한국자동차공학회논문집 제9권 제2호, pp.130~136

제동압력 제한밸브의 모터싸이클 ABS에의 적용

Application of a Brake Pressure Restriction Valve to a Motorcylce ABS

지 동 익*, 류 제 하**, 김 호 수**, 임 재 우**, 박 종 혁**
Donk-Ik Jie, Jeha Ryu, Ho-Soo Kim, Jae-Woo Lim, Jong-Hyuck Park

ABSTRACT

This paper presents an application of a brake pressure restriction valve to a motorcycle anti-lock brake system (ABS). In the conventional anti-lock brake system of automobiles, slip ratio as a control variable is actively controlled, which requires wheel speed sensors, ECU, and a pressure modulator. In the ABS valve that has been developed for use in motorcycles, however, the brake pressure that is close to the wheel locking pressure is preset by simple exercises and then the valve just allows to pass the wheel locking pressure and cutoff the remaining pressure. Simulation studies with a single wheel braking dynamics and lumped chassis model show that the pressure restriction valve has basic ABS functions as well as some robustness properties for the uncertain load and road conditions as well as various initial braking speeds. Field tests also show that the pressure restriction valve avoids the wheel locking effectively.

주요기술용어 : Anti-lock brake system(미끄럼방지장치), Pressure restriction valve(압력 제한 밸브), Field test(실차 시험), Computer simulation(컴퓨터 모의 시험)

1. 서 론

근래 널리 사용되고 있는 자동차 및 FTE Automotive의 모터싸이클용 전자식 ABS (BMW K 모델에 장착되어 시판 중)는 기본적으로 슬립률을 제어변수로 하여 제동 시 브레이크의 작동과 해지를 적절하게 반복하여 차륜의 급격한 잠김(Locking)을 방지함으로써 차체의 조향안정성을 획기적으로 향상시키며 더불어서 제동거리를 단축시키는 기술이다.[1,2] 모터싸이클용 전자식 ABS의 경우 실험에 의하면 회전주행 중 제동시 조향안정성을 확보함과 동시에 운전자의 숙련도에 따라 5~20%의 제동거리 단축을 보이고 있으므로[3] 모터싸이클용 전자식 ABS도 그 효용성이 입증되고 있다. 그러나 기존 전자식 ABS는 브레이크의 작동과 해지가 반복되는 과정에서 브레이크 레버에 진동이 수반되어 운전자

* 회원, (주) 에이치에스
** 회원, 광주과학기술원 기전공학과

를 당황하게 하는 단점이 있고 전체 모터사이클 가격에 비한다면 그 가격이 비싸다. 이러한 기술적 문제점과 비용을 해결하고자 모터싸이클용 차륜 잠김방지 기능을 수행하는 기계식 자동 유압 제어장치를 개발하였다.[4)]

개발된 유압제어장치는 간단한 기계식 구조를 가지고 있으며 모터싸이클의 마스터 실린더와 차륜 실린더 사이에 장착하여 운전자가 간단한 주행시험에 의해 차륜이 잠기지 않을 정도의 압력(급 제동시 SKID가 나기 직전상태의 제동에 필요한 적정 유압)을 설정하면 급 제동 시 이 압력이하만의 유압을 마스터 실린더로부터 통과시키고 초과되는 유압은 밸브 내부에 있는 STOPPER가 자동 차단시켜서 마스터 실린더로의 진동 및 역류를 방지한다. 차륜 실린더로 통과한 압력은 기본적으로 변동하지 않고 일정 값을 유지함으로써 짧은 급 제동기간 동안 차륜의 잠김을 방지함으로써 ECU 및 차륜속도 센서의 장착 없이도 아주 간단한 구조로 기본적인 ABS 기능을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제동압력 제한밸브의 구조 및 작동 원리에 대해 구체적으로 설명하고 3장에서는 제동압력을 Skid가 발생하기 직전의 설정 치로 유지할 때 차륜동력학 시뮬레이션을 수행하여 제동력 제한밸브가 ABS의 기본기능을 할 수 있음을 보이고 변하는 승차, 노면 환경 및 초기 속도에 대한 ABS 기능의 강건성을 이론적으로 설명하였다. 4장에서는 모터싸이클의 실제 주행시험을 수행하여 측정된 차륜속도 및 유압의 변화를 가지고 객관적 성능을 시험 평가하였고 5장에서 결론을 제시하였다.

