

# ABS의 운동특성

## Moment Characteristics of Anti Lock Brake System



조 정 권 / Jung-Kwon Cho  
교통안전공단 / Korea Transportation Safety Authority

### 1. 서론

ABS는 자동차가 주행중 제동을 할 때 바퀴의 고착을 방지하는 것으로 급제동 또는 노면의 악조건 상태에서 제동할 때 바퀴의 고착으로 인하여 자동차가 제어 불능 상태로 진행되어 제동력 상실은 물론 제동거리 또한 길어지게 된다. ABS는 이러한 바퀴의 고착 현상을 미연에 방지하여 최적의 점착력(Grip)을 유지하므로 사고의 위험성을 감소시키는 예방안전장치이다.

자동차를 운전한 적이 있는 사람이라면 대개 몇번은 경험을 했을 것으로 생각되지만 비에 젖은 아스팔트 포장도로와 눈 쌓인 도로에서 급브레이크를 걸면 차의 후미가 흔들리거나 심한 경우는 스펀을 일으키기도 한다. 바퀴자국 등 부분적으로 도로면이 노출되어 있는 눈길에서 좌우의 차륜이 도로면과 눈길의 각각 동시에 주행하고 있는 경우라면 심한 스펀이 발생할 위험성이 크다. 이와 같은 노면을 주행중에 급제동을 걸면 Handle의 효과가 없게 되기도 하고 만약 커브길이라면 노견으로 튀어나가거나 반대 차선으로 돌입할 가능성도 있다. 또 커브길이 아니더라도 장애물을 피하는

일이 불가능해지는 경우도 있다. ABS는 이와 같은 위험한 상황을 방지하기 위해 고안된 장치이다. ABS를 장착하지 않은 자동차가 주행중에 Brake Pedal을 강하게 밟으면 차륜은 급속히 회전이 감소하고 끝내는 정지하지만 그럼에도 불구하고 차체는 정지할 수 없는 상태로 미끄러지는 경우가 있다. 이 현상은 차륜과 노면 사이에서 큰 Slip이 발생, 또는 차륜이 Lock 되었다고 한다.

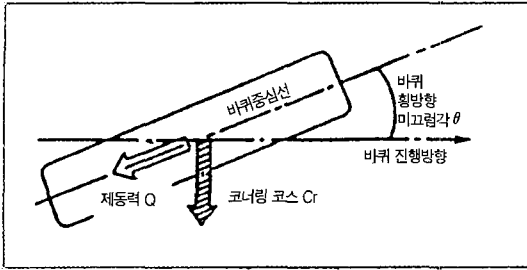
본 원고에서는 ABS 운동특성과 제어원리에 대해 일반적인 관점에서 간략하게 소개하고자 한다.

### 2. 본론

ABS를 이해하기 위해서는 제동력과 제동 토크의 발생원리와 자동차 운동 특성을 알아야 한다.

#### 2-1. 바퀴에 작용하는 힘

자동차가 주행할 때에는 바퀴와 노면 사이에는 제동력과 코너링 포스(Cornering Force)가 <그림 2-1>과 같이 작용한다.



〈그림 2-1〉 선회할 때 바퀴에 작용하는 힘

## 2-2. 제동력

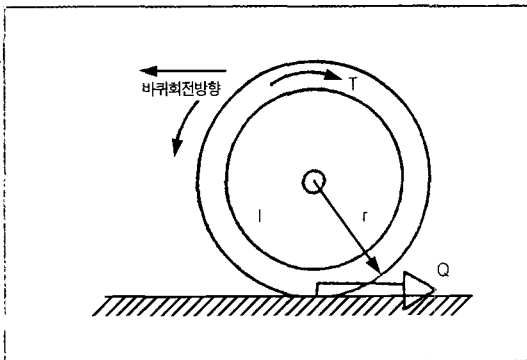
### ① 제동력과 제동 토크의 관계

운전자가 브레이크 페달을 밟으면 마스터 실린더가 유압을 발생시켜 휠 실린더(또는 브레이크 캘리퍼)를 통하여 바퀴의 회전을 멈추도록 하는 힘이 발생하는데 이 힘을 제동 토크라 한다. 〈그림 2-2〉에서 살펴보면 자동차가 일정한 속도로 주행을 하고 있을 때 주행 저항을 0으로 가정하면 바퀴의 회전 각속도( $\omega$ )를 바퀴의 회전속도( $V\omega$ )로 환산하면 자동차의 주행속도( $V$ )와 일치한다.

