

자동차용 ABS 솔레노이드 밸브의 연구개발 동향과 미래 Trend and Future of ABS Solenoid Valve for Passenger Cars

이 상 철
S. C. Lee

1. 서 언

유압 장치는 우리가 살고 있는 주변에서 많이 볼 수 있다. 흔히 보는 것이 건설기계로 사용되는 굴삭기 등이 좋은 예라 할 수 있겠다. 그러나 자동차에 유압 장치가 사용되고 있다는 것은 일반인이 잘 알지는 못할 것이지만, 유공압을 공부하거나 전공하고 이를 업으로 삼는 우리에게는 그리 낯설지 않은 내용이다. 자동차에 사용되는 유압 장치의 예로는, 유압제어 조향 장치, 유압제어 제동 장치, 그리고 유압 속 업소버로 대별되는 샤시 장치와, 유압을 이용한 자동 변속기 등이 좋은 예라 할 수 있다.

이 중에서도, 이번 호에서 다루고자 하는 분야는 유압제어 제동 장치 중 제동 중 발생하는 차륜 미끄러움을 방지하는 ABS(Anti-lock Brake System, 이하 ABS)의 유압 밸브의 발전 과정에 대한 부분이다.

ABS와 관련된 유압 회로의 제어 형식으로는 크게 4바퀴에 연결되는 각각의 유압 회로를 제어하는 4 Channel ABS와 2개의 앞 바퀴에 연결된 유압 회로는 각각 제어하지만 2개의 뒤 바퀴는 통합하여 제어하는 3 Channel ABS로 2 종류로 구분한다.

그러나 4 Channel ABS든, 3 Channel ABS든 유압 회로를 제어하기 위해서 사용되는 유압 밸브는 동일한 것을 사용한다.

이제부터 1978년부터 등장한 ABS 장치에 사용되어 온 ABS 제어 밸브들의 발전 과정을 소개한다.

2. ABS 유압 회로 구성 및 특성

2.1 ABS 유압 회로 구성

ABS가 시장에 나온 이래로 생산 회사별로 다양한 유압 회로를 구성하여 ABS를 구현하기 위하여 노력하였다. 이 과정에서 몇몇 회사에서 구현한 유압 회로의 구성에 대하여 먼저 알아보자.

그림 1은 독일 보쉬가 ABS를 처음 출시하면서 적용한 ABS 제어를 위한 유압 회로이다.

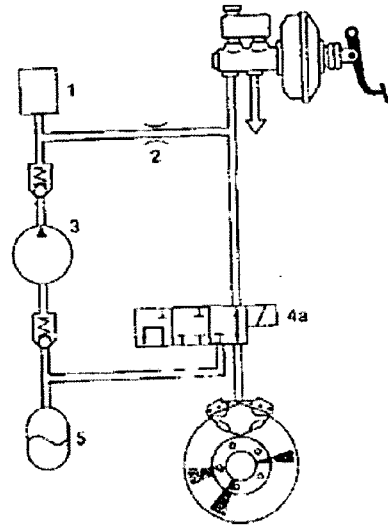


그림 1 보쉬 ABS 제어 유압회로

그림 2는 현재 ABS 시장의 주요 공급자인 독일의 테베스에서 적용한 ABS 제어 유압 회로이다.

Schematic diagram: ABS MK 2 (Teves)
Brakes not actuated. 1 Main valve, 2 Connected line, 3 Brake master-cylinder piston, 4 Positioning sleeve, 5 Outlet valves, 6 Booster chamber, 7 Fluid reservoir, 8 Pressure accumulator, 9 Pump, 10 Brake valve, 11 Booster piston, 12 Inlet valves. VL/VR Front axle left/right, HA Rear axle.

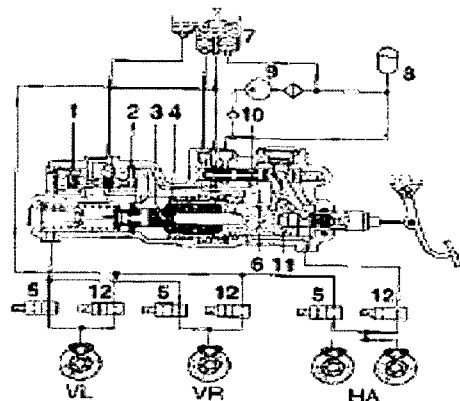


그림 2 테베스 ABS 제어 유압회로

그림 3은 일본 스미토모에서 루카스의 기술 제휴를 통하여 개발한 ABS 제어 유압 회로이다.