2. 제동압력 제한 밸브

개발된 제동력 제한 밸브는 모터싸이클의 마스터 실린더와 차륜 실린더 사이에 장착되는 데 내부 구조는 Fig. 1과 같고 작용은 다음과 같다. 브레이크를 밟거나 레버를 당기면 마스터 실린더에서 주입유압관을 거쳐 주입유로를 통과한 유압유

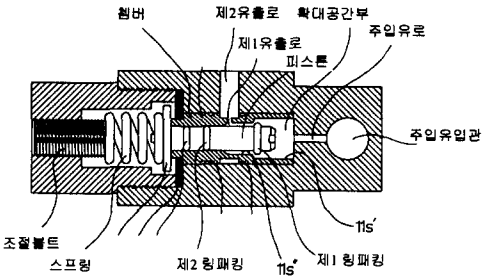

Fig. 1 Brake pressure restriction valve

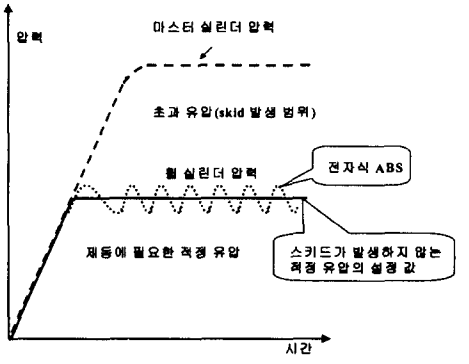

Fig. 2 Valve characteristic curve

는 확대공간부를 거쳐 제 1유출로를 통과하여, 제 2유출로를 거쳐 차륜 실린더로 이동한다. 브레이크를 더 밟거나 레버를 더 당기게 되면 주입유로와 확대공간부의 유압이 증가하면서 피스톤의 후진이 커져 유압이 조절 볼트의 조절로 이미 설정된 록크포인트에 근접하면 스프링 압축력에 의해 피스톤의 제1 링팩킹이 챔버의 안쪽 계단면(11s˝)에 밀착하여 유압유의 흐름을 차단하기에, 제 1유출로의 입구가 폐쇄하게 된다. 이러한 상태에서는 브레이크 페달을 더 깊이 밟거나 레버를 더 세게 당겨도 차륜 실린더에 가해지는 유압유의 유입이 없어 Fig. 2와 같이 전자식 ABS의 경우 차륜 실린더 유압이 변동하는데 반하여 본 기계식 ABS의 차륜 실린더 유압은 더 이상

증가되지 않고 일정 값을 유지한다.

한편, 피스톤의 후방에서 피스톤을 탄력적으로 밀어주는 스프링은 조절볼트를 조이거나 풀어줌으로써 탄발력이 조정된다. 스프링의 탄발력은 차체의 평균주행속도와 차체의 중량 및 노면상태를 고려하여 조절되며 적정탄발력은 곧 브레이크의 록크포인트에 근접한 유압과 일치한다.

3. 차륜 동력학 시뮬레이션

개발된 제동토크 제한 밸브의 ABS 효과를 설명하기 위하여 제동 시의 차륜 운동을 이론적으로 살펴보고 컴퓨터로 시뮬레이션을 수행하였다.

전자식 ABS의 성능은 전후륜 모두, 전륜에만, 후륜에만 ABS를 달았을 경우의 순으로 좋아진다[3]. 본 논문에서는 전후륜 모두에 ABS밸브를 달 수 있었지만 비용 측면에서 전륜에만 달았을 경우에만으로 시뮬레이션 및 시험을 제한하였다. 이는 모터싸이클 제동은 대부분 전륜에 먼저 가하게 되어 전륜이 먼저 잠기게 되면 횡방향 안정성을 급격히 잃어버리기 때문이다.

3.1 차륜 제동 동력학 거동

모터싸이클이 정상주행하다가 전륜에 제동토크(T_b)를 받게 되는 순간 지면과 타이어 사이에서의 마찰에 의한 제동력(F_b)이 발생하게 된다. 이 운동의 자유물체도를 그리면 Fig. 3과 같고 슬립이 일어나게 되면 타이어의 병진 속도(V)와 타이어의 반경(R)과 각속도(ω)의 곱이 더 이상 같지 않게 되고 제동력(F_b)이 기본적으로 Fig. 4와 같이 슬립률($\lambda=1-R\omega/V$)의 함수가 된다. Fig. 4에서 $\lambda=1$ 일때 (즉 $\omega=0$ 때) 차륜이 잠긴다.

