

자동차 전자제어 브레이크 시스템의 유압 제어기술 동향 Hydraulic Pressure Control for Vehicle Electronic Brake Systems

윤팔주 · 양이진

P. J. Yoon and I. J. Yang

1. 서 언

최근 자동차 운전의 편의성 및 안전성 향상 기술의 발전, 관련 전자 기술 및 제어 기술의 급속한 발달 및 지속적인 소비 증대와 더불어 전자 제어 브레이크 시스템 기술, 특히 ABS(Anti-Lock Brake) 및 ESC (Electronic Stability Control) 시스템은 도입기를 넘어서 현재 최대의 성장기를 진행 중이다. 특히 이러한 시점에서 주요 해결과제는 차량 안정성 향상과 다양한 부가기능의 개발을 통한 운전 편의성으로 치열한 가격경쟁 속에서도 이러한 요구 기능을 실현해야 하는 상황에 처해있다. 따라서 관련된 유압제어 기술은 유압 기계기술과 전자 및 제어 기술적인 면에서 빠른 속도로 진행되고 있다.

또한 최근에는 연비 향상과 공해문제에 대한 대책으로 하이브리드 자동차(HEV Hybrid Electric Vehicle)가 시장에서 급속히 성장하고 있는 추세이며, HEV 차량의 연비향상을 위해 회생제동 효율을 극대화하기 위한 다양한 방식의 전자제어 브레이크 시스템의 개발이 진행되고 있다. 이러한 유압식 제동장치는 결국 완전한 전자 제어 브레이크 시스템으로 불릴 수 있는 전동식 BbW (Brake-by-Wire) 시스템으로의 이행을 위한 전단계이지만, BbW 기술의 상용화가 지연되면서, BbW에 필적할만한 수준으로 기술적 진보를 거듭하고 있다. Fig. 1은 전자제어 브레이크 시스템 기술을 신기술과 차량 안정성 제어장치(ESC)로 분류한 로드맵을 나타낸 것이다.

전자제어 브레이크 시스템의 신기술은 유압제어 브레이크와 전동식 BbW 및 이 두 시스템의 중간 단계라 할 수 있는 하이브리드 (Hybrid) 브레이크 시스템으로 구분할 수 있다. 특히 EHB (Electro-Hydraulic Brake) 시스템은 유압식 BbW 시스템으로, 하이브리드 차량의 회생제동과의 협조제어 장치로도 사용하기에 적합하며, 특히 정밀 압력제어 성능을 요구한다. 단, 시스템 고장 모드에서 발생할

수 있는 백업(Backup) 제동시의 제동력 부족 문제로 발생한 품질문제로 급격히 시장에서 쇠퇴하는 양상을 보이고 있다. 차량 안정성 제어장치는 현재 보편화 되고 있는 ESC 시스템과 안전성 및 편의성 측면의 기능 확장을 반영한 Advanced ESC 시스템으로 구분할 수 있다.

(주)만도에서는 ESC 시스템뿐 아니라 최근 Advanced ESC 시스템인 ESC Premium을 근간으로 하여 정밀 압력제어 기능과 내구성이 보장된 유압식 Limited BbW 시스템과 유압을 배제한 Full by-Wire 시스템인 EMB(Electro-Mechanical Brake) 시스템 개발을 진행 중이다(Fig. 2).

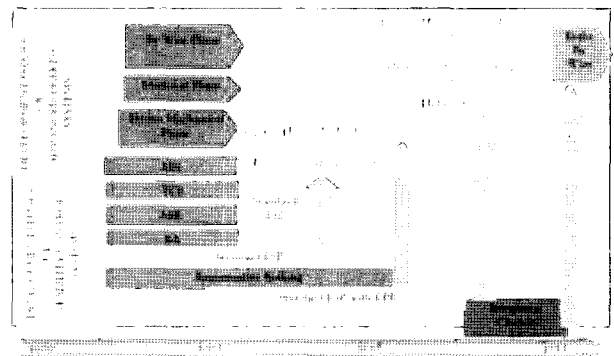


Fig. 1 Advanced Braking and Stability Control System Market: Technology Roadmap (Source: Frost & Sullivan)