$$V = V\omega(r \times \omega)$$

여기서,  $r$  : 바퀴의 반지름

$\omega$  : 바퀴의 회전 각속도



〈그림 2-2〉 바퀴에 제동 토크가 작용하는 경우

운전자가 자동차를 감속시키려고 브레이크 페달을 밟았을 때 유압이 상승하여 제동 토크( $T$ )가 증가하면 바퀴의 회전 각속도( $\omega$ )가 감소한다. 이 경우에 바퀴의 회전속도( $V\omega$ )가 주행속도( $V$ )보다 작아져 바퀴와 노면 사이에 슬립이 발생하게 되며 이에 따라 바퀴와 노면 사이에 발생하는 힘이 제동력( $Q$ )이다. 제동력은 바퀴와 노면의 슬립률(Slip :S), 바퀴에 가해지는 하중( $W$ ), 바퀴의 횡 방향 미끄럼 각( $\theta$ )에 따라 변화하게 된다. 슬립률은 다음의 공식으로 나타내며 슬립이 클수록( $V\omega = 0$ ) 슬립률은 100%에 가깝게 된다.

$$S = \frac{V - V\omega}{V} \times 100$$

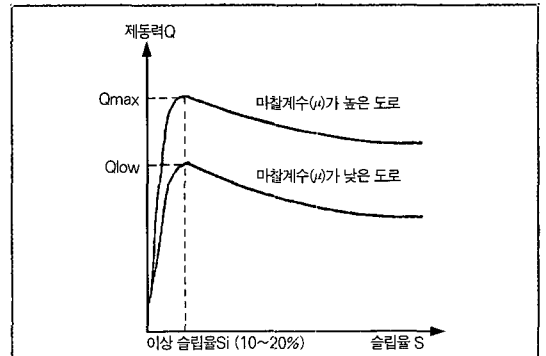
이때 제동력은 바퀴를 회전계로 보았을 때 바퀴를 돌리려는 힘으로 되며, 자동차 진행 방향에 대해 자동차를 감속시키려는 힘이 된다.

### ② 제동력의 슬립률 의존도

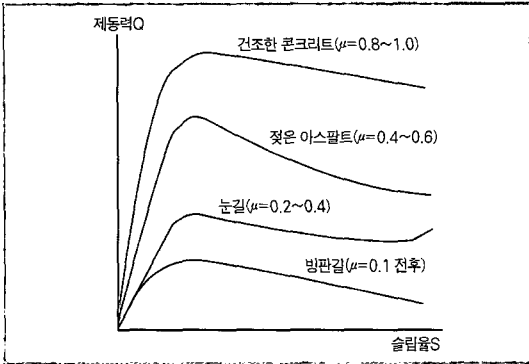
슬립률에 의한 제동력 특성은 〈그림 2-3〉에 나타낸 바와 같으며 제동력은 처음에는 슬립률이 증가하면 함께 증가되나 어느 슬립률 이상에서는 오히려 감소한다.

### ③ 제동력의 하중 의존도

제동력을 일반적인 마찰 개념으로 생각하면 다음과 같은 공식으로 표현할 수 있다.



〈그림 2-3〉 제동력의 슬립률 의존도



〈그림 2-4〉 제동력의 하중 의존도

제동력 =  $\mu W$

여기서,  $\mu$ : 노면의 마찰 계수

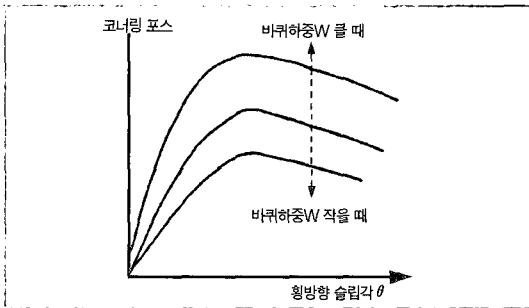
W: 바퀴에 걸리는 하중

따라서 노면이 같을 경우에는 바퀴에 걸리는 하중이 크면 클수록 제동력도 커진다. 또한 마찰 계수가 높을 수록 제동력이 증가한다.