이 때의 차체 및 차륜(전륜)의 운동방정식은 각각 아래와 같다.

$$m\dot{V} = -F_b \quad (1)$$

$$I\dot{\omega} = F_b \cdot R - T_b \quad (2)$$

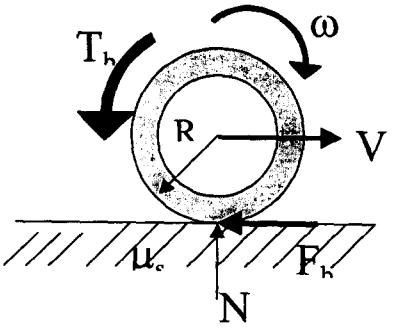

Fig. 3 Brake wheel dynamic model

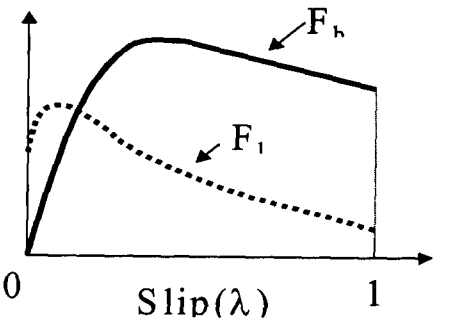

Fig. 4 Slip ratio braking force relationship

여기서 제동토크가 전륜에만 가하여진다고 가정하였기 때문에 전륜만의 회전운동방정식을 사용하였고 m은 운전자를 포함한 모터싸이클의 질량이고 I는 전륜의 질량관성모멘트이다. Fig. 4에서 보듯이 제동력(F_b)은 기본적으로 마른 아스팔트 노면에서 차륜이 잠길 때($\lambda=1$) 보다 오히려 슬립률이 0.1~0.2정도 일 때 제일 크다. 그리고 슬립률이 작을수록 더 큰 횡력(F_l)을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉 급 제동시 차륜은 잠기게 되어서 조향 입력을 주어도 노면과 타이어 사이에서 충분한 횡력을 얻을 수 없으므로 횡방향 안정성을 잃어버리게 되는 것이다. 이런 점을 이용하여 슬립율이 0.1~0.2를 유지하도록 제동토크를 제어하는 것이 일반적인 ABS의 원리가 된다.

개발된 제동력 제한 밸브의 기능은 모터싸이클

이 급제동시 순간적으로 증가하는 브레이크 유압을 차륜잠김이 발생하지 않을 정도의 일정 값으로 유지하여 차륜잠김을 방지하는 것이다. 즉 어느 정도까지만 제동토크가 증가 할 수 있도록 설정해 놓으면 차륜 슬립율과 제동력의 그래프에서 슬립율이 0.1~0.2로 유지되면서 차륜이 잠기지 않아 제동력도 충분히 얻을 수 있고 이와 더불어 횡력의 발생도 보장하여 선회시 안정성도 보장해 주게 된다. 하지만 실제로는 여러 주변환경에 대해 강인성을 갖도록 하기 위해 기준 슬립율을 더 낮게 하여야 하며 이 경우 차륜 잠김은 발생하지 않으나 최대 제동력을 얻지 못해 제동거리는 ABS밸브가 없을 경우보다 다소 길어진다. 압력 설정치는 기존의 전자식 ABS의 경우처럼 자동제어 되는 것이 아니라 어떤 정해진 하중, 노면조건에 따라 간단한 주행시험으로 운전자가 스스로 쉽게 설정할 수 있으며 매우 큰 환경변화 시 재조정이 요구된다.

3.2 차륜 제동 시뮬레이션

3.1절에서 언급한 차륜 제동 동력학을 컴퓨터로 시뮬레이션하여 제동력 제한 밸브의 기능 및 성능을 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용된 변수들은 Table 1과 같으며 전륜 및 종방향 운동의 2자유도 모델을 사용하였으며 제동시 전후륜 수직 하중 이동 효과를 고려하였고 타이어 모델은 Magic Formula를 이용하였다.