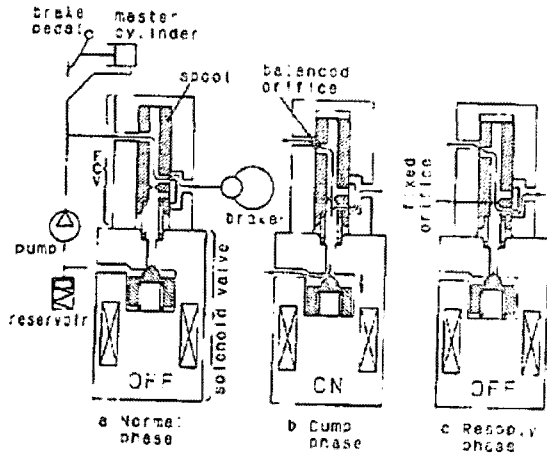


그림 3 스미토모 ABS 제어 유압회로

2.2 ABS 유압제어 회로의 특성

ABS 유압제어 회로는 브레이크 휠 실린더의 압력을 과도한 제동 압력의 공급에 따른 차바퀴의 잠김 현상을 해소하기 위해서 휠 실린더의 압력을 낮추기 위한 감압과 과도한 제동 압력의 공급에 의해서 잠겼던 바퀴의 휠 실린더의 압력을 낮추어 다시 바퀴가 구르기 시작하면 제동을 위해서 압력을 공급하는 승압이 가능하도록 하는 기본적인 구조를 가지고 있다.

이런 유압 회로를 위해서 필요한 구성으로는 브레이크 압력을 제어하기 위한 밸브, 감압된 브레이크 휠 실린더를 계속하여 감압할 수 있도록 브레이크 액을 받을 수 있는 공간을 확보하는 동시에 브레이크 휠 실린더에 승압을 위해서 브레이크 액을 공급하는 유압 펌프 등이 있다.

이와 같은 유압 회로의 적절한 제어를 위해서 적용된 밸브에 논점을 집중하면 다음과 같다. 보쉬는 위와 같은 유압 제어를 위해서 그림 4와 같이 3/3-Way 전자제어 밸브를 적용하였다.

제1 위치는 운전자가 브레이크 페달을 작동시켰을 때 휠 실린더로 브레이크 액의 압력을 공급할 수 있도록 유로를 제공한다. 제2 위치는 운전자의 브레이크 페달 및 유압 펌프에서 공급되는 브레이크 액의 압력을 휠 실린더로 공급하는 것을 차단하는 동시에 휠 실린더의 압력도 감압 되지 않도록 유지한다. 제3 위치는 운전자의 브레이크 페달 및 유압 펌프로부터 공급되는 브레이크 액 압력을 차단하고 브레이크 휠 실린더의 브레이크 액 압력을 감압하는 유로를 제공한다.

이와 같은 구조에서는 ABS 제어가 진행 중일 때, 휠 실린더에 브레이크 액을 공급하여 압력을

상승시키기 위해서 지속적으로 밸브를 개방할 경우에는 브레이크 휠 실린더의 압력이 매우 급격히 상승하므로 효과적인 차바퀴의 잠김을 제어할 수 없다. 이런 문제점을 해결하기 위해서, 브레이크 휠 실린더의 압력을 상승시키기 위해서 밸브를 단속적으로 개방과 차단을 반복하여 계단식으로 브레이크 휠 실린더의 압력을 상승시키거나 감압 하게 된다.

ABS2S 3/3 solenoid valve

- 1 To the return line, 2 Filter, 3 Non-magnetic bearing ring, 4 Cutter valve, 5 Input valve, 6 Armature, 7 Winding, 8 Check valve, 9 Valve body, 10 To the wheel-brake cylinder, 11 Carrier plate, 12 Auxiliary spring, 13 Main spring, 14 Access step, 15 From brake master cylinder. Working air gas.

