ABS Modulator 설계 변천사 및 개발 방향

Development and Design History for ABS Modulator

황 인 용 / 만도 수석연구원
In Young Hwang / Mando Corporation

윤 현 섭 / 만도 연구원
Hyun-Sup Yun / Mando Corporation

1. ABS 개요

미끄러운 노면이나 눈길에서 강하게 브레이크를 밟으면 차체는 주행하고 있는 것에 상관없이 차륜의 회전이 정지하게 된다. 이 상태를 차륜의 잠김이라고 한다.

차륜의 잠김이 발생하면 타이어의 횡방향 마찰력이 없어지고, 조향을 행하여도 차체가 회전하지 않게 되며, 똑바로 정지하려고 해도 차체가 여진을 일으키고 원하지 않는 선회를 하게 된다. 즉, 목전에 장애물이 돌출하게 되면 급 브레이크를 하게 되고 동시에 조향을 행하여 장애물을 피하려 하지만 어렵게 된다.

ABS (Anti-lock Brake System) 는 이러한 상황에서 제동을 행하면서 조향을 실시하여도 적절한 제동성능과 조향성을 확보하고 차체의 여진을 일으키지 않는 것을 목적으로 한 안전 시스템이다. 승용차용 유압식 ABS는 일반적으로 차륜 속도 센서, 전자식 제어장치인 ECU (Electronic Control Unit), 유압식 조절기인 HCU (Hydraulic Control Unit)로 구성되어 있다.

ABS의 원리를 간단하게 논술하면 급제동시에 있어서 어떠한 노면이 미끄러지기 쉬워도 차륜의 잠김 상태를 확실하게 방지해 타이어의 마찰력을 확보하고 동시에 브레이크의 효과도 최대한 확보할 수 있도록 차륜의 미끄러짐 상태를 제어하는 것이다.

2. Modulator 설계 변천사

ABS는 지난 1980년대에는 전세계에 10개 이상의 업체가 존재하였지만 계속되는 가격 경쟁과 신기술 경쟁으로 인하여 현재는 전세계에 6개 업체만이 존재하게 되었다. ABS 기능을 수행하기 위한 유압 Modulator도 가격 절감, 안정성, 다양한 차량 제어 기술에 적합한 방식으로 설계가 바뀌어 왔다. 다음은 Modulator 설계에 관한 주요 변천사를 알아보고자 한다.

2.1. 유압 회로 방식

1980년대 ABS 시스템을 구현하기 위한 유압 회로 방식은 크게 두가지가 있었다.

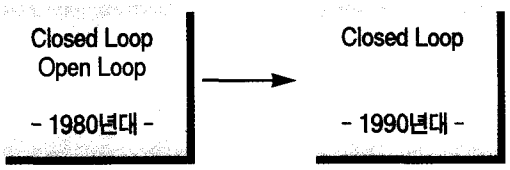
Open Loop System과 Closed Loop System이 있었으나 안정성에서 우위를 가진 Closed Loop System이 1990년대 이후에는 주류를 이루게 되었다.

1) 유압 회로가 외부와 연결된 OPEN LOOP

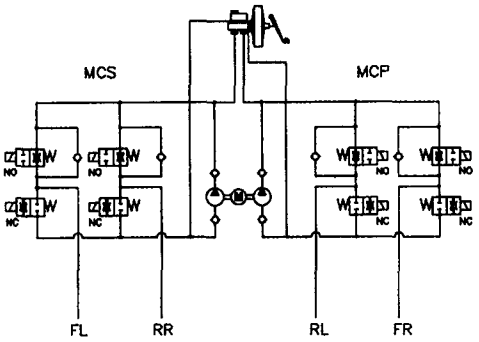
- NC(Normally Closed) V/V(Valve)가 M/Cyl (Master Cylinder)의 Reservoir에 연결된 구조로서 Wheel의 압력을 감소시킬 때, 브레이크 오일은 Dump되어 NC V/V를 통하여 M/Cyl의 Reservior로 이동한다. Dump된 오일은 모터 구동에 의한 펌프의 왕복 운동을 통하여 Wheel 및 M/Cyl로 이동한다. Open Loop System은 NC V/V가 고장일 경우 가압된 오일이 M/Cyl로 이동하여 Wheel의 압력을 생성하기가 어렵다. NC V/V가 고장일 경우 Wheel의 압력을 생성하려면 모터를 구동시켜 유량을 Wheel 및 M/Cyl로 이동시켜야 한다. 안전성을 고려하여 Pedal에 Position Sensor를 설치하여 에러를 감지하는 방법도 등장하였다. Dump되는 유량이 많더라고 Wheel Lock이 발생하지 않는 장점은 있으나, NC V/V 및 모터가 고장 일 경우 안전성을 확보하기가 어려운 System이다.