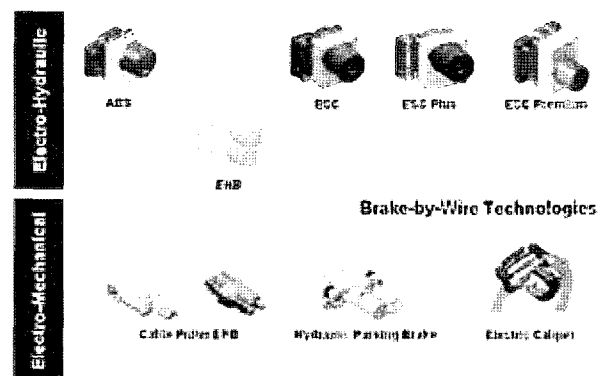


Fig. 2 Brake Control System of Mando

2. 전자제어 유압브레이크 시스템의 기술동향

2.1 전자제어 유압브레이크 시스템 구성

전자제어 유압브레이크 시스템은 제동 시 차륜의 과도한 미끄럼을 방지하는 ABS(Anti-Lock Brake), 가속 시 과도한 제동력과 엔진출력에 의한 차륜의 미끄럼짐을 방지하여 최적의 제동력과 구동력을 확보하는 TCS(Traction Control System) 및 선회 제어 시 차량의 과도한 언더스티어(Under-Steer)/오버스티어(Over-Steer)를 방지하는 ESC(Electronic Stability Control)로 구분된다. 이외에도 유압식 By-Wire 시스템인 EHB(Electro-Hydraulic Brake), 공압식 전자제어 부스터 방식인 Active Booster 시스템, 유압식 전자제어 부스터인 Hydraulic Booster 시스템 등이 존재한다.

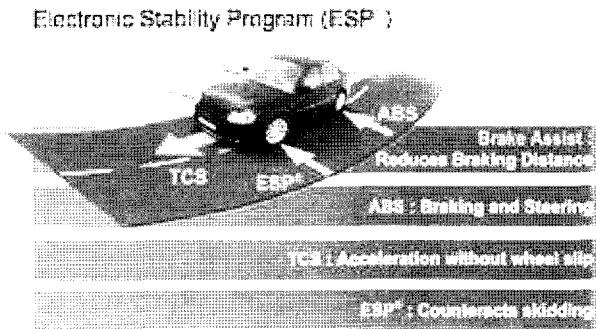


Fig. 3 Functions of ESC System(Bosch Automotive Press Briefing 2005 in Boxberg)

차량용 전자제어 유압브레이크 시스템은 ECU(Hydraulic-Electronic Control Unit)를 구성하는 유압제어장치(HCU Hydraulic Control Unit)와 전자제어장치 (ECU Electronic Control Unit), 4개의 차륜속도센서, 조향각센서, 선회각센서, 횡가속도센서, 압력 센서로 이루어져 있다. HCU와 ECU는 일체형으로(Fig. 4)되어있다. 유압제어장치는 유압 공급원인 모터와 펌프, 각 바퀴 압력의 증압, 유지 및 감압을 제어하는 솔레노이드 밸브, 순간적인 감압에 의한 배출유량을 임시 보관하는 저압 어큐뮬레이터와 모든 유압부품을 일체형으로 수용하며 관련된 제어 유압회로를 구성하는 모듈레이터 밸브블록으로 구성된다.

최근에는 차량 Layout 및 장착성을 개선하는 방법으로 운전자 제동의지를 판단하는 마스터 실린더 압력센서를 모듈레이터 블록에 일체화 하는 기술의 상용화가 상당부분 이루어져 있고 이에 더하여 선

회각센서와 횡가속도 센서를 ECU에 일체화 하는 기술을 개발하여 Application하는 추세로 급격히 발전하고 있다.

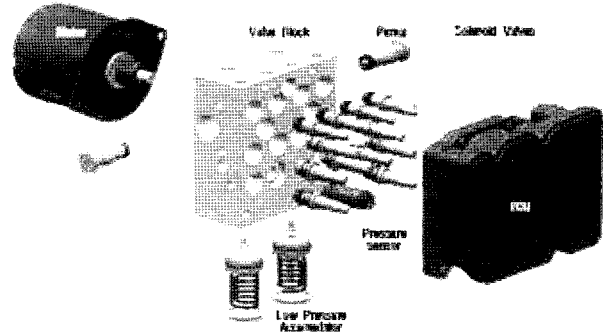


Fig. 4 Exploded View of ESC HCU

2.2 선형 솔레노이드 압력제어 기술의 발전

ESC 시스템에서 사용하는 솔레노이드 밸브는 성능 및 가격을 고려하여 종합적으로 가장 유리한 Poppet 구조의 On-Off 제어방식을 주로 사용하고 있다. 그러나 전자기술 및 제어 기술의 발달과 더불어 정밀 압력제어의 필요성이 제기됨에 따라 선형 압력제어를 위한 변경 및 개선이 진행되고 있다.