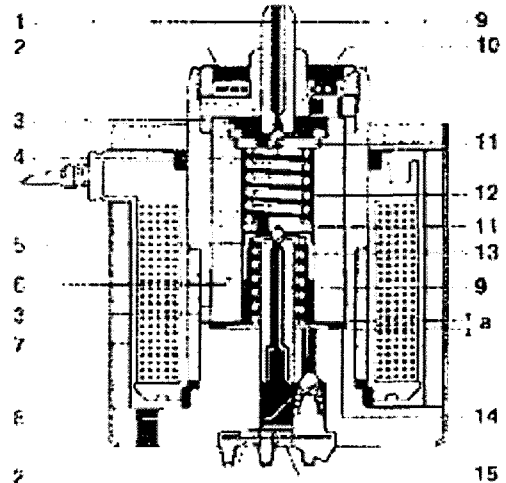


그림 4 보쉬 3/3-Way 전자제어 밸브

다음으로 테베스는 보쉬와 달리 2/2-Way 밸브를 2개 사용하여 보쉬에서 3/3-Way 밸브를 사용하는 것과 동일한 효과를 낼 수 있도록 하였다. 즉, 2개의 밸브 중 하나는 상시 유로를 개방하여 운전자의 브레이크 페달의 작동으로 브레이크 액의 압력이 휠 실린더로 공급될 수 있도록 한다. 또 다른 하나의 밸브는 상시 유로를 차단하여 운전자의 브레이크 페달 작동으로 브레이크 휠 실린더에 공급된 브레이크 액의 압력이 유지될 수 있도록 한다. 이와 같이 상시 개방되어 있는 밸브와 상시 차단되어 있는 밸브의 작동 위치를 조합하여 브레이크 휠 실린더의 압력을 상승, 유지 및 감압 할 수 있도록 한다.

테베스의 전자제어 밸브도 역시 보쉬의 전자 제어 밸브와 같이 단속적으로 개방과 차단하는 방식을 통하여 브레이크 실린더에 브레이크 액의 압력을 상승, 유지 및 감압을 실시한다.

한편, 루카스와 기술 제휴를 통한 스미토모는 보

쉬와 테베스와 다른 유압 회로의 구성으로 같은 목적을 위해서 다른 방식으로의 접근을 시도하였다.

Solenoid-valve forces

F_{MH} Magnetic force for holding current,
 F_{MM} Magnetic force for maximum current,
 F_V Actuating force, H_A Discharge stroke,
 H_E Intake stroke, H_U Overlap stroke.
1 Main-spring force minus auxiliary-spring force (pressure buildup), **2** Main-spring force (pressure hold), **3** Main spring force plus auxiliary-spring force (pressure reduction).

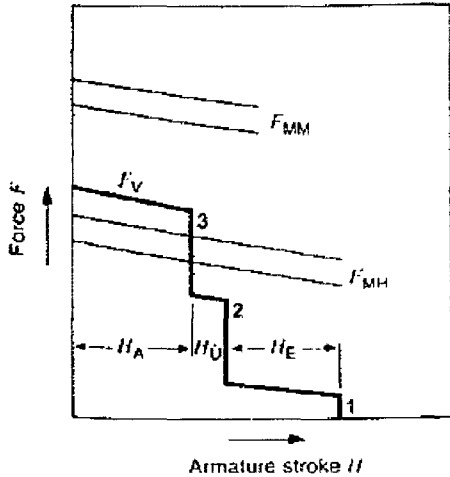


그림 5 보쉬 3/3-Way 전자제어 밸브의 제어 형태

스미토모에서는 스펀 타입의 유량 제어 밸브와 하나의 전자제어 밸브를 사용하였다. 이러한 조합의 발상은 전자제어 밸브를 이용한 단속적인 작동으로 계단식으로 브레이크 휠 실린더의 압력을 제어할 경우 적절한 제어보다는 과도한 제어가 될 수 있고, 동시에 정확한 제어가 어렵다는 것에 착안한 것이다.

그럼, 스미토모에서 적용한 스펀 타입의 유량제어 밸브에 대해서 간단하게 작동원리를 알아보면 다음과 같다.

스펀의 중심에 관통 구멍이 있고, 그 스펀 중간 위치의 관통 구멍에 특정 크기의 유로를 가지는 오리피스설치한다. 오리피스를 중심으로 각각 양쪽에 브레이크 액을 공급하여 승압하기 위한 유로와 브레이크 액을 감압하기 위한 유로가 설치되며, 감압 유로가 설치되는 부분에는 일정한 반력을 가지는 스프링이 설치된다. 그리고 이 스펀 밸브의 감압 유로는 감압을 위해서 작동하는 상시 차단 위치를 유지하는 전자제어 밸브의 유로와 연결된다.