2) 유압 회로가 내부로 밀폐된 CLOSED LOOP

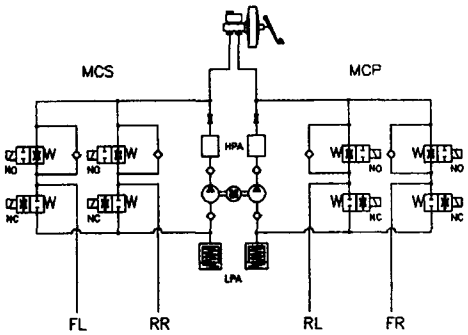
- NC V/V가 LPA(Low Pressure Accumulator)에 연결되어 있고, LPA는 펌프 입구측에 연결된 구조로서 유압 회로는 외부와 차단되어 있고 M/Cyl, HCU(Hydraulic Control Unit), Wheel 실린더 내부에서 이동하도록 되어있다. Wheel 압력을 감소시킬 때, 브레이크 오일은 Dump되어 NC V/V를 통하여 LPA로 이동한다. Dump된 오일은 모터 구동에 의한 펌프 왕복 운동을 통하여 Wheel 및 M/Cyl로 이동한다. 이러한 구조는 NC V/V가 고장 일 경우에도, 제동시 LPA를 채우고 Wheel에 압력을 생성하는 구조이기 때문에 설정된 감속도 이상의 성능이 보장되므로 안전성이 높다.



- HCU 유압 회로의 변화 -



- OPEN LOOP -



- CLOSED LOOP -

2.2. Solenoid Valve

ABS 시스템을 구현하기 위해서 Wheel의 압력을 전자적으로 제어하는 밸브가 Sol v/v(Solenoid valve)이다. 초기에 사용된 밸브는 3/3-valve(3position / 3way valve)와 2/2-valve (2position / 2way valve)가 있었으나, 2/2-valve가 주류를 차지하게 되었다.

그 이후 NC V/V와 FCV(Flow Control Valve)를 사용하는 Sol/Flow Type과 NO V/V(Normally Open Valve), NC V/V를 사용하는 Sol/Sol Type이 함께 존재하였으나, 점차 Sol/Sol Type (한 개의 Wheel에 NO V/V,NC V/V를 2/2-valve로 사용하여 증압,유지,감압을 하는 Type임)이 우위를 점하게 되어 오늘날까지 주류를 이루고 있다.

1) 3/3-valve

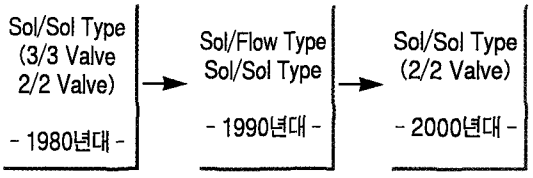
3/3-valve는 1개의 Sol v/v를 이용하여 증압,유지, 감압을 구현하였다. 밸브 코일의 Magnetic Force를 조절하여 플런저의 작동 스트로크를 가변시키는 밸브이다. 한 개의 Wheel에 한 개의 3/3-valve를 설치하면 압력의 제어가 가능하므로 밸브 수가 줄어드는 장점은 있으나, 스트로크를 가변시켜야 하기 때문에 제어의 정확성을 유지하기가 어렵고 밸브의 응답성이 상대적으로 느리기 때문에 다양하고 정확한 제어를 구현하기가 어려웠다.

2) Sol/Flow Type

Sol/Flow Type은 NC V/V의 On/Off에 따라 증압, 감압 모드만으로 압력을 조절하는 형태이다. 따라서 4개의 전자식 V/V와 4개의 기계식 V/V로 이루어진 Sol/Flow Type은 Flow 밸브가 별도의 제어 없이 일정한 압력 증가율을 가지기 때문에 노이즈 감소에는 장점이 있었으나 Hold Mode를 갖지 못하는 단점이 있었다. 그리고 EBD(Electronic Brake Force Distribution) 기능이 추가되면서 Hold Mode가 반드시 필요하게 되었고 Sol/Flow Type은 단종되게 되었다.