선형 압력제어 솔레노이드 (Linear Pressure Control Solenoid) 밸브는 구조적으로 기존 On-Off 제어 방식 밸브 형태를 유지하면서 내부 구조물의 형상변경을 통하여, 발생하는 전자기력을 작동 변위에 둔감하도록 하고, 인가되는 전류에 대하여 선형적인 전자기력 특성을 갖도록 하는 밸브로, PWM(Pulse Width Modulation) 또는 직접전류 제어 방식(Direct Current Control)으로 제어된다. 최근 ESC의 부가기능, 즉 HSA(Hill Start Assist), HDC(Hill Decent Control), EBP(Electronic Brake Pre-fill), ACC(Adaptive Cruise Control)등과 같이 브레이크 회로에서 저압영역의 정밀제어가 필요한 제어 모드를 구현하기 위하여 솔레노이드의 선형압력제어가 필수적이며 이를 위하여 시스템 특성을 모사하고 이를 분석하여 최적의 전자기적 특성과 유압특성을 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 솔레노이드 코일의 암페어턴(Ampere Turns)과 밸브의 작동 간극(Air Gap)에 따라 밸브의 전자기력과 Inductance등의 전자기적 특성 데이터를 시뮬레이션으로 사전에 취득하고(Maxwell) 이를 유압 및 제어 명령과 통합적으로 모사하여(AMESim) 솔레노이드 밸브 전체의 특성과 제어에 따른 유압시스템의 반응을 예측하는 방법을 사용하고 있다. Fig. 5는

AMESim으로 모사된 Inlet 솔레노이드의 유압모델과 밸브 특성으로 사용된 기저력 및 인덕턴스를 보여주고 있다.

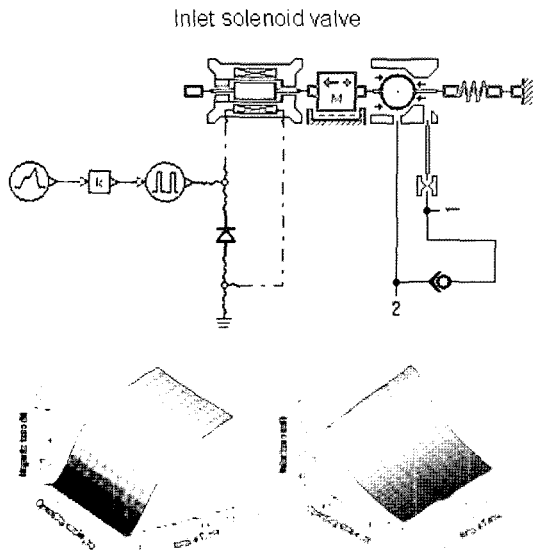


Fig. 5 Integration of Magnetic field and Hydraulic Field with AMESim

기존 On-Off 솔레노이드 제어방식의 단점은 단속적인 개/폐 작동에 따른 유압충격(Water Hammering) 현상에 따른 유압 시스템의 진동 및 작동 소음의 발생이다. 이러한 문제점을 개선하고 ABS 상황에서도 운전자에게 Comfort한 Pedal Feel을 제공 할 수 있도록 하기 위한 연구가 부단히 이루어져 Inlet Valve의 선형 압력제어가 ESC 시스템의 기본적인 제어 방법으로 확대 되었다.

Inlet Valve 선형압력제어는 LFC(Linear Flow Control), LMV(Linear Magnetic Valve) 또는 Analog 제어 밸브라고 불리기도 하는데, 이는 제어 노면에서 최적의 슬립밴드(Slip Band)을 갖는 범위에서 Pressure overshoot 및 Undershoot를 방지하여 제어 압력 편차(ΔP)를 줄인다. Linear Flow Control의 효과로 Pulse-Up Noise가 사라지고 ΔP 가 축소되어 Pedal Feel이 개선된다. 아래 그림은 LFC의 기본 개념을 보여준다.