### 2-3. 코너링 포스(Cornering Force)

#### ① 비 제동시의 특성

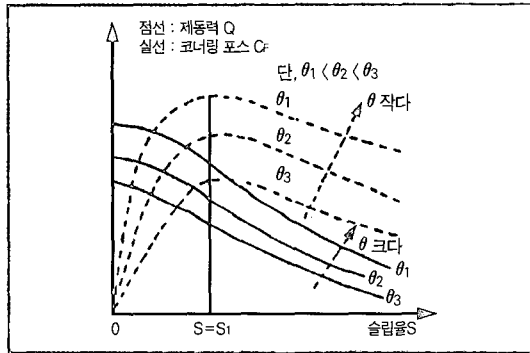
제동력이 걸리지 않는 비 제동시에는 바퀴의 횡 방향 슬립 각( $\theta$ )이 커질수록 어느 단계까지는 코너링 포스(CF)가 증가하다가 어느 단계를 넘어서면 〈그림 2-5〉와 같이 감소한다.



〈그림 2-5〉 비 제동시의 코너링 포스 특성

#### ② 제동시의 특성

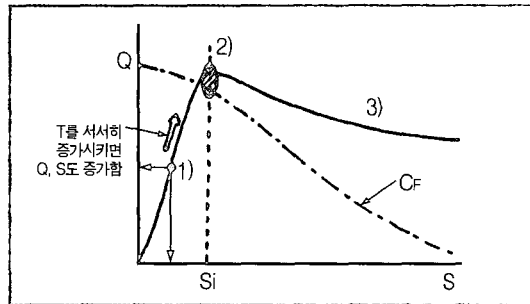
바퀴에 제동력이 가해지면 코너링 포스는 기본적으로 횡방향 슬립각( $\theta$ )과 차량 중량(W)에 대한 특성 변화가 비 제동시와 같으나 그 크기가 슬립률(S)에 따라 변화한다고 생각하면 된다. 〈그림 2-6〉은 차량 하중을 일정하게 유지하였을 경우에 코너링 포스의 슬립률과 횡방향 슬립각에 대한 관계를 나타낸 것으로 슬립률(S)이 0인 상태에서는 코너링 포스가 최대로 되지만 슬립률이 증가할수록 코너링 포스는 감소한다.



〈그림 2-6〉 제동시 코너링 포스 특성

#### ③ 제동력과 코너링 포스의 관계

바퀴의 능력에는 한계가 있다. 구체적으로 표현하면 바퀴의 능력을 제동력 쪽에 많이 사용하면 코너링 포스는 감소한다. 그러나 바퀴의 능력을 제동력 쪽에 적게 사용하면 코너링 포스는 증가한다. 지금까지 설명한 브레이크 이론과 특성을 정리하면 〈그림 2-7〉과 같다.



〈그림 2-7〉 슬립률, 제동력, 코너링 포스의 관계

운전자가 브레이크 페달을 밟아 제동 토크(T)를 서서히 증가시켜 나가면 제동 토크에 거의 비례하며 슬립률(S)과 제동력(Q)도 커진다. 코너링 포스는 제동 토크가 증가하면 조금씩 감소하며, 제동 토크(T)가 좀 더 증가하면 제동력(Q)은 이상 슬립률(Si)에서 최대가 되며, 코너링 포스의 감소도 작아 능력이 최대의 상태로 된다. 또한 슬립률이 이상 슬립률 보다 크면 (S>Si) 제동력(Q)이 조금씩 감소하면 바퀴가 고착(locking, S=100%)된다. 이때 코너링 포스는 급격히 감소하기 때문에 자동차는 불안정한 상태가 된다. 앞바퀴가 고착되면 코너링 포스는 거의 0에 가까워져 주행중 제동 효과가 현저하게 감소하며, 뒷바퀴가 고착되면 코너링 포스가 거의 0에 가까워져 주행중의 자동차 안정성이 떨어져 자동차의 좌우 진동이나 스핀(Spin)이 발생하기 쉽다. 그리고 4바퀴가 모두 고착되면 앞·뒷바퀴의 코너링 포스가 모두 0에 가까워져 제어할 수 없게 된다. 즉 노면에서 외란(外亂)이 없으면 곧장 진행을 하지만 그렇지 못한 경우에는 스키드(Skid)나 스핀 상태가 된다.

