

승용차의 Single Wheel에 대한 Antilocking-Brake-System의 구성 및 Test Rig을 이용한 제동실험

Set Up of an Antilocking-Brake-System for the Single Wheel of Passenger Cars and Brake Test Using a Test Rig

홍 예 선*, 지 태 수**, 고 창 복***
Y. S. Hong, T. S. Chi, C. B. Ko

ABSTRACT

In this study an antilocking-brake-system was set up for the single wheel of passenger cars. The control algorithm for the system was programmed by C-language and executed by a 16 bit personal computer, which took the role of an electronic control unit. The performance of the antilocking-brake-system was tested using a test rig, which was specially designed and built up for the simulation of braking on the slippery road. The test results were satisfactory. Although the simulation method of the friction characteristics between the tire and the contact surface on the test rig appeared not to be absolutely suitable, the test rig allowed the basic investigation of the influence of the antilocking brake control on the wheel slip.

1. 서 론

눈길과 같은 미끄러운 노면 위에서 자동차를 운전하는 도중에 위급한 감속을 하기 위하여 브레이크를 급히 밟게 되는 경우, 타이어에 작용하는 노면의 마찰력이 매우 작으면 자동차의 각 차륜에 장착된 브레이크 장치에 의해 타이어의 구름 회전은 곧바로 정지하게 된다. 그러나 차체가 갖는 관성력은 노면의 마찰력이 작기 때문에 전혀 감소되지 않은 상태이므로 차체는 주행해 오던 방향으로 계속 진행하게 된다. 따라서 타이어는 구름 회전이 정지된 상태이나 차체의 관성 때문에 미끄러운 노면 위를 그대로 미끄러져 나가게 된다. 이

러한 상태를 타이어가 록킹(locking) 되었다고 표현하는데, 이 현상이 일단 발생하면 타이어와 노면간의 마찰력은 더욱 감소하여 제동거리가 길어짐은 물론, 장애물을 피하기 위하여 조향 핸들을 틀어도 타이어의 횡방향 마찰력이 크게 감소된 상태이기 때문에 전륜의 조향이 불가능해 지는 치명적인 위험이 뒤따른다. 그리고 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴에 작용하는 노면 마찰력이 서로 다를 때에 급제동을 걸어 타이어에 록킹이 발생하면 직진 제동을 못하고 제동과 동시에 급회전을 하는 불의의 상황도 발생하게 된다.

본 논문은 어떠한 주행조건 및 노면조건하에서도 운전자의 과도한 브레이크 조작에 의

* 정회원, 한국과학기술연구원 기계공학부 로보트응용 및 유공압 연구실

** ㈜현대자동차 연구개발부

*** ㈜만도기계 기술연구소

해 타이어에 록킹이 발생하는 일이 없도록 유압식 브레이크의 제동압력을 자동으로 제어해주는 전자제어식 Antilocking-Brake-System (이하 ABS라 약칭함)에 관한 것이다. 자동차에 ABS를 장착하게 되면 미끄러운 노면 위에서 운전자가 실수로 브레이크를 과도하게 작동시켜도 차체의 직진안정성이 보장되고 동시에 전륜의 조향능력이 보지며 가능한 한 짧은 거리에서 제동이 이루어지도록 브레이크의 제동압력이 자동으로 제어된다.

ABS의 기본 원리이자 목표는 타이어에 제동 토오크가 작용할 때 발생하는 타이어와 노면과의 슬립을, 즉

$$\text{슬립율} = (V - r\omega) / V \times 100 (\%)$$

여기에서 V = 차체의 주행속도

r = 타이어의 반경

ω = 타이어의 회전속도

이 그림 1에서 보는 바와 같이 10%~30% 범위 내에서 유지되어 타이어와 노면간의 마찰계수가 최대치를 보지하도록 유압식 브레이크의 제동 압력을 제어해 주는 것이다. 타이어의 슬립율이 30% 보다 증가하게 되면 차량 진행방향의 타이어 마찰계수가 감소함은 물론, 그림에서 보는 바와 같이 횡방향의 마찰계수(lateral friction coefficient)가 급격히 감소하여 차체의 직진 안정성이 저하되고 전륜의 조향능력이 상실된다.¹⁾ 그림에서 α 는 타이어의 좌우 대칭면과 실제의 구름방향이 이루는 각도인 skew angle로서 α 가 클수록 슬립율의 증가에 따른 횡방향 마찰계수의 감소가 더욱 현저하게 나타난다.

현재까지 개발된 전자제어식 ABS의 기본 구성을 차를 하나에 대하여 대표적으로 도시하면 그림 2와 그림 3과 같이 두 종류로 나타낼 수 있다. 그림 2는 차륜의 브레이크 실린더에 작용하는 유압이 전자제어기의 명령에 따라 증가, 감소 혹은 유지되도록 제어해 주기 위하여 각 차륜의 브레이크마다 2개의 2-port/2-position 솔레노이드 밸브를 사용할 경우이고 그림 3은 각 브레이크마다 1개의 3-port/3-position 솔레노이드 밸브를 사용한 경우이다.