2.3 모터 제어 기술의 발전

작동 소음 저감 등과 같은 NVH 특성 개선을 통하여 운전자 편의를 제공하기 위한 다른 방법의 하나로 모터 속도 제어(MSC, Motor Speed Control)를 들 수 있다. 이는 급격한 운전자 제동에 따라 바퀴가 구속(Wheel Lock 현상)이 발생하여 ABS 제

어가 개입되면 휠 압력 감압이 필요하며 다시 최적 Slip 영역으로 진입시키기 위하여 증압(Pressure Apply) 및 유지(Pressure Hold)를 반복하는 과정에서 회로 상에 존재하는 임시 저장 공간인 LPA(Low Pressure Accumulator) 충전 상태를 예측(Estimation)하여 최적화된 회전속도로 모터/펌프를 구동하는 제어를 일컫는다. 이에 따라 기존 방식에서 모터/펌프를 최대로 작동하여 발생하는 펌프 작동 소음 및 유압 Pulsation을 현저히 감소시킬 수 있다.

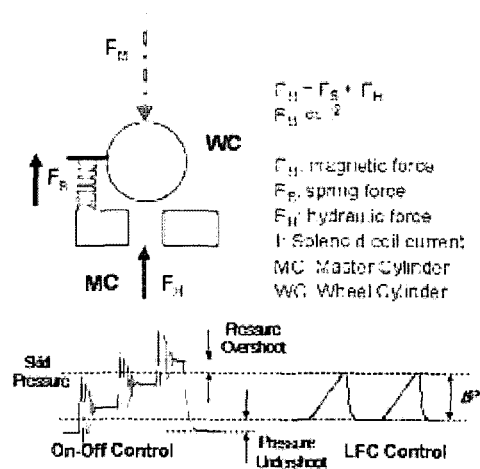


Fig. 6 Concept of LFC

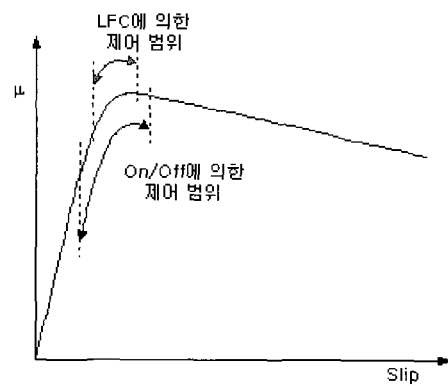


Fig. 7 Comparison of Control Range

MSC 제어를 통해 ABS 시스템의 Noise 특성 개선 효과가 있으며 특히 저마찰 노면(Low- μ)제동 시 약 6 dB 정도 개선 효과가 입증되었다. 또한 운전자에게 직접 연결되어 있는 마스터 실린더 압력 맥동에 의한 Kick-Back 효과를 줄여주어 Pedal Feel이 개선될 뿐 아니라 노면 마찰력 천이(μ -Jump)시 적절히 구동 시간을 늘려주어 바퀴의 구속현상을 방지할 수 있다. 또한 MSC 구현을 위해 구성 부품 추

가 등의 추가적인 비용 부담이 없으므로 경제적으로 상품가치를 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 최근에는 모터 구동 주파수를 더욱 높여 10-20 kHz 정도의 고주파수를 이용하고 ABS나 ESC 제어 중에 모터 역기전력(Back EMF)를 관찰하여 필요한 최적 Duty로 모터 회전수를 최적화 하는 Adaptive 제어 기술이 더욱 발전하여 모든 제어 상황에서 운전자에게 안락함과 주행안정성을 제공한다. Fig. 8은 MSC의 기본 개념을 도시한 것이다.