### 3. ABS 제어 원리

#### 3-1. 슬립률과 노면과의 관계

주행중 제동할 때 바퀴와 노면과의 마찰력으로 인하여 바퀴의 회전속도가 감소하면서 자동차의 주행속도가 감소한다. 이때 자동차의 주행속도와 바퀴의 회전속도에 차이가 발생하는 것을 슬립 현상이라 하며 그 슬립량을 백분율(%)로 표시하는 것을 슬립률(%)이라 한다. 그리고 제동할 때 바퀴와 노면의 마찰 특성으로 인한 ABS의 효과는 다음과 같다.

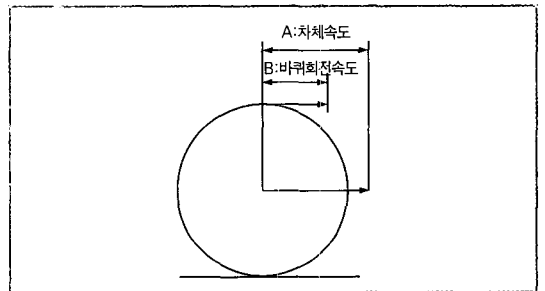
주행중 운전자가 브레이크 페달을 밟으면 라이닝과 드럼의 마찰로 인한 제동 토크가 발생되어 바퀴의 회

전속도가 감소하고 바퀴의 회전속도는 차체 속도보다 작아진다. 이것을 슬립 현상이라 하고 이 슬립에 의해 바퀴가 노면 사이에 발생하는 마찰력이 제동력이 된다. 그러므로 제동력은 슬립의 크기에 의존하는 특성을 나타내며 슬립률은 슬립의 크기를 나타내는 것으로 아래 공식으로 정의한다.

$$\text{슬립률} = \frac{V - V_{WZ}}{V} \times 100$$

여기서, V : 차체 속도

VWZ : 바퀴의 회전속도



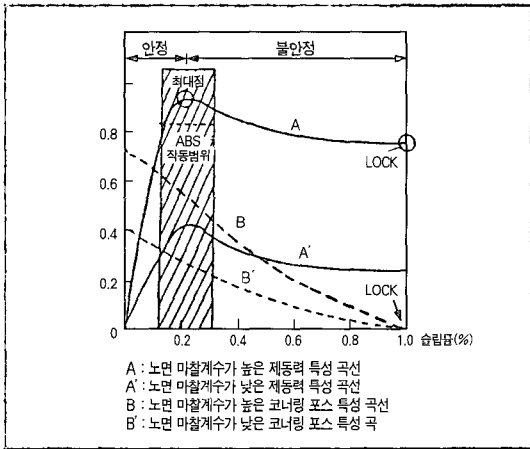
〈그림 3-1〉 슬립률과 노면과의 관계

슬립률을 요약하면 주행중 제동할 때 바퀴는 고착되거나 관성에 의해 차체가 진행되는 상태를 말한다. 슬립률은 주행속도가 빠를수록, 제동 토크가 클수록 크다.