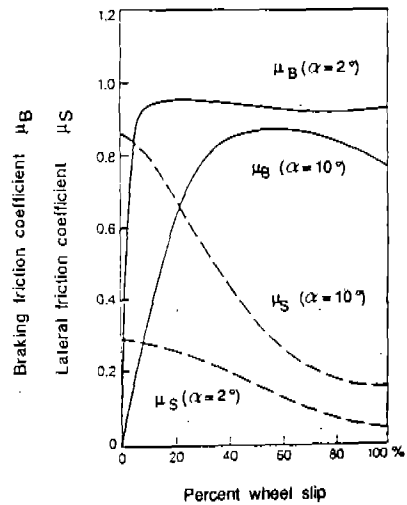


그림 1 Wheel slip이 타이어와 노면 간의 마찰계수에 미치는 영향¹⁾
(α = 타이어의 skew angle)

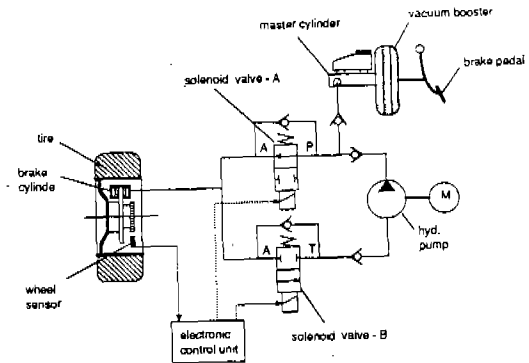


그림 2 각 브레이크마다 2개의 2-port/2-position 솔레노이드 밸브에 의해 제동압력이 제어되는 ABS의 기본 구성도

그림 2에서와 같이 2개의 2-port/2-position 솔레노이드 밸브를 사용할 경우, 두 솔레노이드 밸브에 흐르는 전류를 동시에 차단하면 브레이크 오일이 브레이크 실린더에 강제로 공급되어(P→A) 브레이크의 제동유압이 상승하게 되고, 같은 조건에서 솔레노이드 A에만 전류를 가하면 브레이크 실린더내 브레이크 오일의 공급 및 배출이 모두 차단되므로 제동유압은 솔레노이드 A의 작동 직전의 압력으로 일정하게 유지된다. 그러나 두 솔레노이드에 동시에 전류를 가하면 브레이크 오일

이 유압펌프에 의해 브레이크 실린더로부터 흡입되어(A-T) 제동압력은 빠르게 감소한다. 이러한 작동방식에 있어서는 솔레노이드 밸브의 구조가 비교적 간단하다는 것이 장점이 될 수 있는 반면, 각 브레이크 실린더마다 2개의 솔레노이드 밸브가 필요하므로 자동차의 4륜의 브레이크 압력을 동시에 제어해야 하는 ABS 전체를 고려할 때 밸브의 수가 많아지는 것이 단점이다.

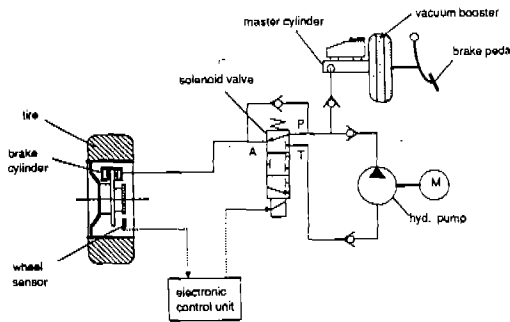


그림 3 각 브레이크마다 1개의 3-port/3-position 솔레노이드 밸브에 의해 제동압력이 제어되는 ABS의 기본 구성도

그림 3에서와 같이 각 브레이크 실린더마다 1개의 3-port/3-position 솔레노이드 밸브를 사용할 경우에는 솔레노이드 밸브에 가하는 전류의 크기에 2단계의 일정한 계단이 있어서 솔레노이드 밸브에 전류를 전혀 가하지 않으면 브레이크 실린더 측의 A 포오트와 펌프 토출구 측의 P 포오트가 연결되어 제동압력이 증가하고, 솔레노이드 밸브에 일단계의 낮은 전류를 가하면 유압펌프와 브레이크 실린더간의 모든 유로가 차단되어 제동압력이 일정하게 유지되며, 2단계의 더 높은 전류를 가하면 브레이크 실린더 측의 A 포오트와 펌프 흡입구 측의 T 포오트가 연결되어 제동압력이 감소하도록 되어 있는 것이 그림 2와 다른 점이다. 이 작동 방식에 있어서는 솔레노이드 밸브의 구조 자체는 2-port/2-position 밸브보다 복잡해지나 ABS 전체로는 밸브의 수가 적어진다는 장점이 있다.