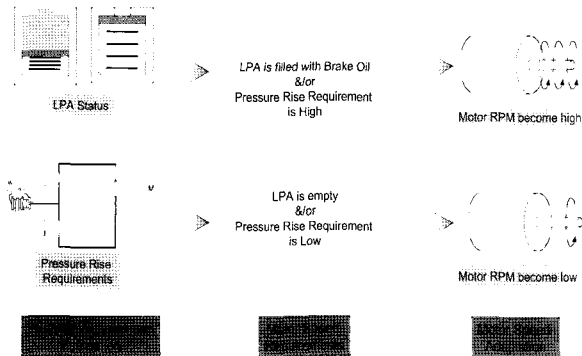


Fig. 8 Concept of MSC

2.4 전자 및 제어기술에 의한 기계적 요소의 삭제

차량 출발 시 바퀴 미끄러짐을 방지하여 가속력 보조하는 TCS 시스템이나, 선회 제동 시 발생하는 Oversteer나 Understeer를 방지하기 위하여 ESC 시스템은 차량 Moment를 보상하기 위한 목적으로 해당 바퀴에 압력을 가압하게 된다. 이때 작동하는 밸브가 TC 솔레노이드 밸브로 브레이크 회로 내에 필요한 압력이 생성되도록 펌프 토출부 측에서 배출된 유압의 마스터 실린더로의 유입을 차단한다. 이때 펌프 배출에 의한 과도한 압력 생성으로 시스템 Damage를 방지하기 위하여 회로마다 시스템 보호용 릴리프 밸브를 설치한다. 최근에는 ECU (Electronic Control Unit) 내에 별도의 전류 제어 회로를 구성하여 솔레노이드 밸브 입력 전류에 따라 전자기력을 제어하여 릴리프 압력을 형성하는 방식으로 기계식 릴리프 밸브를 삭제하는 기술이 상용화 되어 있다. 이러한 제어 방식은 가격 절감효과와 더불어 전류제어에 의하여 릴리프 압력을 차량 제어 상황에 따라 가변적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

TC 솔레노이드 밸브 전류 제어는 온도나 작동시간에 따른 전자기력 변화 성질을 제거하고 이를 일정한 값으로 유지시키는 것으로 마스터 실린더 압력과 휠 실린더 압력의 차이를 해당 전류 값에 따라

일정하게 제어할 수 있으며 전류보상 회로를 반영하면 펌프 토출에 의한 압력 맥동을 기계식 릴리프 밸브 대비 감소시킬 수 있어 작동 소음 개선에 유리하고 특히 ESC 부가기능이라 할 수 있는 HDC, ACC, HBB(Hydraulic Brake Boost), HSA 제어에 유용하다. 이러한 방식을 TC MFC(Magnetic Force Control)이라 한다.

MFC 제어는 Dithering 방식의 향상된 전류 제어 방법으로 저압 영역에서 선형 압력 제어성을 향상시킬 수 있어 특히BDW(Brake Disc Wiping), Brake Prefill 및 TJA(Traffic Jam Assist) 등의 ESC 부가기능 제어 기능을 가능하게 하는 기술이다.

2.5 압력센서를 이용한 제어정밀화

ESC 제어는 차량속도 센서 값을 입력으로 하여 Wheel Slip를 연산을 이용한 차량 자세제어라 할 수 있다. 최근에는 HECU에 직접 각 바퀴에도 압력 센서를 장착하여 취득된 압력 값 정보를 이용하여 더욱 정밀한 압력제어를 목표로 한다. 이는 압력센서의 소형화에 따라 일체화된 구조가 가능해졌고 압력센서의 가격하락과 완성차 업체의 차량 Layout 설계 편의 및 보다 향상된 압력제어 성능을 통한 차량 안정성 확보 등의 요구사항을 충족시키기 위한 것이다. 모든 바퀴에 압력센서를 부착하는 것은 가격상승을 동반하므로 요구되는 수준에 따라 전륜 두 바퀴에만 압력센서 적용하는 방법을 취하기도 한다.

2.6 신속한 능동 압력발생 능력의 유압펌프 요구

ESC 시스템에서 유압 펌프는 ABS 제어 시 LPA가 충전되어 바퀴 측 유량 배출에 의한 감압을 방해하지 않도록 브레이크 오일을 배출 및 순환하는 역할을 한다. 또한 TCS 제어나 ESC 제어에서는 마스터 실린더로부터 모듈레이터 블록으로 브레이크 오일을 능동적으로 수송 및 압력을 생성(Active Pressure Generation)하여 제어하고자 하는 바퀴 측에 필요 압력을 공급할 수 있도록 유압을 공급한다. 특히 ESC 시스템에서는 차량 안정성을 확보하기 위하여 주행 중 발생하는 차량 Yaw Moment에 대한 보상을 목적으로 펌프 구동에 의한 신속한 압력 생성을 필요로 한다.