모터싸이클을 정상속도로 주행하다가 갑자기 전륜 브레이크만을 이용하여 급제동을 했을 경우를 시뮬레이션하였으며 제동력 제한 밸브가 없을 경우에는 차륜이 잠길 정도로 큰 300Nm(제동압력;Tp=70bar)의 제동토크가 차륜에 작용한다고 가정하였으며 제동력 제한 밸브가 있을 경우는 차륜에 작용하는 브레이크 압력의 제한으로 차륜 잠김이 발생하지 않을 정도의 제동토크인 170Nm(제동압력;Tb=40bar)의 제동토크가 작용한다고 가정하였다.

Table 1 Wheel dynamic parameters

Motorcycle(+ a driver) mass	171kg
Wheel Inertia	0.49kgm^2
Tire Radius	0.3m
Friction coefficient	0.8
Load at the Front wheel	763N
Tire longitudinal Stiffness	17000N/slip
Initial Speed	50km/h

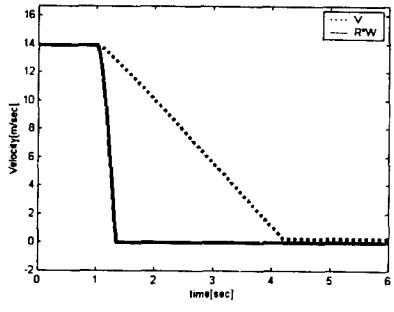

Fig. 5 V & Rω (Tb=300Nm, Tp=70bar)

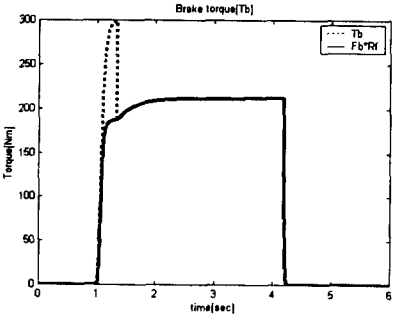

Fig. 6 Tb & Fb*R (Tb=300Nm, Tp=70bar)

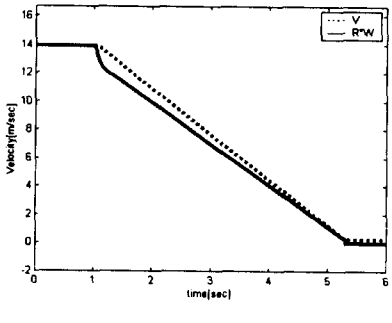

Fig. 7 V & Rω (Tb=170Nm, Tp=40bar)

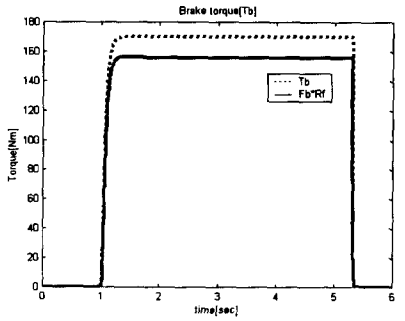

Fig. 8 Tb & Fb*R (Tb=170Nm, Tp=40bar)

Fig. 5와 Fig. 6 그리고 Fig. 7과 Fig. 8은 각각 제동토크가 300Nm일때와 170Nm일 때의 차속(V)과 차륜각속도(R*ω) 및 제동토크(T_b)와 제동력(F_b*R)을 보여주고 있다. 제동토크가 매우 큰 300Nm인 경우에는 제동토크가 가해진 후 약 0.2초 후부터는 차륜이 완전히 잠기고 차륜은 미끄러짐 운동만 함을 알 수 있다. 이 때 제동토크는 F_b*R과 같게 되는 것(Fig. 6)도 볼 수 있다. 그러나 이 시뮬레이션은 차륜이 잠긴 후에도 조향안정성을 잃지 않고 직진으로 미끄러짐 운동을 계속한다는 가정하에서의 결과로서 실제로는 조향안정성을 잃어버리므로 곧바로 넘어진다.