전체적인 구성으로는 4바퀴의 브레이크 압

력을 각각 독립적으로 제어해주거나(4 channel system), 전륜은 두 바퀴의 브레이크 압력을 독립적으로 제어하고 후륜은 두 바퀴의 브레이크 압력을 한 계통으로 제어해 주는(3 channel system) 방식이 보편화되어 있고 차륜 속도센서 역시 4바퀴 모두에 각각 장착하거나(4 sensor system), 전륜에 각각 두개, 후륜 차축에 한개를 설치할 수 있다(3 sensor system).³⁾

전자제어기가 하는 역할은 4바퀴 중 어느 한 바퀴나 혹은 여러 바퀴에 록킹이 발생하려 할 때 해당되는 바퀴(들)의 회전속도 감속률을 차륜 센서에 의해 감지하여 록킹이 풀리도록 제동유압 제어용 솔레노이드 밸브들을 제어해 주는 것이다. 이 때에 적용되는 가장 보편화된 제어 알고리즘을 그림 3의 ABS 구성에 대하여 도시하면 그림 4와 같다.⁵⁾

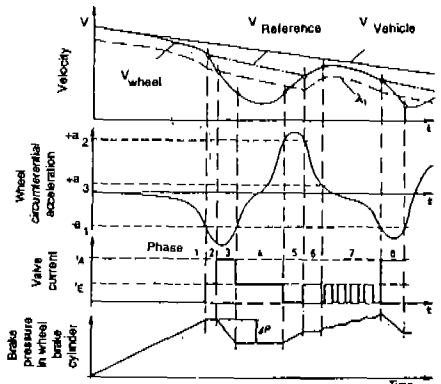


그림 4 ABS의 일반적 제어 알고리즘⁵⁾

ABS 제어의 궁극적인 목표는 그림 1에서 설명한 바와 같이 타이어와 노면간의 슬립율을 10%~30% 범위내에서 유지시키는 것이다. 슬립율의 감지 내지는 산출을 위해서는 차륜의 원주속도와 차체의 실제 주행속도에 관한 정보가 요구된다. 차륜의 원주속도는 차륜에 전자기식 회전속도 센서를 장착하여 감지할 수 있으나 차체의 절대 주행속도는 gyro와 같은 고가의 센서를 사용하여야만 측정이 가능하다. 별도의 센서를 사용하지 않고 차체의 주행속도에 대한 정보를 얻는 실용적 대안으로서는, 차륜의 회전속도 감지와 소프트웨어적인 추정

에 의해 간접적으로 차체의 주행속도에 대한 근사치(이하 그림의 reference velocity로 정의함)를 산출하는 방법을 주로 쓰게 된다. 즉, 타이어가 록킹되지 않은 조건에서는 차륜의 회전속도로부터 reference velocity를 구하고, 차륜에 록킹이 발생하면 차륜의 회전속도와 차체의 실제 주행속도 간에는 큰 차이가 생기므로 록킹 발생 직전에 구한 reference velocity로부터 일정한 감속률로 차체 속도가 감소한다고 가정하여 reference velocity를 소프트웨어적으로 산출한다. 그리고 제동압력의 감소에 의해 록킹이 해소되는 과정에서 소프트웨어적으로 산출한 reference velocity와 차륜의 회전속도로부터 구한 reference velocity가 일치하는 시점부터는 본래대로 차륜의 회전속도로부터 구한 reference velocity를 차체의 주행속도로 간주한다. reference velocity가 구해지면 이를 기준으로 슬립율이 10%에 해당되는 차륜의 원주속도 경계치, λ_1 threshold를 구할 수 있게 된다. 그림에서와 같이 차륜의 원주속도의 변화에 따라 가속도 threshold와 속도 threshold를 이용하여 제동압력의 증감 및 압력구배를 phase 별로 어떻게 제어할 것인가 하는 기본 알고리즘은 궁극적으로 자동차에 ABS를 실제로 적용했을 때의 록킹 방지 제동 효과가 어떻게 나타나는가가 중요하므로 작동방식이 상이한 제동유압 modulator를 사용하는 ABS 개발업체들에 따라서 다소 차이가 있을 수 있다.

이상과 같이 기술한 ABS의 기본 작동원리에 대하여는 많은 문헌들에 상세히 발표되어 있다.^{2~6)}

본 논문은 ABS 시스템의 국산화 개발을 위하여 한국과학기술연구원의 로봇 응용 및 유공압연구실에서 1987년부터 수행해온 기초 연구의 일환으로서 자동차의 single wheel에 대한 ABS를 실제로 구성하여 제동실험을 수행한 방법과 그 결과를 소개하고자 한다.^{7~8)}

본 실험연구에서는 자동차의 single wheel에 대하여 마찰력이 작은 노면에서의 제동 상황을 실험실에서 모의 재현시킬 수 있는 test rig를 설계, 제작하고 이미 실용화된 ABS 용

솔레노이드밸브 및 유압 power unit을 이용하여 single wheel의 제동압력을 제어할 수 있도록 구성하되 전자제어기로서는 퍼스널 컴퓨터를 사용하여 휠 록킹을 방지하는 제동압력 제어 알고리즘을 직접 프로그램하였다.

ABS의 유압회로방식은 그림2와 그림3에 보인 두가지 방식을 각각 구성하여 성능상의 차이 여부를 확인해 보았다.

2. Single wheel에 대한 Antilocking-Brake-System의 구성

그림5는 본 논문의 대상인 single wheel에 대한 ABS의 구성을 나타낸 것이다. 유압펌프를 비롯한 유압 power unit는 서독 Bosch사의 제품을 활용하였고 그림2 및 그림3의 유압 회로 구성에 필요한 솔레노이드 밸브는 Bosch사의 3-port/3-position type 밸브와 Teves사의 2-port/2-position type 밸브를 각각 사용하였다. 그림의 시스템 구성은 Bosch사의 솔레노이드 밸브를 사용한 경우를 보여주는 것이다. 차륜 센서로는 편의상 tachogenerator를 이용하였다. 전자제어기(ECU)는 IBM 기종의 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 제어 알고리즘을 수행하게 하였고 차륜센서와 솔레노이드 밸브 구동용 전류증폭기를 컴퓨터와 인터페이스시키는 데에는 상용 12bit A/D-D/A board를 사용하였다. 브레이크 시스템과 차륜은 현대 포니의 전륜 어셈블리를 사용하였다.