펌프는 차량에 장착된 HECU까지 마스터 실린더로부터 연결된 유압배관의 길이, 굴곡(Bending) 및 상대 높이에 기인하는 흐름저항을 극복 하고 신속하게 유압을 생성해야 하며 추가적으로 모듈레이터 내부의 유압회로 저항 및 유입 솔레노이드밸브

(Suction Solenoid Valve)에 의한 흐름저항까지 극복하여야 한다. 통상 이러한 ESC 승압(Rise Rate) 요구사항을 만족하기 위하여 다양한 설계 변경 및 최적화 시도가 계속되고 있다. 예를 들어 모듈레이터 내부의 Suction Solenoid Valve 흐름 저항을 최소화하기 위한 밸브 내부 부품 배치 최적화, 밸브 내부 흐름면적 최대화, 특히 펌프에서는 피스톤에 일체화된 인렛 체크밸브(Inlet Check Valve)의 재질 경량화에 의한 관성 영향의 감소, 체크 밸브의 형상 변경, 리턴 스프링 력 및 스프링 상수, 씰 마찰력을 최소화할 수 있는 방법으로 들 수 있다.

일반적으로 ESC 펌프는 각 회로(Circuit) 당 1개 즉 총 2개의 펌프 피스톤으로 구성되나 최근에는 Advanced ESC 시스템으로 Multi-Piston Pump 구조로 개발이 되고 있는 경향이다. 이러한 Multi-Piston 구조는 유량 변화를 최소화 할 수 있어 유압 Pulsation을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 ESC 능동 압력 생성 속도 또한 향상할 수 있는 방법이다. 부가적으로 기존 2-Piston 펌프 구조대비하여 동일 제어 유량인 조건에서 모터 작동 시간 또한 감소 할 수 있어 시스템 내구 증대에도 기여한다. 물론 가격적인 상승에 영향을 감안하여야 할 것이다. 이러한 검토와 아울러 펌프를 구동하는 모터 회전속도에 의한 영향 등을 시스템적으로 고려하는 것 또한 신속한 압력 응답성을 요구하는 ESC 시스템의 주요 기술 과제이다.

아래 그림은 일반적인 2-Piston 방식의 ESC와 4-Piston을 ESC 증압 모드에서 비교한 결과이다. Multi-Piston 적용에 따라 동일 Piston 행정에 의한 압력 맥동이 50% 이하 수준으로 감소하고 Active Pressure Generation 성능 또한 현격하게 개선됨을 알 수 있다.

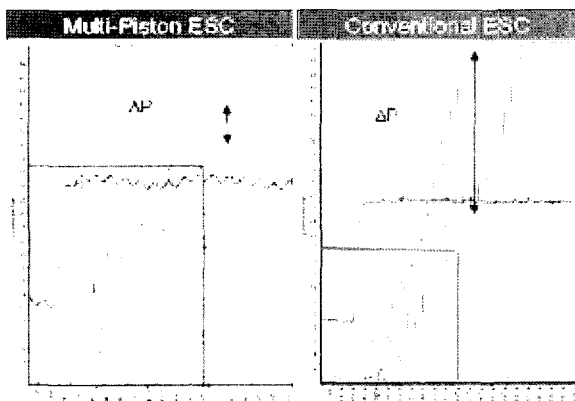


Fig. 9 Test Result of Multi-Piston for ESC Pressure generation

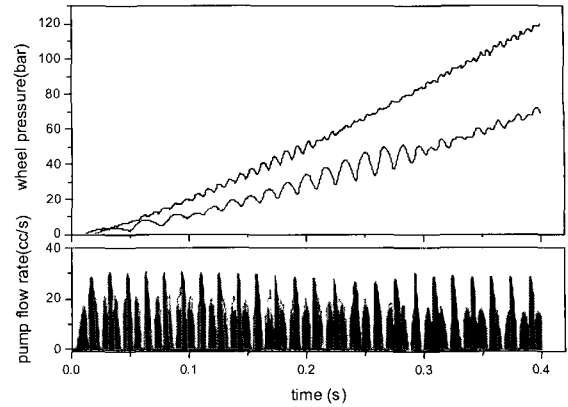


Fig. 10 Comparison of pumping capability with simulation between 2-piston an multi-piston pump(blue and green: with multi-piston, red and magenta: with conventional two-piston)

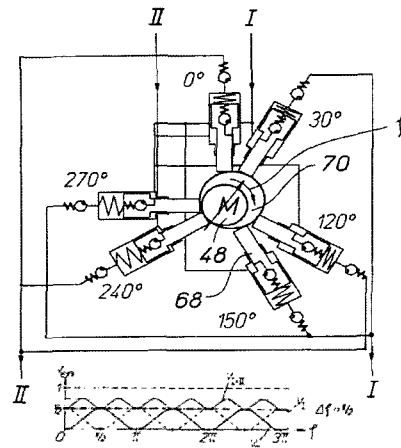


Fig. 11 Arrangement of Multi-Piston (Source: Patent US6446435, Bosch)