#### 3-2. 제동력 및 코너링 포스의 특성 곡선

〈그림 3-2〉에 보이는 특성 곡선은 제동 특성 및 코너링 포스 특성에 대하여 바퀴와 노면 사이의 마찰 계수와 바퀴 슬립률의 관계를 보여주는 예이다. 〈그림 3-2〉에서 가로축은 바퀴의 슬립률을 표시하고 0%는 바퀴가 노면에 대하여 원활하게 회전하는 상태를 나타내며, 100%는 바퀴가 고착된 상태를 보여준다. 브레이크 특성에 따라 슬립률이 20% 전후에 최대의 마찰

계수가 얻어지지만 그 이후에는 감소한다. 선화의 특성에 따라 슬립률이 증가하면 마찰 계수가 감소되어 슬립률 100%에서는 마찰 계수가 0이 된다. 이러한 현상은 마찰 계수가 높은 노면이나 낮은 노면에서는 마찬가지이다.



〈그림 3-2〉 제동력 및 코너링 포스의 특성 곡선

따라서 바퀴가 고착(슬립률 100%)되면 제동력이 저하하여 제동거리가 길어지면 코너링 포스를 잃어 조종 및 방향 안정성이 상실되어 자동차에서 슬립이 일어날 수 있다.

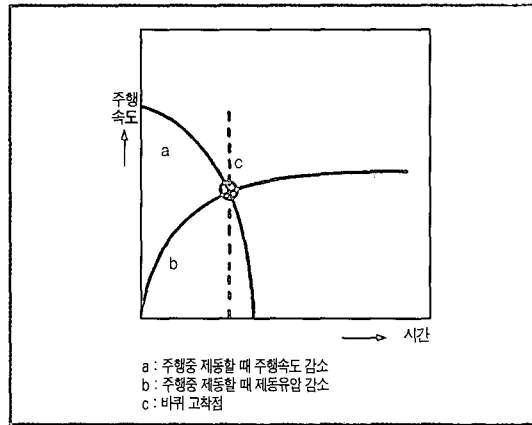
즉 코너링 포스는 슬립 0%에서 최대가 되고, 슬립률 증가와 함께 감소하여 슬립 100%에서는 거의 0이 된다. ABS는 이러한 원리를 기본으로 하여 바퀴가 고착되는 현상이 발생할 때 브레이크 유압을 제어하여 슬립률이 최적의 값인 〈그림 3-2〉의 빗금 친 부분에서 유지되도록 제동력을 최대한 발휘하여 사고를 미연에 방지한다.

### 3-3. ABS 기본 제어 원리

#### ① ABS 비 장착 자동차

급제동을 할 때 제동 유압은 일반적으로 바퀴의 고

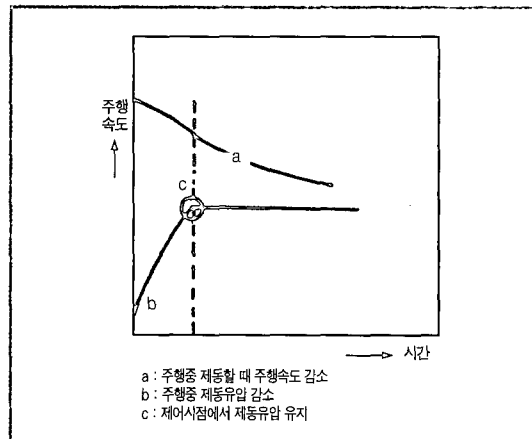
착이 발생할 정도로 과대해지므로 제동상태는 비정상 이 된다. 이로 인해 뜻하지 않은 사고가 발생할 가능성이 매우 높다.〈그림 3-3〉



〈그림 3-3〉 ABS 비 장착 자동차

#### ② ABS 장착 자동차

급 제동을 할 때 휠 스피드 센서를 통해 컴퓨터로 전달된 바퀴의 감속도가 과대해 바퀴가 고착되는 순간 그 바퀴의 제동 유압이 더 이상 증가하지 아니하고 일정하게 유지되므로 적절한 접착력이 형성되어 제동 거리 단축에 영향을 준다.〈그림 3-4〉



〈그림 3-3〉 ABS 비 장착 자동차

Special Edition

### 3-4. ABS 작동 사이클

ABS의 작동 사이클은 <그림 3-5>와 같다.