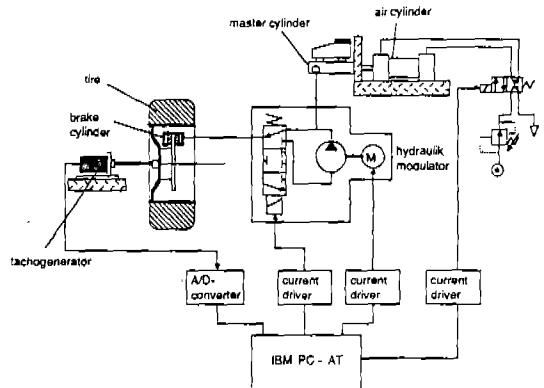


그림5 Single wheel에 대한 ABS의 구성도 (Bosch사의 3-port/3-position 밸브를 사용한 경우)

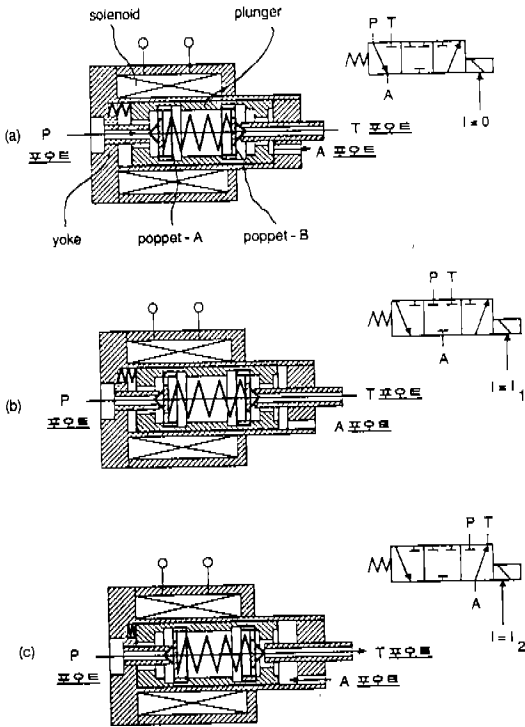


그림 6 Bosch 사 솔레노이드밸브의 구조 및 작동원리⁶⁾

그림 6은 서독 Bosch사의 ABS용 솔레노이드 밸브의 작동원리를 그림으로 나타낸 것이다. 그림의 밸브는 하나의 전기 솔레노이드로 3-port/3-position의 방향변환이 가능하도록 플런저에 두개의 포펫 밸브가 내장된다. 그림 6. a에서 보듯이, 솔레노이드에 전류가 전혀 흐르지 않으면 P 포트와 A 포트가 연결된 상태가 된다. 그림 6. b에서와 같이 솔레노이드에 일단계의 일정한 전류가 흐르면 A 포트는 P 포트 및 T 포트 모두와 단절된다. 그림 6. c에서와 같이 솔레노이드의 전류가 2 단계의 더 높은 전류로 증가되면 포트 A와 포트 T가 연결된다. 이러한 구조는 현재까지 실용화된 모델의 대표적인 구조이다.

3. Single wheel에 대한 ABS test-rig의 구성

그림 7은 ABS test-rig의 구성을 도시한 것이다. 실험방법은 전기 모터를 이용하여 플라

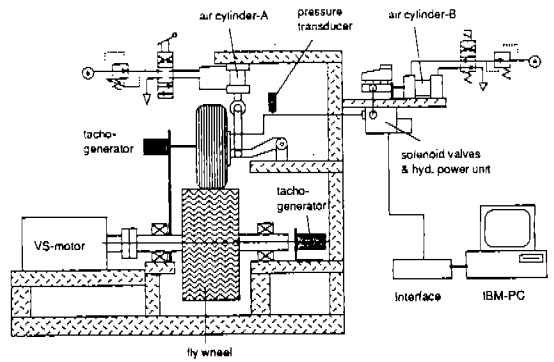


그림 7 ABS test-rig의 구성도

이 휠 (fly wheel)을 일정한 회전속도까지 구동한 다음 마그네틱 클러치(magnetic clutch)를 끊고 브레이크를 작동시키게 된다. 여기에서 플라이 휠의 관성 모멘트는 차체의 관성 모멘트에 증가하도록 그 크기를 설계하였고 플라이 휠과 차륜간의 마찰력에 영향을 주는 수직 접촉력은 공압실린더-A의 작동압력에 의해 조절할 수 있게 되어 있다. 따라서 공압실린더의 작동압력이 낮은 조건에서 브레이크를 작동시키게 되면 타이어에 작용하는 마찰력이 작으므로 타이어에 슬립이 발생되어 마찰계수가 낮은 노면에서의 급제동과 유사한 상황을 재현시킬 수 있다. 즉, 이 test rig에서는 타이어에 작용하는 마찰력에 영향을 주는 마찰계수와 수직접촉력 중에서 실제와 같이 마찰계수를 변화시키는 대신에 수직접촉력을 변화시키게 된다.