또 다른 경향의 펌프 구조로는 기어 펌프를 들 수 있다. 아래 그림에서 알 수 있듯이 기존 피스톤 펌프 구조와 달리 연속적인 유량배출 특성을 지닌 기어 펌프는 구조적으로 압력맥동 저감에 따른 ESC 작동 소음을 현격히 감소시킬 수 있다.

이에 아울러 최적화된 제어가 반영된다면 그 효과는 배가 될 것이다. 단 기어펌프는 고정밀의 제작성을 필요로 하고 온도변화에 따른 효율변화를 감안하여야 하며 피스톤 펌프 대비 구동 모터 출력을 더 필요로 하기 때문에 시스템이 Compact하지 못하고 가격이 높다는 단점이 있다. 많은 ESC 업체에서 개발 검토를 하였을 것이나, 가격 면에서 유리한 피스톤 펌프 구조를 대부분 선택하였고 일부 일본 ESC 업체에서 고급형 차량 ESC 시스템에 양산 적용 하였다.

종합하여 보면 현 기술 동향 및 향후 ESC 시스템의 유압제어 방향은 선형 정밀 압력제어를 향하여 급속히 발전할 것으로 예상된다. 향후 ESC 시장은 차별화를 위하여 차량 Segmentation에 따라 추가적인 안전기능 및 확장된 편의기능을 구현하기 위하여 최신 Hardware 및 Software 기술을 도입한 Advanced ESC와 완성차 업체의 지속적인 가격하락 요구와 시장 경쟁력을 확보하기 위하여 기존 시스템의 형태나 구조의 큰 변경 없이 제어기술의 보강으로 이를 극복하고자 하는 저가형/보급형 ESC 시장으로 구분할 수 있다. Advanced ESC 제품에서는 마스터 실린더 압력 센서에 더하여 각 바퀴 압력까지 직접 계측할 수 있도록 압력센서를 일체화하여 장착하는 추세로 향후 Pressure-Based Control에 의한 정밀 선형 압력 제어가 일반적인 경향이 될 것으로 판단된다.