이런 구조의 유압 회로에서 운전자가 브레이크 페달을 작동할 때, 오리피스를 중심으로 스펀의 양쪽 압력이 거의 같은 수준이고, 스프링으로 지지되므로 브레이크 휠 실린더로 브레이크 액의 압력이

공급된다. 그러나 ABS 제어가 시작되어 브레이크 휠 실린더의 압력을 감압할 때, 전자제어 밸브가 작동하면, 감압 유로를 통하여 브레이크 휠 실린더의 브레이크 액이 배출된다. 이 때 스펀 밸브의 감압 유로가 있는 부분의 압력이 낮아지고, 브레이크 액 압력 공급을 위한 유로가 있는 부분은 오리피스의 영향으로 인하여 상대적으로 높은 압력을 유지한다. 이렇게 발생하는 압력 차이에 의해 스펀에 작용하는 힘의 불균형은 스펀을 지지하는 스프링의 반력을 이기고 이동하여, 브레이크 휠 실린더와 감압 유로는 여전히 연결하지만 공급 유로와의 연결은 차단한다. 이 때 감압 유로와 연결된 전자제어 밸브가 작동을 해제하여 상시 차단위치에 복귀하면, 감압 유로와 연결된 스펀 부분은 더 이상의 압력 강하가 중단된다. 그리고 공급 유로와 차단된 스펀 내부의 압력은 오리피스를 통과하여, 오리피스를 중심으로 공급 유로가 있는 스펀 부분과 감압 유로가 있는 스펀 부분의 압력이 같은 수준에 도달하며 스펀을 지지하는 스프링의 복원력으로 다시 공급 유로와 연결되는 위치로 이동하게 된다.

이 때 공급 유로와 연결된 스펀 부분의 압력이 스펀 내부의 오리피스 때문에 감압유로와 연결된 부분과 압력 차이를 발생시켜 다시 스펀이 이동하여 공급 유로와 차단된 후 다시 평형에 도달할 때까지의 지연이 발생한다.

이와 같이 스펀 내부에 설치된 오리피스의 직경과 스펀을 지지하는 스프링의 반력의 크기에 따라서 브레이크 휠 실린더에 공급되는 브레이크 액의 압력이 급격하게 상승되지 않고 일정 기울기를 가지도록 하는 방식이다.

이와 같은 구성에서는 ABS 제어시 브레이크 휠 실린더의 압력 상승을 위해서 단속적인 전자제어 밸브의 작동으로 계단식의 압력 상승이 제거되므로 매우 혁신적인 방안이었다.

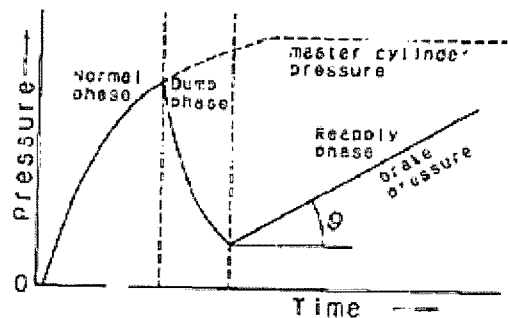


그림 6 스미토모 스펀타입 유량제어밸브와 전자제어 밸브의 유압제어특성

3. ABS 제어 밸브의 발전과 경쟁

3.1 ABS 제어 밸브의 발전

거의 모든 기술의 발전 과정 필연적으로 거치게 되는 것이 기술 발전의 S 곡선이다. 즉, 1978년 최초 시장에 도입된 이후 10여년의 기술적 도입기를 거친다. 이 시기에는 주로 ABS 제어를 다양한 시도가 이루어지는 시기라 할 수 있다. ABS를 위해서 과연 어떤 방식의 기구를 사용할 것인가? 유압 방식을 사용할 경우 어떤 유압 회로의 구성을 가질 것인가? 그리고 그 유압 회로를 구성하는 구성품들의 기능과 성능을 보장하기 위해서는 어떤 방식으로 제어할 것인가 등을 고민하고 고안하는 시기라 할 수 있다. 이 시기에는 지구상에서 제동 장치에서 독자적인 설계 능력이나 전자 제어 장치를 설계할 수 있는 자동차 부품 회사나 자동차 회사에서 기술 개발과 제품 제작을 시험적으로 시장에 내놓았던 시기라 할 수 있다. 이렇게 10여년이 경과하는 동안 내놓았던 많은 기술적 시도와 개발이 몇 가지 이내로 정리되는 시기를 갖게 된다.