마스터 실린더에 의한 수동 제동은 솔레노이드 밸브에 의해 제어되는 공압실린더-B를 이용하여 마스터 실린더의 피스톤을 직접 구동시키게 함으로써 실현시켰다. 제동압력의 크기는 공압실린더에 공급되는 공기압의 최대치를 압력밸브로 제한함으로써 설정할 수 있다.

그리고 ABS의 제어 알고리즘상에서 차륜의 원주속도로부터 차체의 속도를 추정할 결과를 실제 차체 속도의 측정결과와 비교할 수 있도록 차체의 속도에 해당하는 플라이 휠의 속도를 tachogenerator에 의하여 측정할 수 있게 하였다. 그림 8은 test rig의 실물 전경이다.

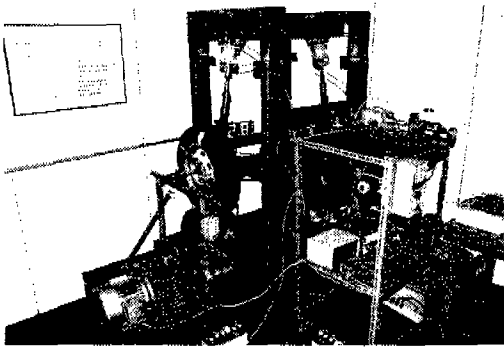


그림8 ABS test-rig의 실물 전경

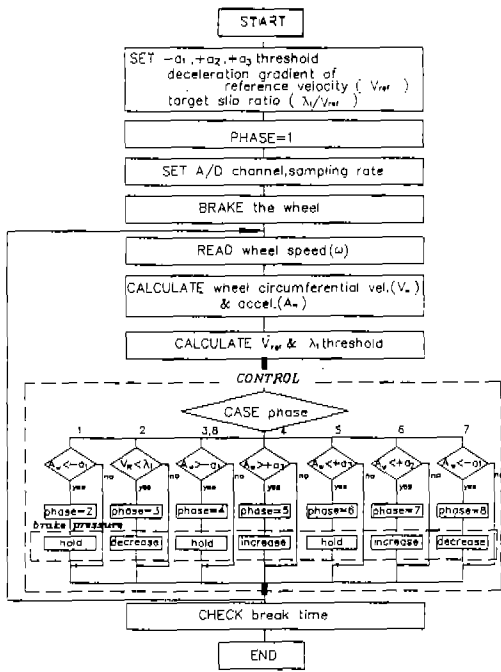


그림9 ABS 제어 알고리즘의 flow chart

4. Single wheel에 대한 ABS 제어 알고리즘의 구성

그림 9는 그림 4에 보인 ABS 제어 알고리즘을 수행할 수 있도록 본 연구에서 프로그램한 ABS 제어 알고리즘의 flow chart이다. 제동 압력을 증감시키는 판단의 기준이 되는 차륜의 원주 가속도 threshold 값, 록킹 발생시 차륜의 슬립율을 산출할 수 있도록 소프트웨어적으로 추정하여 구하는 차체 reference velocity,

V_{ref} 의 감속을 가정치, 슬립율의 제어 범위 등, 제어 파라미터들을 입력시키고 하드웨어적인 초기치 설정이 이루어진 후 공압실린더에 의해 마스터 실린더를 작동시켜 브레이크가 최초로 작동되면 브레이크 실린더내의 제동 압력이 상승되고 차륜의 속도가 줄어든다. 차륜의 회전속도, ω 로부터 원주속도, V_w 와 원주가속도, A_w 를 산출하여 차륜의 원주감속도가 가속도 threshold(-) a_1 보다 커지면 ABS가 작동되기 시작하여 제어모드가 phase 1에서 phase 2로 바뀌면서 제동압력의 증가를 중단 및 유지시킨다(그림 4 참조). 이것은 차륜의 원주감속도가 (-) a_1 threshold를 초과하여도 노면과 타이어의 마찰 특성이 슬립이 증가할수록 마찰력이 증가하는 안정된 영역에 있으므로 제동압력을 즉시 감소시킬 필요가 없기 때문이다. 이 시점부터는 휠 록킹이 진전됨에 따라 차륜의 원주속도로부터 차체의 주행속도에 대한 근사치인 reference velocity, V_{ref} 를 추정할 수 없으므로 이 구간에서 차체가 일정한 감속률(예를 들면, -1 G) 감속된다고 가정하여 V_{ref} 를 산출한다. 그리고 이 V_{ref} 로부터 최대 허용 슬립율을 초과하지 않는 속도 threshold, λ_1 값을 결정한다. 제동효과에 의해 차륜의 원주속도가 속도 threshold, λ_1 보다 작아지면 슬립율이 허용치를 초과한 것으로 간주하여 phase 2가 끝나고 phase 3로 되면서 제동 압력을 감소시킨다. 이로 인해 차륜의 가속도가 회복되어 다시 (-) a_1 threshold 보다 높아지면 phase 3가 끝나고 제동압력이 유지되는 phase 4가 된다. 이때 일정시간(50msec) 이상 유지신호가 지속될 경우에는 제동 압력을 다소 감소시켜 차륜을 가속시킬 수 있다. 이 기간동안 차륜의 가속도가 계속 증가되어 (+) a_2 threshold 보다 높아지면 phase 4가 끝나고 phase 5가 된다. phase 5에서는 차륜 가속도가 다시 (+) a_2 threshold 보다 낮아질 때 까지 제동 압력을 증가시킨다. phase 6에서는 차륜 가속도가 (+) a_3 threshold보다 작아질 때까지 제동 압력을 유지시킨다. 차륜 가속도가 (+) a_3 threshold 보다 낮아지면 phase 6이 끝나고 phase 7이 된다.이