반면에 제동토크가 차륜잠김이 발생하지 않도록 설정된 170Nm인 경우에는 차륜과 차체가 멈출 때(V=0, ω=0)까지 차륜잠김이 발생하지 않았다. 차륜이 잠기지 않는 경우 슬립율이 0.2보다 훨씬 작은 값(0.04)정도 이었는데 이 때문에 제동거리는 차륜이 미끄러짐 운동만 할 때에 비하여 제동거리가 약 8m 정도(27m에서 35m로) 늘어났다. 하지만 제동력이 포화 되지 않아서 횡방향 안정성을 충분히 확보 할 수 있고 제동 시 감가속도도 ABS가 없을 경우보다 작아져서 운전자의 느낌이 좋아진다. 이런면에서 전자식 ABS에 비하면 제동거리 단축의 효과가 없고 오히려 늘어나는 경향이 있으나 조향안정성은 확보된다는 면에서 ABS의 첫 번째 기능은 확보된다고 할 수 있다. 차륜이 멈출 때까지 초기 제동토크는 제동력 제한 밸브에 의해 일정하게 170Nm을 유지하고 있으며 F_b*R이 주어진 T_b에 비하여 약간 작은 값을 유지하여 차륜이 등 각감속도를 가지면서 멈추고 있다. 따라서 제동토크를 적절히 제한함으로써 제동거리 감소는 얻지 못하지만 차륜잠김을 방지함으로써 횡방향 안정성을 확보하여 ABS 기본 기능을 수행함을 알 수 있다.

지금까지 시뮬레이션은 하중 변화나 노면상황 변화 또는 제동 시 초기 속도 등을 고려하지 않은 것이었으므로 제한된 제동압력이 노면 상태나 하중변화, 초기 속도에 대한 강건성을 살펴보았다. 눈길처럼 노면 마찰계수가 매우 낮은 노면조건에서는 모터사이클의 운행은 제한되며 개발된 ABS도 정상 노면에서만의 급제동시 차륜잠김 방지를 목적으로 하고 있다. 어느 정도 젖은 노면(마른 노면일 때로부터 노면 마찰계수 25% 감소)에서도 잘 작동하며 하중이 50%정도 증가하게 되면 충분한 제동력이 발생하진 못하지만 차륜잠김은 생기지 않아서 선회 안정성을 잃지 않는다는 면에서 좋고 하중감소에는 다소 민감하여 10%하중 감소까지는 ABS의 제 기능을 발휘하지만 20% 하중감소에 대해서는 ABS의 기능을 상실하게 됨을 알 수 있었다. 제동시 초기속도에 대한 강건성을 보기 위해 주행 속도를 30km/h~70km/h까지 변화시키면서 제동을 하였을 때 모든 경우 차륜은 잠기지 않고 다만 초기 속도가 클수록 제동거리가 증가하였다.

따라서 매우 큰 노면 및 하중변화에 대해서는 제동력 제한 밸브의 스프링 설정치를 보정해 주는 것이 안정성을 더욱 보장한다.

4. 실차 시험

ABS로서의 제동력 제한 밸브의 성능 시험을 위해 실제 오토바이(125cc)에 개발된 제동력 제한 밸브를 장착하여 실차 시험을 수행하였다.

Fig. 9는 제동레버를 잡은 후 마스터 실린더와 브레이크 디스크의 압력을 측정한 것인데 마스터 실린더 압력은 레버를 잡는 힘에 따라 100bar 이

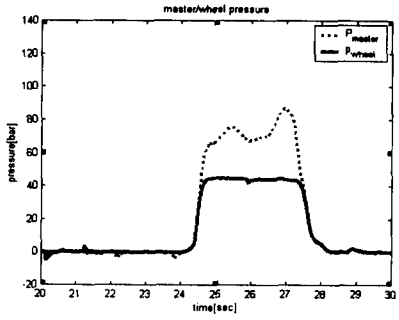

Fig. 9 Master and wheel cylinder pressure

상으로 커질 수 있는 반면 브레이크 디스크의 압력은 설정된 제한 압력(여기서는 40bar)을 유지하고 있음을 볼 수 있다.

주행시험으로는 마른 노면에서 50km/h와 55km/h로 주행하다 급제동하는 시험과 젖은 노면에서 60km/h로 주행하다 급제동하는 시험을 수행하였다. Fig.9와 10은 50km/h와 60km/h의 정상속도로 주행하다 급제동하는 시험의 결과이다.