이전에서 소개한 주요한 ABS 제어를 위한 유압 회로는 이런 기술적 도입기를 지난 1990년대 초반에 ABS 기술분야에 정리되어 기술의 성장기를 주도하는 대표적인 유압 회로를 보여 주는 것이다. 이때의 자동차 학회에서는 소개되는 논문의 내용은 주로 보다 정확한 제어를 위한 평가와 시험 방법 및 주요 제어 인자들에 대한 것이며, 유압 회로의 최적화에 대한 것은 거의 줄어드는 시기라 할 수 있다.

또한, 한 가지 괄목할 만한 사항이 이 시기에 나타난다. 즉, 자동차가 이제 더 이상 기계 장치로 남아 있지 않게 되는 자동차의 전자 제어가 급속히 이루어지는 시기가 ABS 기술의 성장기와 일치하게 된다. 엔진의 전자 제어, 조향 장치의 전자 제어 및 현가 장치의 전자 제어가 이 시기에 경쟁적으로 이루어지는 동시에 자동차의 생산량도 증가하면서 ABS의 장착 수량도 증가되어 시장이 급격히 성장한다.

이 시기엔 최초로 ABS를 소개한 보쉬를 중심으로 ABS 기술을 선도하면서 테베스, 루카스, 델파이, 쉘세이헤리츠 등의 주요 회사를 중심으로 이들과 기술 제휴 및 면허 생산의 형태로 각 대륙이나 지역의 시장 기득권을 가진 체 기술 개발이 이루어지는 시기다. 그리고, 신제품을 개발하여 시장에 내놓

은 제품의 라이프 사이클도 5년 정도의 시기를 가지는 시기라 할 수 있다.

3.2 ABS 제어 밸브의 경쟁

ABS 기술의 성장기를 거치면서 각 ABS제조사들은 성장기를 거치면서 경쟁 우위를 확보하기 위한 고민에 빠지게 된다. 고객으로부터 경쟁사와 차별화 되기 위해서는, 여전히 기술적 우위를 확보하는 것이며, 고객의 불만을 최소화 하기 위한 노력을 경주하는 것이다.

이제 기술의 성장기가 저물어 가면서 ABS를 개발하는 회사에서는 차별화 하기 위한 소형화와 성능의 최적화에 대한 노력을 기울이게 된다.

이 결과로, 보쉬는 처음의 모델이 나온 이후로, 기본형을 유지한 상태로 지속적으로 자그마한 설계 변경을 시도한다. 그리고, 전자 장치가 그렇게 발전하지 않았던 시기에는 전자 장치의 한계로 인한 문제로 제어의 정밀도를 높이지 못하였으나 이제는 그런 문제점은 해결된 시기가 다가 선 것이다.

보쉬의 3/3-Way 밸브는 구조에 있어서 테베스의 2/2-Way 밸브에 비해 매우 복잡한 구조를 가지고 있었다. 3개의 위치와 3개의 유로를 하나의 밸브로 제어한다는 것이 약점으로 작용한 것이다. 그리고 밸브가 장착되는 메니폴드에 있어서도, 3/3-Way 밸브는 밸브의 양단에 메니폴드를 설치하여야 하므로 ABS 유압 장치의 구조와 외형이 복잡하고 커질 수 밖에 없었다. 또한, 보쉬의 밸브는 테베스의 밸브에 비해서 크기가 크고 제어 방식도 복잡하였다. 보쉬 밸브는 제1위치에서 제3위치까지 이동하고 다시 제3위치에서 제1위치로 복귀하는 데 있어서 테베스 밸브에 비하여 열세를 보이는 구조였다.

이런 단점은 초기 기술 도입기에는 전혀 문제되지 않는 사안들이었으나, 기술의 성장기를 지나면서 서서히 약점으로 부각되기 시작하였다. 이런 약점을 극복하고 경쟁사들로부터 차별화 하기 위해서 보쉬는 그들의 밸브를 3/3-Way 밸브에서 2/2-Way 밸브로 변경하는 혁신적인 설계를 시장에 내놓게 된다. 결국 제어 정밀도를 향상시키고 경쟁사들이 선점하고 있는 소형 ABS 설계를 적용한 것이다.