때 차륜은 다시 노면과 타이어의 마찰 특성이 안정된 영역에 접어든다. phase 7은 록킹이 풀린 차륜의 제동 압력을 단계적으로 증가시키면서 안정된 제동력을 얻는 구간으로서 on-off 솔레노이드 밸브의 개폐기간을 pulse width modulation에 의하여 제어하게 된다. 즉, 이 구간에서는 노면과 타이어의 슬립율을 10~20% 범위내로 유지하여 제동거리를 단축시키고 전륜의 조향을 위한 횡방향 마찰력이 확보된다. 제동력이 계속 증가하여 휠 록킹이 다시 발생하면 phase 3과 제어조건이 동일한 phase 8로 제어모드가 바뀐 후 다음 모드인 phase 4부터 제어공정을 다시 반복하게 된다.

이상과 같은 제어 알고리즘은 C언어를 사용하여 프로그램하였고 IBM-PC AT 기종의 컴퓨터에 의해 약 6 ms 마다 차속을 읽어 들이고 제어 신호를 산출하여 솔레노이드에 전류신호를 보내도록 하였다.

5. 실험결과 및 검토

그림 10은 플라이 휠을 300rpm까지 가속, 회전시키다가(차속 36KPH에 해당) 마그네틱 클러치를 끊은 다음 ABS를 작동시키지 않는 조건에서 마스터실린더를 작동시키는 공압실린더에 압력을 가함으로써 차륜에 제동을 걸었을 때에 제동압력의 변화를 측정 한 것이다. 제동압력이 상승하는 데에 걸리는 시간은 공압 솔레노이드 밸브의 작동시간과 공압실린더 내에 압력이 형성되기까지 소요되는 시간 지연에 주로 기인하는데, 실제로 사람이 브레이크 페달을 밟을 때와 거의 비슷하다고 볼 수 있다. 제동압력의 최대치는 35bar로 설정하였다. 그리고 차륜과 플라이 휠에 작용하는 수직 접촉력은 아스팔트로 포장된 빗길에서의 마찰력에 해당하는 힘이 타이어에 작용하도록 설정하여 제동시에 휠 록킹이 발생할 수 있도록 하였다. 이러한 조건하에서 차륜에 록킹이 발생한 상황을 측정 한 것이 그림 11이다. 플라이 휠은 관성 모멘트 때문에 약 0.2m/s²의 거의 일정한 감속률로 감속하나 차륜은 록킹

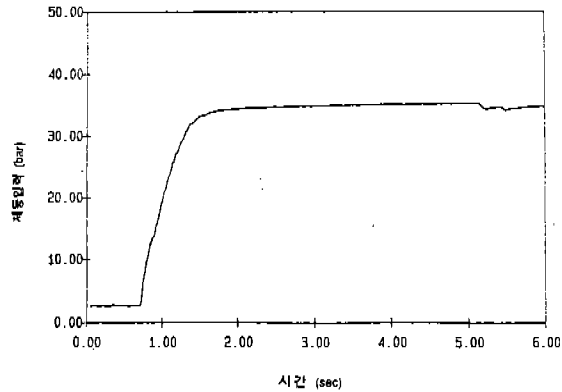


그림 10 ABS를 작동시키지 않는 제동시의 제동압력의 변화

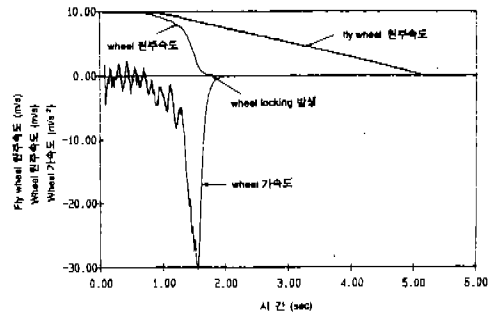


그림 11 ABS를 작동시키지 않는 제동시의 차륜의 속도 및 가속도 변화

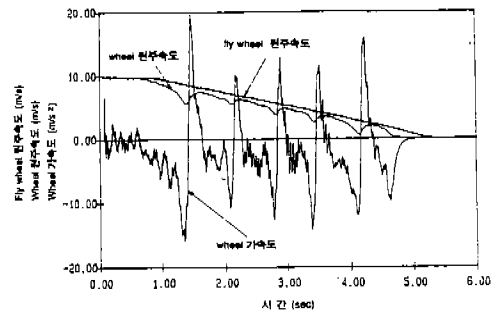


그림 12 ABS를 작동시킬 때의 fly wheel 속도, 차륜속도, 차륜가속도의 변화

이 발생한 후 최고 30m/s²의 감속률로 1초 이내에 정지하는 것을 볼 수 있다.