Fig. 10을 보면 ABS가 없이 50km/h로 마른 노면을 주행하다 급제동했을 경우에는 두 실린더의 압력이 약 50bar로 같으며 차륜의 평균 각감속도는 -23.8rad/sec^2 이고 (더 급격히 감속) 중간에 차륜속도가 다시 증가하는 것은 운전자가 조향안정성을 잃을까 염려하여 다시 제동을 해지하는 것을 보여주고 ABS가 있을 경우에는 차륜쪽 압력이 35 bar 정도로 제한되며 차륜의 평균 각감속도가 -13.6rad/sec^{2}이다(부드럽게 감속). 즉 차륜 잠김 없이 조향안정성을 잃지 않고 멈춘다. 60km/h로 젖은 노면을 주행하다 급제동했을 경우(Fig.11; 빗길주행 시험시 ABS 있는 경우는 60km/h의 속도를 내었지만 ABS가 없는 경우에는 운전자의 능력상 50km/h까지밖에 속도를 내지 못하였음)에도 50km/h로 마른 노면을 주행하다 급제동했을 경우(Fig. 10)과 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다.

Table 2는 각 시험 조건에 따른 차륜 각감속

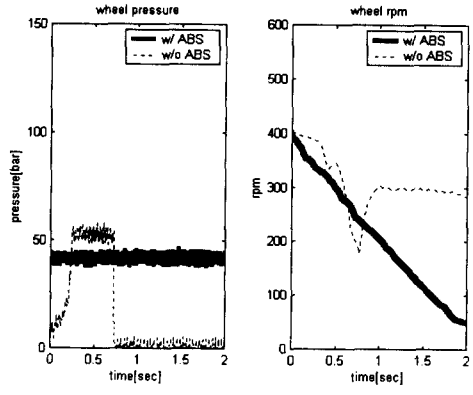

Fig. 10 Dry asphalt road (50km/h)

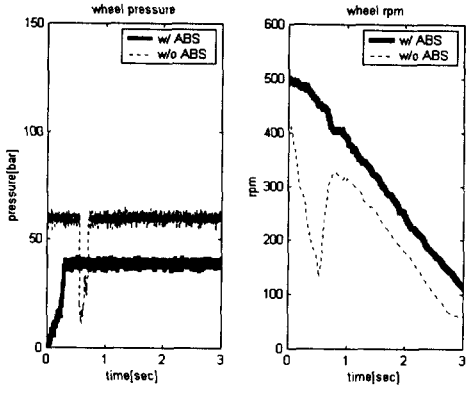

Fig. 11 Wet asphalt road (60km/h)

도를 나타내는 데 주행속도가 커지거나 젖은 노면을 달리는 등 더 극한 상황으로 갈수록 ABS가 없는 경우에는 차륜 각감속도가 커지면서 그만큼 차륜이 잠기는 경향이 커진다. 본 시험에서는 운전자의 안전 상 차륜잠김이 발생하기 전에 브레이크 레버를 놓았지만 브레이크 레버를 놓기 이전까지의 각감속도를 봄으로써 차륜잠김을 예상할 수 있다. ABS가 있는 경우에는 모든 시험 경우에 대하여 각감속도가 -14 rad/sec^{2}이하로서 완만한 차륜 감속도를 얻을 수 있었고 따라서 차륜은 오토바이가 정지시까지 차륜잠김이 안 이루

어지고 있으므로 ABS의 기능을 어느정도 수행하고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Braking wheel decelerations w.r.t test conditions

	W/O ABS	W/ ABS
50km/h & 마른 아스팔트	-23.8rad/s^2	-13.6rad/s^2
55km/h & 마른 아스팔트	-30.0rad/s^2	-14.0rad/s^2
60km/h & 젖은 아스팔트	-42.6rad/s^2	-13.6rad/s^2

5. 결 론

모터싸이클의 급제동시 차륜 잠김이 발생하지 않도록 하는 적정 제동 유압을 유지하도록 하는 제동압력 제한밸브를 개발하여 모터싸이클의 기계식 ABS를 만들었다. 차륜동력학과 시뮬레이션을 통해 이론적으로 제한된 제동토크로 ABS의 작용이 이루어지는지를 살펴보았고 실차 실험을 통해 제동압력 제한밸브의 모터싸이클에 적용 가능성을 보였다.

참 고 문 헌

1) Automotive Brake Systems, 1st Edi, Robert Bosch GmbH, 1995.

2) ABS II for Motorcycles, FTE automotive brochure.

3) Y. Toyofuku, K. Matsushima, Y. Irie, H. Yonezawa and K. Mizuno, "Study on the effects of motorcycle antilock braking system for skilled and less skilled riders regarding braking in a turn", JSAE Review Tokyo, Vol.15, No.3, pp. 223-228, 1994

4) 지동익, 자동차 안티록 브레이크 시스템 장치용 유압제어 밸브, 특허 등록 제 118157호.