한편, 테베스는 메니폴드에 조립하여 탈착이 가능한 구조에서 보다 단순화되고 소형화 된 유압 장치를 개발한다. 그 동안의 경험을 바탕으로 하여 필요이상으로 적용하였던 유압 회로의 구성품을 새

로운 것이나 보다 작은 것으로 대체하면서 보쉬와 경쟁하는 수준의 소형화 설계를 적용한 것이다.

이제 끝으로 루카스와 스미토모의 제휴 진영에서는 스펀 타입의 유량제어 밸브와 전자제어 밸브의 조합을 유지한 채 지속적으로 소형화 설계에 노력한다. 그러나 스펀 밸브의 소형화에는 한계가 있어 주로 전자제어 밸브의 소형화로 그 결실을 보게 된다.

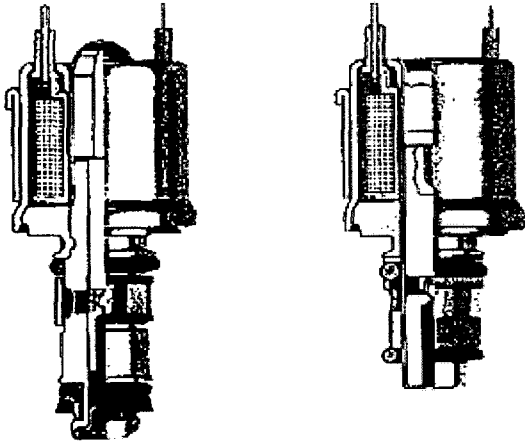


그림 7 보쉬의 2/2-Way 전자제어 밸브

이 때, 스미토모와 루카스의 제휴 진영은 엄청난 한계를 맞이하게 된다. 그것은 다름 아닌 기술의 성숙기에서 벌어지는 원가 경쟁과 동시에 기술의 쇠퇴기에 요구되는 신기술의 출현 요구에 대한 적응성에 관한 것이었다.

브레이크 장치, 특히 ABS 제어를 위한 유압 장치는 그 시스템의 체적이 크지 않다. 일반적인 승용차를 제동하기 위해서 필요한 유량이 약 3~5cc내외가 된다. 그러므로, 제동 장치에서 누설은 성능에 있어서 매우 치명적인 것이며, 이는 안전과 바로 연결되는 것이다.

스펀 밸브와 전자제어 밸브의 조합에 있어서 첫 번째 취약점은 공급 수량 확대에 따른 원가 인하폭이 크지 않다는 것이다. ABS 유압 장치의 생산, 조립 공장은 오염에 민감한 부품이므로 청정실을 구축하여 그 내부에 생산 설비를 설치한다. 마치 반도체 제조 공정과도 같다고 이해하면 좋을 것이다. 청정도 관리 수준이야 반도체 공장의 수준까지 이르지 않는지만, 자동차 부품을 생산하는 공정에서는 매우 청정도가 중요한 공정이다.

특히, 스펀 밸브의 경우에는 스펀과 부시 사이의 간극이 작아야 하므로 스펀 밸브의 조립 공정의 청정도 관리는 매우 높은 수준을 요구한다. 그런데,

공급 수량이 증가하여 추가 생산을 위한 공장의 생산 설비를 증설할 경우, 실제로 생산에 사용되는 생산 설비비용보다 청정실을 설치하고 유지관리 하는 비용이 더 많이 소비되는 것이 문제가 되었다.

또 하나의 문제점은 원가 문제보다 더 치명적이라 할 수 있는 신기술에 대한 적응성 부족이라는 기술적 문제였다.

ABS 장치는 차바퀴와 도로면 사이에서 얻을 수 있는 최적의 마찰력을 찾아 제동을 하는 장치이다. 최적의 마찰력은 제동을 위해서도 유용한 제어 인자이지만, 자동차의 추진을 위한 구동에 있어서도 매우 중요한 인자이다. ABS 제어에 대한 연구가 진행되면서, 기술은 ABS 유압 장치를 이용하여 구동력 제어 장치인 TCS로의 기술적 전이를 준비하고 있었던 것이다. 즉, 기술의 성숙기에서 또 다른 기술로 인한 가치를 만든 블루 오션을 찾은 것이라 할 수 있다.