그림 12는 동일한 실험조건하에서 본 연구에서 구성한 ABS를 작동시켰을 때에 플라이 휠의 회전속도, 차륜의 회전속도 그리고 차륜의 회전속도 변화율로부터 계산한 감속도를 계속

한 결과이다. 이때 적용한 알고리즘상의 threshold 값은 시행착오를 거쳐 $-a_1 = -10 \text{ m/s}^2$, $+a_2 = 8 \text{ m/s}^2$, $+a_3 = 3 \text{ m/s}^2$ 로 튜닝(tuning) 되었다. 그리고 V_{ref} 의 감속구배는 -1 G 로 설정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 ABS가 작동되면 차륜의 제동 슬립율이 10%~30% 범위로 제어되면서(그림13참조) 차륜이 록킹되지 않는 상태에서 제동이 걸리게 된다.

그림 13에서 타이어의 회전이 거의 정지된 저속에서 슬립이 발생하고 슬립율이 증가한 것은 관성에 의한 차륜의 가속도 회복력이 없는 상태에서 압력제어모드가 압력증가의 phase에서 중단되었기 때문이다. 반대로 압력감소 phase에서 압력제어모드가 중단되면 브레이크가 풀린 상태로 차륜이 공회전을 하는 바람직하지 못한 상황도 발생하게 된다. 이러한 현상은 제어 알고리즘의 보완으로 해결할 수 있을 것이다.

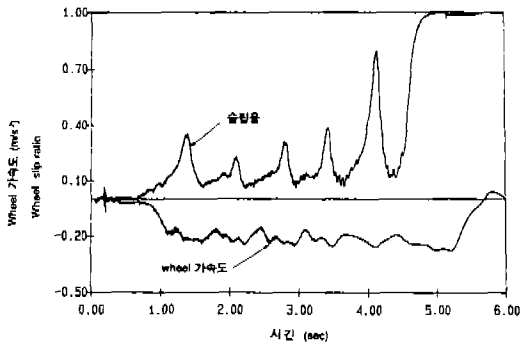


그림 13 ABS를 작동시킬 때의 wheel slip의 변화

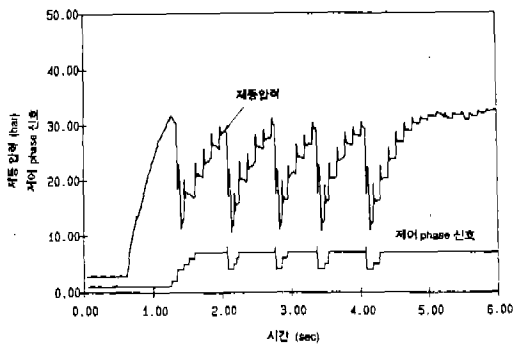


그림 14 ABS를 작동시킬 때의 제동압력의 변화

그림 14는 ABS 작동시의 제동실험 조건에서 브레이크 실린더내에 작용하는 유압의 변화와 컴퓨터에서 솔레노이드 밸브 구동 앰프로 출력시킨 제어신호의 phase를 전압신호로 표시하여 기록한 것이다(예를 들어 7V는 phase 7에 해당).

그림 15는 Bosch사의 ABS를 장착한 국산차량의 제동실험을 통해 록킹이 발생한 차륜에 대하여 ABS가 작동될 때 차체 속도, 차륜 속도, slip ratio, 제동압력 등을 실제로 계측한 데이터이다(현대자동차 제공). 이 그림과 그림 13 및 그림 14를 비교하면 본 연구의 test rig를 이용한 모의 ABS 제동실험이 실제와 유사한 상황을 재현시켜 주는 것을 알 수 있다.

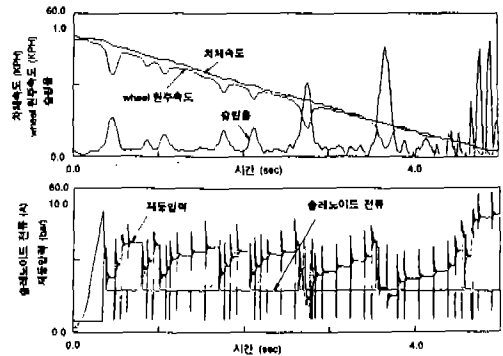


그림 15 ABS를 장착한 차량의 실제 제동실험 시 록킹이 발생한 차륜에서의 주요변수 변화

Test rig를 이용한 제동 실험에서 ABS 작동시의 제동거리가 ABS 비작동시의 제동거리와 큰 차이가 없는 것은 슬립율이 10%~30%인 범위를 벗어나도 마찰계수가 별로 차이가 나지 않거나 오히려 증가하기 때문이다. 이러한 점이 실제 상황과 같이 플라이 휠 표면의 마찰계수를 직접 변화시키지 않고 타이어의 수직력을 변화시켜 마찰력에 영향을 주게 하는 방식의 test rig가 갖는 단점이다. 따라서 저마찰계수의 노면에서 ABS를 사용했을 때에 제동거리가 짧아지는 현상까지를 test rig에서 관찰하려면 타이어에 작용하는 마찰력의 슬립에 대한 변화 특성을 test rig에서

재현할 수 있는 다른 방법이 요구된다.