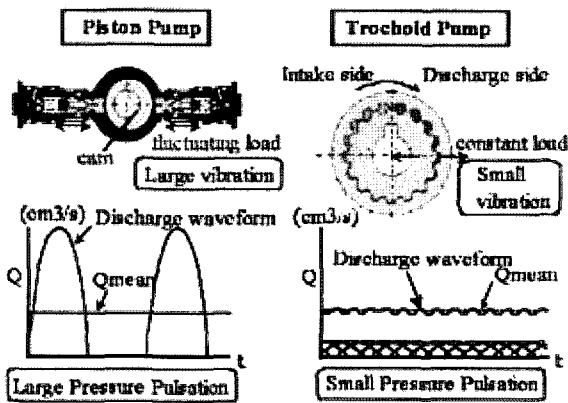


Fig. 12 Piston Pump vs. Gear Pump

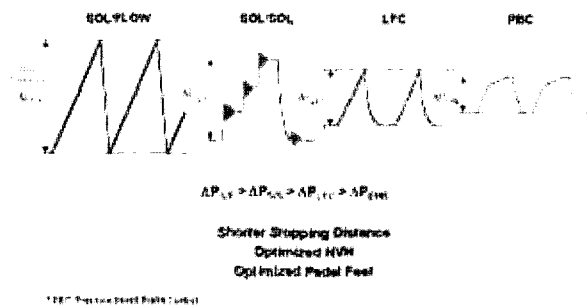


Fig. 13 Pressure Control Trend of ESC System

3. BbW 및 Hybrid 차량용 전자제어 유압브레이크 시스템의 기술동향

최근 유가상승 및 친환경 정책의 영향으로 Hybrid 차량의 개발 및 인지도가 급속하게 가속화

되고 있다. 특히 Prius 차량이 일본 내수 및 북미 시장에서 호응을 얻게 됨에 따라 완성차 업체 및 ESC 시스템 개발 업체에서도 EHB 시스템 이외에 다양한 방법으로 Hybrid 자동차에 적합한 전자제어 유압 브레이크 시스템을 개발하고 있는 추세이다. 특히 EHB 시스템은 Bosch사에서 최초로 개발하여 2001년 Benz 사에서 SBC(Sensotronic Brake Control)라는 상품명으로 SL500을 시작으로 일반 Service 브레이크 기능을 포함하여 양산하였으나, 앞서 설명한 치명적인 문제로 유래 없는 실패를 맛보았다. 이에 따라 EHB 시스템의 안전성에 대하여 의심하는 경향이 있으나, Toyota Prius 차량에서는 같이 Hybrid 차량용 전자제어 브레이크 시스템으로 성공적으로 적용하고 있다. 이는 운전자와 바퀴 측 압력 사이를 분리하는 Brake-by-Wire 시스템의 특성을 지닌 EHB 시스템이 Hybrid 차량의 압력 제어에 용이하기 때문이다.

이와 유사한 구조 및 메커니즘인 Hydraulic Booster 시스템 또한 Hybrid 차량용 전자제어 시스템으로 양산되고 있다. Honda Civic HEV 차량이 그 예이다. 기존 공압 부스터를 삭제하고 유압 Source인 고압 Accumulator와 이를 충전하는 유압 펌프로 구성된 Power Unit으로 구성되어 있다. Hydraulic Booster는 운전자에게 기존 차량과 유사한 Pedal Feeling을 제공할 수 있는 페달 시뮬레이터(Pedal Simulator) 메커니즘을 포함하고 있다.

현재까지는 EHB 시스템과 Hydraulic Booster 방식의 전자제어 시스템이 Hybrid 차량에 주로 적용되었고, EHB 시스템은 구조적인 문제점에 대한 보완을 거쳐 향후에도 지속적으로 개발될 것으로 예상된다. 현재까지는 Hybrid 차량용으로 어느 전자제어 유압브레이크 시스템이 최적화 되었다고 단정할 수 없는 상태이며, 다양한 방식 및 구조가 제안되고 연구되고 있는 상황이다.

4. 결 언

ESC 시스템의 최근 유압제어 기술 개발동향은 아래와 같이 정리할 수 있다

가) 향상된 Comfort와 N.V.H 특성을 위한 비례 특성의 솔레노이드 설계 기술 및 선형 압력제어 기술의 발전

나) 전자 및 제어기술에 의한 기계적 요소의 삭제를 통한 제어의 유연성 및 가격절감

다) 압력센서를 이용한 정밀 제어

라) 위급한 상황에서 ESC 제어를 통한 주행 안전성 확보를 위한 신속한 능동압력발생 능력의 유압 펌프 요구

또한 Hybrid 및 BbW 차량용 전자제어 브레이크 시스템은 EHB, Hydraulic Booster 시스템 방식 등이 현재 양산되고 있으며, 이와 별도로 변형된 구조의 Hydraulic Booster, Active Booster 시스템 등 다양한 구조가 제안 및 개발되고 있는 추세이다.

참고 문헌

- 1) "European Market for Advanced Braking & Stability Control System", #B770-18, Frost & Sullivan, 2006.
- 2) "Hydraulic Braking System for Automobiles", US Patent, US6446435, 2002.
- 3) Y. Mizutani and C. Hamada, "Development of New Brake Control System with Gear Pump Modulator", SAE Paper 2004-01-0253, 2004.
- 4) "Bosch Automotive Press Briefing 2005 in Boxberg", 2005.

[저자 소개]



윤팔주(책임저자)

E-mail: pjyoon@mando.com

Tel: 031-300-5200

1964년 5월 26일생

1987년 한양대학교 기계공학과 학사,

1989년 한양대학교 대학원 기계공학과 석사, 2000년 한양대학교 대학원 자동차공학과 박사, 1988년~현재 (주)만도 중앙연구소 Active Safety 1팀장, 수석연구원, 공학박사, 차세대 전자제동 장치 연구개발, 운전 지원 시스템 연구개발

[저자 소개]



양이진

E-mail: Ljyang@mando.com

Tel: 031-300-5248

1971년 2월 20일생

1995년 인하대학교 항공우주공학과 학사, 1997년 인하대학교 기계공학과 석사, 1997~현재 (주)만도 중앙연구소 선임연구원, 전자제어 유압브레이크 시스템, 전동식 주차브레이크 시스템 개발에 종사