3) Sol/Sol Type

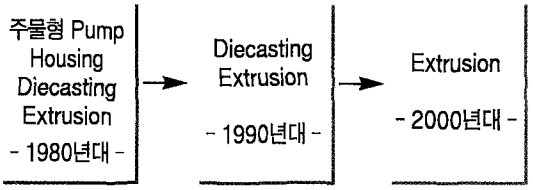
Sol/Sol Type은 한 개의 Wheel에 NO,NC V/V가 모두 2/2-valve인 구조이다. NO,NC V/V의 On/Off 제어를 통해 증압, 유지, 감압 모드를 조절하였으며 밸브를 컴팩트하게 만들 수 있는 구조였다. 정확하고 다양한 제어를 하기에 유리하였고, 다른 밸브에 비해 구조가 간단하기 때문에 우위를 차지하며 오늘날까지 주류를 이루고 있다.



2.3. V/V Block

유압 회로를 구성하는 V/V Block의 제조 방법도 여러가지로 변화하였다.

1980년대에는 Pump Housing을 주물로 제조하여 V/V Block에 조립하는 방법과 Diecasting, Extrusion에 의한 방법이 있었다. 1990년대에는 Diecasting과 Extrusion 방법이 함께 사용되었으나, 최근에는 경량화가 추진되면서 Extrusion에 의한 방법이 주류를 이루고 있다.



- V/V Block 제조 방법의 변환 -

2.4. Configuration

ABS 시스템을 구성하는 MOTOR, HCU, ECU (Electronic Control Unit)의 Interface도 다양하게 바뀌어 왔다. 초기에는 유압 장치, 전자 제어 장치, 릴레이 등이 각각 분리되어 있었으나, 점차로 각 장치간의 통합이 진행되어 제품의 소형화가 이루어지게 되었다. 제품의 형상을 보면 V/V Block을 사이에 두고 모터와 ECU를 조립하고, 모터와 같은 방향으로 ECU 커넥터를 위치시키는 방법과 ECU 커넥터를 모터와 수직 방향으로 위치시키는 방법이 있었다. 그리고 모터와 ECU를 나란하게 배열하여, 모터와 ECU의 연결을 용이하게 하는 모델도 등장하였다.

최근 경쟁사의 동향을 보면 V/V Block을 사이에 두고 모터와 ECU를 조립하고 ECU 커넥터가 모터와 같은 방향으로 위치하는 Type이 주류를 이루고 있음을 알 수 있다.

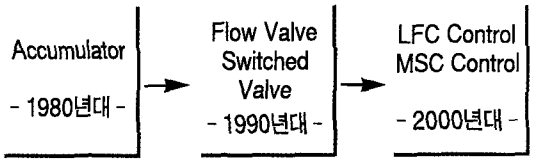
이러한 원인은 제품을 컴팩트하게 제조하여, Box Volume을 감소 시킬 수 있고 차량 장착성에서 용이하기 때문으로 판단된다. 변화의 경향을 보면 한국 만도와 독일 C/Teves는 1990년대부터 이러한 형상의 모델을 출시하여 왔고, 타 회사들은 2000년대에 ECU 커넥터 방향을 전환하여 현재는 각 사가 비슷한 모양을 갖게 되었다.

2.5. Noise

ABS 시스템 구현시 압력 맥동에 의해 발생하는 노이즈와 페달 진동을 줄이기 위한 다양한 방법이 등장하였다. 1980년대에는 펌프 토출부에 오리피스와 Accumulator를 설치하여 토출되는 고압의 오일을 완충하여 압력 맥동에 의한 노이즈를 줄이는 구조가 있었다. 그 이후 1990년대에는 NO V/V를 FCV(Flow Control valve)로 대체하여 NO V/V의 작동을 없애고 유량 제어에 의한 증압, 감압으로 압력을 조절하여 노이즈를 감소시키는 방법이 등장하였다. FCV는 제품의 제조가 까다롭고 생산비가 비싼 단점이 있으며 압력을 일정하게 유지하는 제어가 불가능하였다.

노이즈 감소를 위한 다른 방법으로 가변 오리피스의 작동을 구현하는 S/W (Switched) NO V/V가 개발되어 증압시 압력 맥동을 감소시키는 방법이 등장하였다. 일정 압력에 도달한 후에는 오리피스를 작게 변화시켜 압력 상승률을 줄일 수 있는 구조이다. 압력 맥동을 줄일 수 있는 S/W NO V/V는 노이즈 감소에는 효과적이지만, 부품수가 많아지고 생산단가가 높아지게 되었다. 그리하여 2000년대에는 Sol/Sol Type의 V/V를 사용하고 LFC(Linear Flow Control), MSC(Motor Speed Control) 제어를 통한 노이즈 감소와 페달 진동 감소를 위한 기술력이 발전하고 있다. LFC는 Magnetic Force를 제어하여 Sol v/v의 스트로크를 제어하여 압력 맥동을 줄이는 방법이며, MSC는 모터의 회전속도를 조절하여 펌프 토출량을 가변시킴으로 과도한 펌프 토출로 인한 압력 맥동을 줄이는 방법이다. 즉, 종래의 하드웨어의 변경보다는 하드웨어의 최대성능을 이용한 소프트웨어의 적용으로 문제를 해결하는 것을 볼 수 있다.

