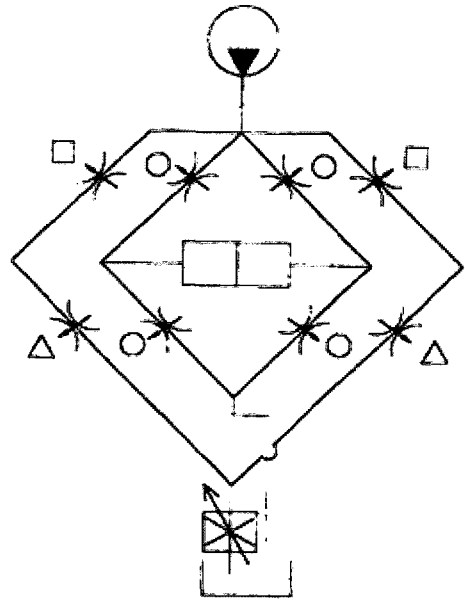


Fig. 13 감도 제어 방식의 작동 회로도

3.4 EHPS 시스템

기존에는 엔진의 출력을 이용하여 동력 조향장치의 유압 공급원으로 사용하였으나 엔진과 조향장치 사이에 연결되어 있는 동력공급 장치를 전기 모터를 이용하여 유량을 발생시키는 방법으로 변환 (Electric Hydraulic Power Steering)한 시스템이다. 이것은 다음과 같은 몇 가지의 장점을 가지고 있다.

- 자동차의 연료 소비량을 감소시킨다.
- 속도에 비례적으로 동력이 공급된다.
- 동력 조향장치의 모듈이 미리 조립된다.
- 차량에 장착이 쉽고 로직변경이 간단하다.

이런 이유로 최근에 유럽의 TRW사에서는 EHPS 시스템을 개발하여 판촉활동을 벌이고 있는 것으로 알려져 있고, 세계적인 자동차 생산 메이커인 BMW사에서 개발된 시스템을 Fig. 14에 도식적으로

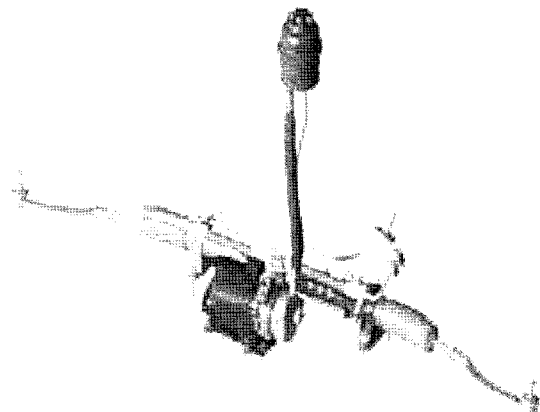


Fig. 14 BMW사의 차량에 적용된 EHPS 시스템

로 나타내었다. 또한 본 시스템을 차량에 장착하여 해석과 실험을 수행한 연구의 일부의 예를 Fig. 15에 나타내었다.

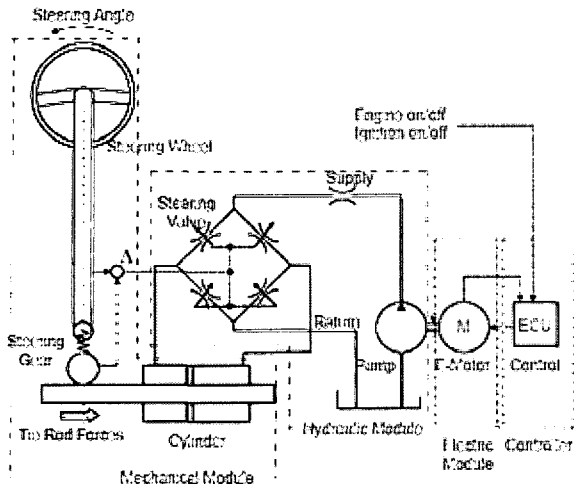


Fig. 15 EHPS 시스템의 모델링 예

4. 향후 동향

자동차의 현가 및 조향장치와 관련하여 유압제어에 응용된 제품의 특징을 보면 큰 동력의 발생과 소형화를 추구하여 왔으나 점차 에너지 소비의 저감과 환경문제에 많은 관심을 두고 새로운 시스템이 개발되고 있는 것이 현실이다.

지금까지 자동차의 많은 부분에서 사용되고 있는 유압 시스템은 전동모터와 관련된 액추에이터 시스템의 비약적인 발전으로 소형 승용차를 필두로 점차 전동식으로 변경되어 가고 있는 실정이다.

그러나 많은 동력을 필요로 하는 현가장치는 차체의 중량으로 인해 감쇠력 제어는 무단연속제어로 발전할 것이고 차고제어나 차체를 지지하는 시스템은 공기압을 이용하는 시스템으로 Semi Active suspension system으로 발전할 것으로 판단된다. 그러나 현재까지 발전되어온 전동모터의 기술로 높은 출력의 동력을 낼 수 없기 때문에 중형 승용차 이상과 상용차에는 향후에도 당분간은 유압을 이용한 조향 시스템이 계속 적용될 것으로 생각된다.

참고 문헌

1) P. Pfeffer and M. Harrer, "Modelling of an

Electro-Hydraulic Power Steering", PTMC2005 발표자료

- 2) TRW, "Electrically Powered Hydraulic Steering EHPS", www.treauto.com 자료
- 3) 장주섭, 이상호, "승용차의 차량 롤 제어를 위한 시스템 구현" 한국자동차공학회논문집, 제5권 제5호, pp. 20~26. 1997.
- 4) 장주섭, 윤영환, "차량 능동현가장치용 비례압력 제어밸브의 설계변수 최적화에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A권, 제22호 제9호, pp. 1664~1674. 1998.
- 5) 윤영환, 장주섭, 최명진, "유압액추에이터를 고려한 능동 현가장치용 비례압력제어밸브의 해석과 개발", 한국자동차공학회논문집, 제8권, 제6호, pp. 111~121, 2000.
- 6) 심정수, 윤영환 외 다수, "무단가변댐퍼개발 개발 보고서", 만도기계(주) 중앙연구소, 1992.

[저자 소개]

장주섭(책임저자)

Email: jsjang@kyungwon.ac.kr

Tel : 031-750-5652

1960년 5월 15일생



1987년 경희대학교 기계공학과 학사, 1989년 동대학원 석사, 2000년 동대학원 박사 과정 졸업, 2004. 2~2005. 2 독일 아헨대학교 IFAS Post. Doc. 1988. 11~1996. 2 만도기계(주) 중앙연구소 선임연구원, 1996. 3~현재 경원대학교 기계자동차공학과 교수, 관심분야는 자동차와 중장비의 유공압시스템 제어 및 요소부품 설계기술, 시스템 자동화 및 계측제어분야, 공학박사

[저자 소개]

윤영환

Email: yhyoon@shinho-systems.co.kr

Tel : 031-608-0434

1967년 9월 17일생



1991년 부산대학교 기계공학과 학사, 석사 졸업, 1990~1999년 만도기계 선임연구원, 2002년 경희대학교 박사 졸업, 1999~현재 (주)신호시스템 이사, SIL & HIL 시스템 개발에 종사, 유공압 시스템학회 편집위원, 자동차공학회 회원, 공학박사