보쉬나 테베스와 같이 2/2-Way 밸브를 이용하는 경우에는 브레이크 휠 실린더의 압력을 상승시키기 위해서 단속적인 밸브의 작동으로 계단식으로 압력이 상승하는 문제점을 가지고 있기는 하지만, 이것은 응답성이 보다 우수한 밸브의 개발이나 제어의 알고리즘을 개발하는 것으로 개선의 여지가 있는 것이다. 그러나, 기술적 한계로 인하여 새로운 기회가 될 수 있는 신기술의 주류에 편입하지 못한다면, 그 기술은 결국 더 이상의 가치를 가지지 못하게 되는 것이다.

이렇게 1990년대 중반 ABS 기술의 성숙기와 TCS 및 ESC라고 하는 ABS 기술에 기반을 새로운 기술이 가치를 만들어 내는 시장이 열리면서 성장기를 양분했던 ABS 제어를 위한 유압 밸브 기술의 한 축은 역사 속으로 사라지게 된다.

4. ABS 제어 밸브의 미래

이제 ABS가 처음 시장에 소개된 지도 30년이 되어 간다. ABS를 개발하면서 출원되었던 초기 기술 특허들이 권리 기한이 만료되어 가고 있다는 의미와 동시에 더 이상의 혁신적인 기술 특허가 ABS 제어 밸브에서는 출원 되지 않다고 할 수도 있겠다.

지금까지 ABS 제어를 위해서 개발되었던 주요 ABS 제어 밸브들의 발전과 그 역사에 대한 개략을 설명하였다. 지난 과거를 바탕으로 오늘의 현실

에서 주요 ABS 개발 업체에서 진행하고 있는 ABS 제어 밸브의 미래를 예측한다는 것은 어쩌면 매우 어리석은 일일지도 모른다. ABS 기술은 TCS와 ESC라는 신기술의 도입을 통하여 한번의 S곡선의 주기를 연장하였다. 그런 면에서 볼 때, ABS에 기반한 TCS 및 ESC의 기술은 또 다시 성숙기의 한 가운데를 가고 있다고 생각한다. 기술 발전 단계 중 성숙기에서 일어나는 원가 경쟁이 치열하게 벌어지고 있다.

ABS 제어 밸브의 미래는 ABS 시스템만을 위한 전용 밸브의 개발을 통해서 혁신적인 원가 절감을 달성하는 밸브의 개발에 ABS 장치를 개발하는 모든 업체는 매진할 것이고, 이런 액추에이터를 제어하기 위한 제어 알고리즘의 개발도 병행될 것이다. 그리고 그런 노력은 TCS 및 ESC 제어 밸브로 옮겨 갈 것이고, 그 결과 산업화 된 유압 밸브나 공압 밸브와 같이 매우 낮은 가격에 생산되고 공급되는 시기가 도래할 것이다.

5. 결 언

30여 년간 개발되고 발전하면서 이제 최적화하기 위해 부단히 연구 개발되고 있는 ABS 제어 밸브는, 밸브 그 자체만으로는 이제 기술적 쇠퇴기에 접어들었다고 할 수 있다. 그러나 ABS 제어 밸브를 이용하여 새로운 가치를 창출하는 새로운 기술

이 선도하는 시장이 열기 위한 노력이 지속되는 한 최적화, 소형화 및 정밀화를 위한 노력은 계속 될 것이다.

또한, 미래를 위한 하이브리드 자동차나 전기 자동차에서의 브레이크 장치에 대한 개발을 노력이 한창 진행 중이므로 그 기술과의 확장 및 통합을 통한 새로운 가치의 창출을 위한 노력도 계속되며 발전할 것이다.

참고 문헌

- 1) S. Kawai et al., "Some consideration on the position control of pneumatic cylinders", Proceedings of the 2nd JHPS International Symposium on Fluid Power, pp. 563~568, 1993.

[저자 소개]

이상철(책임저자)

Tel : +82-31-680-6274

1965년 7월 16일생

1990년 고려대학교 기계공학과 졸업, 1994

년 고려대학교 기계공학과 석사과정졸업,

1990년 만도기계 주식회사 중앙연구소 입

사, ABS용 Solenoid Valve 설계, 현재, (주)만도 평택사업본부 ABS연구소 HCU팀장