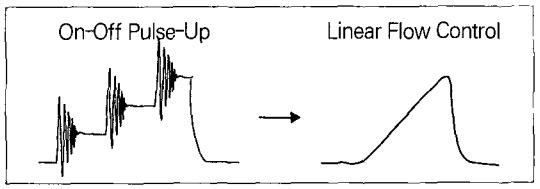
구 분	한국 MANDO	독일 BOSCH	독일 C/TEVES	미국 DELPHI	미국 TRW	일본 DENSO
1990년대						
2000년대						



- 노이즈 감소 방안의 변화 -

3. 최근 개발 방향

최근에는 각사들이 ABS 작동시 노이즈 감소와 페달 진동 감소를 위한 기술 개발에 주력하고 있다. 기본적인 성능 외에 고객에게 최적의 편안함을 줄 수 있는 성능 확보를 위해 압력 제어방식 기술이 발전하고 있는 것이다. Sol/Sol Type을 기존의 On/Off형 제어 방식에서 Magnetic Force를 가변시켜 선형적으로 스트로크를 제어하는 LFC(Linear Flow Control) 방식이 도입되고 있다. 이러한 제어방식은 압력 상승시 발생하는 압력 맥동을 줄임으로써 Pedal 진동 및 노이즈를 저감시키는 기술이다. LFC 제어시에는 압력 상승시 발생하는 압력 맥동을 아래와 같이 개선할 수 있다.

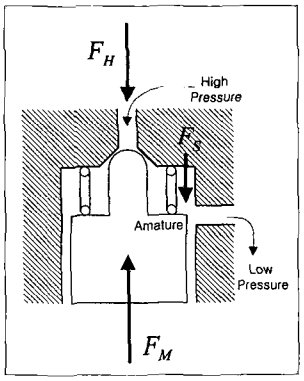


- Comparison of pressure pulse-up pattern -

이러한 기술을 적용하기 위해서는 Sol 밸브의 전기적,유압적 특성을 이해하고 검증하여야 한다. 간략히 설명하면 밸브의 플런저가 Seat부에서 미세한 만큼 개방될 때, FM = FH+ FS 가 되는 힘의 균형을 이루는 부분을 찾아내는 것이다.

(FM: Magnetic Force, FH: Hydraulic Force,FS: Spring Force of solenoid valve)

미세한 스크로크의 작동은 유량의 흐름량을 줄이므로 Wheel의 압력을 On/Off 제어에 비해 미세한 맥동으로 연속적으로 높일 수 있다. 또한 최적의 슬립율을



- Force balance on solenoid valve

유지할 수 있도록 제어하는 압력의 범위를 줄임으로써 제동거리를 단축시킬 수 있다.

ABS 작동시 노이즈와 페달 진동의 다른 원인은 빠른 모터의 회전에 따른 과도한 펌프 토출량이다. 모터 노이즈는 모터의 RPM (Revolution per minute)과 직접적인 관계가 있으므로 제어에 영향이 없는 범위에서 모터의 회전속도를 줄이는 것은 노이즈 감소를 위한 좋은 방법이다. 모터의 PWM(Pulse Modulation Width) 제어를 통해 모터의 회전속도를 제어하는 MSC(Motor Speed Control)가 개발되고 있다. 이러한 제어는 과도한 양의 펌프 토출을 줄임으로써 압력 맥동을 감소시켜 노이즈 및 페달 진동을 감소시키는 것이다.

4. 결론

이상으로 ABS Modulator의 변천사 및 최근의 기술 동향을 살펴 보았다. 향후 ABS 시장은 소형화, 경량화 및 가격 절감을 위해 Modulator의 기술 발전이 계속해서 추진될 것이다. 그리고 ABS 작동시에도 노이즈와 페달 진동의 감소에 의해 고객에게 최적의 승차감을 제공하는 제어기술의 발전이 예상된다. 결론적으로 ABS 시장의 경쟁력 확보를 위해서는 가격 절감과 노이즈에 우수한 성능 확보가 필수적이라 할 수 있다. Bosch는 ABS8.0 모델에 LMV(Linear Magnetic Valve), MSC 제어방식을 도입하여 2002년 양산을 시작하였으며, 만도는 2003년에 LFC, MSC가 적용되는 모델을 출시할 예정이다.

(윤현섭 연구원 : yhs2000@mando.com)