그림 13의 결과를 보면 제동압력의 변화에 있어서 일부 phase가 구분하기 어려울 만큼 짧은데, 타이어의 마찰특성 등 실험조건이 바뀌면 phase 간의 분포가 달라지게 되고 제동 효과도 변하게 되나, 이것을 실험적으로 확인하는 것은 위와 같은 test rig의 한계 때문에 어려웠다.

Teves사의 밸브를 이용한 그림 2와 같은 구성의 ABS에 대하여 제동실험을 실시한 결과는 밸브의 특성 자체가 Bosch사의 밸브와 대동소이 하기 때문에 지금까지 소개한 결과와 거의 유사하였다. 참고적으로, 본 연구에서 구성한 test-rig에서 Bosch 밸브를 사용하여 step 형태의 압력증가신호를 가했을 때 압력이 증가하는 time constant는 약 25ms 정도이고 압력감소신호에 대한 응답 time constant는 약 16ms 정도로 나타났다.

6. 결 론

본 논문에서 소개한 test rig를 이용한 Antilocking-Brake-System의 제동실험은 국내에 아직 연구사례가 없을 뿐만 아니라 외국에서 구체적인 기술공개를 꺼리는 상황에서 적은 경비를 들여 Antilocking-Brake-System용 전자제어기, 솔레노이드밸브, 유압 power unit 등의 국산 개발에 도움이 되는 귀중한 기초자료를 제공하였다.

본 논문에서 소개한 제어 알고리즘은 single wheel에 대한 것으로서 Antilocking-Brake-System의 기본 원리를 이해하는 데에는 충분하다. 그러나 실제로 자동차의 4륜에 대하여 제동압력을 제어하려 할 때에는 차체의 거동에 미치는 영향을 고려한 제어 알고리즘상의 많은 보완이 뒤따라야 한다. 이것은 ABS를 장착한 차량의 동역학적 거동을 전산 simulation 등의 방법으로 규명함으로써 접근할 수 있을 것이다.⁷⁾

그리고 제어 알고리즘상에서 제동압력의 증감 속도를 설정할 때 실험적인 튜닝에만 의존하지 않으려면 솔레노이드밸브와 유압 power

unit, 배관의 특성 내지는 사양이 제동압력의 동적인 제어에 미치는 영향을 체계적으로 규명하는 것이 요구된다.

7. 향후 연구계획

Single wheel에 대한 실험 연구의 다음 단계로서 KIST에서는 산업체와 공동으로 자동차의(전륜 또는 후륜에 대한) 좌우 two wheel model 실험용 ABS test rig를 새로 제작, 완성하여 자동차의 전륜 또는 후륜 모델의 제동을 제어할 수 있는 ABS 제어 알고리즘을 개발하고 있는 중이다. 이 test rig는 two wheel model의 제동시 한쪽 바퀴에 록킹이 발생하였을 때에 발생하는 yawing 현상까지 관찰할 수 있도록 설계, 제작되었다.

궁극적으로 two wheel model에 대한 ABS 제어 알고리즘이 도출되면 추후 국산 차량에 적용하여 실제 노면 위에서 제동실험을 수행할 수 있게 될 것이다.

국산 ABS를 개발하기 위하여는 전자제어기가 수행해야 하는 제어 알고리즘 외에도 제동유압 modulator용 솔레노이드 밸브와 유압 power unit 등이 개발되어야 한다. 이를 위하여 KIST에서는 3년간의 선행 연구를 통해 얻은 경험을 토대로 특허 출원과 산업 공동개발을 추진하고 있다.

참 고 문 헌

1. N.N., "Bosch Technische Berichte", Feb. 1982, Bosch.
2. Makoto Sato, Shuji Shiraishi, "Performance of Antilock Brakes with Simplified Control Technique", SAE Paper No. 830484.
3. Heinz Leiber, Armin Czinezel, "Four Years of Experience with 4-Wheel Antiskid Brake System", SAE Paper No. 830481.
4. Peter Hattwig, "Cost-Benefit Analysis of implied ABS", SAE Paper No. 850053.
5. Heinz Leiber, Armin Czinezel, "Antiskid

- System for Passenger Car with a Digital Electronic Control Unit”, SAE Paper No. 790458.
6. Wolfgang Backe, “Hydraulik im Kraftfahrzeug (Stand der Technik), Vorlesungsumdruck, 1989”, R.W.T.H. Aachen.
 7. 김경훈, 미끄럼 방지 제동장치의 개발에 관한 연구, 한국과학기술원 생산공학과 석사논문, 1989.
 8. 홍예선, 승용차용 Antilocking-Brake-System의 개발에 관한 연구(I), 한국과학기술연구원 기본연구과제 보고서, 1988.
 9. 홍예선, 승용차용 Antilocking-Brake-System의 개발에 관한 연구(II), 한국과학기술연구원 기본연구과제 보고서, 1990.
 10. 홍예선, 승용차용 Antilocking-Brake-System의 국산화 및 실차적용기술 개발에 관한 기초 연구, 한국과학기술연구원 소액용역 과제보고서, 1990.