- ① 주행중 급 제동을 할 때 바퀴의 회전속도를 연산하여 바퀴의 회전속도가 감소하고 차량 가속도가 설정값(b)을 초과하면 A시점에서 감압(減壓)한다.
- ② 감압에 의해 차량 가속도가 증가하여 바퀴가 고착으로부터 회복 경향이 있다고 판단되면 B시점에서 증압(增壓)을 시작한다.
- ③ 증압에 의해 다시 바퀴가 고착의 경향을 보이면 C시점에서부터 감압을 시작한다.

ABS는 이와 같이 감압 및 증압의 동작을 반복 제어하며 최적의 슬립률 범위 내에서 제동력을 제어한다.

### 4. 결론

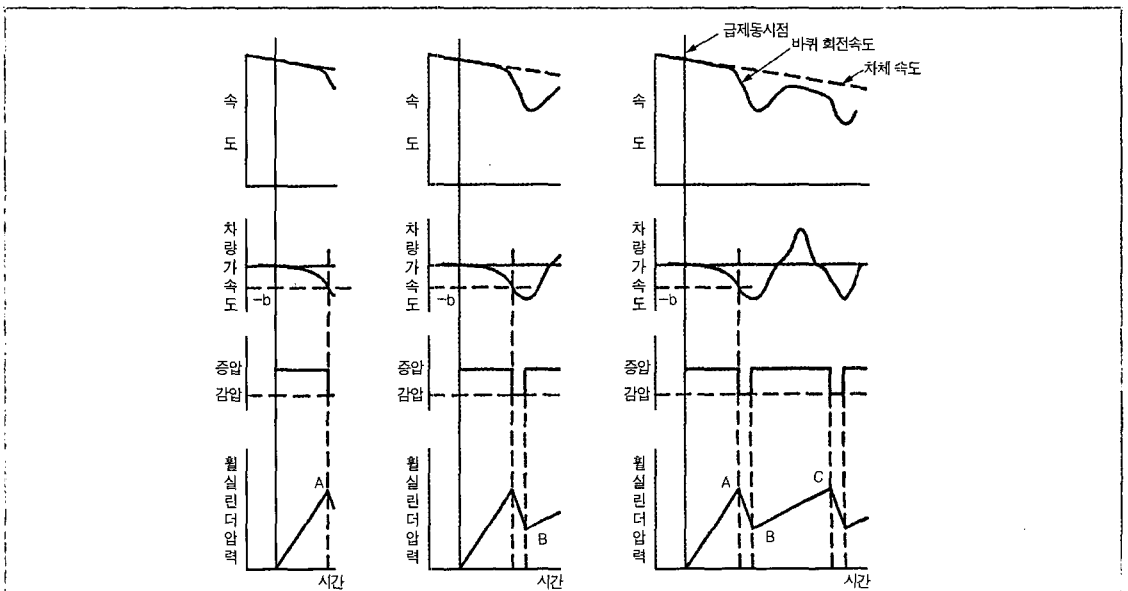
ABS 장착 차량은 좌우륜의 마찰계수( $\mu$ )가 다른 노

면(Split  $\mu$ 노면), 압설과 동결된 낮은 마찰노면, 우천시 의 미끄러지기 쉬운 노면, Curve의 도로 등 각종 상황에서 Handle 조작을 하면서 안전하게 브레이크를 가할 수 있다. 결국 ABS가 장착되어 있지 않은 자동차에서도 도저히 실현할 수 없는 운전을 할 수 있다. 또한 동시에 ABS 장착차의 운전이 익숙해져 버리면 ABS가 장착되지 않은 자동차를 운전하는 경우에 불안한 감을 느끼게 된다.

ABS의 효과는 주행 조건 및 노면의 상태에 따라 차이가 크며, 노면 마찰 계수( $\mu$ )이상의 제동 성능의 기대는 금물이며, 자동차 방향 안정성 확보에는 운전자의 조향 능력이 조금은 필요하게 된다.

본고에서는 현재 출시되고 있는 ABS의 기초적인 운동특성과 제어원리에 대해서 일반적인 관점에서 간략하게 소개하였으며, 본 학회지 독자들에게 ABS에 대해 조금이나마 이해를 도울 수 있는 계기가 되기를 바란다.

(조정권 연구교수 : chobest1@chollian.net)



<그림 3-5> ABS 작동 사이클