한국정밀공학회지 제 24 권 제 7 호 (2007 년 7 월)
Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 7, July 2007

실차 실험을 통한 제동순시간에 의한 타이어-노면마찰계수에 관한 연구

한창평#, 박경석*, 최명진*, 이종상**, 신운규***

An Experimental Study of Tire-Road Friction Coefficient by Transient Brake Time

Changpyoung Han#, Kyoungsuk Park*, Myungjin Choi*, jong sang Lee** and Un gyu Shin***

ABSTRACT

In this paper, the transient brake time was studied on the van type vehicle with accelerometer. Experiments were carried out on the asphalt(new and polished), unpacked road(earth and gravel) and on wet or dry road conditions. The transient brake time is not effected bzy the vehicle speed. The transient brake time is about 0.41~0.43second on the asphalt road surface and the error range is within 0.1~0.16second. For the asphalt road condition, the transient brake time is not effected by both new asphalt road surface and the polished asphalt road surface. With compared by dry and wet road surface condition, the transient brake time of wet condition is longer than dry road condition and compared with unpacked road condition and packed road condition, unpacked road condition is shorter than packed road condition. It is considered that the transient brake time is effected by the road surface fraction coefficient. In other words, the transients brake time increases as friction coefficient decreases.

Key words : Road condition (노면상태), transient brake time (제동순시간), surface friction coefficient (노면마찰계수), Skid mark (타이어흔적)

기호설명

a = Acceleration
d = Braking distance
g = Acceleration of gravity
G = Road gradient ratio
m = Vehicle weight
t_s = Transient brake time
v_1 = Initial velocity
v_2 = Final velocity
μ = Coefficient of friction

1. 서론

☞ 접수일: 2007년 2월 28일; 게재승인일: 2007년 5월 7일
교신저자: 두원공과대학
E-mail: hancp@hanmail.net Tel. (02)446-6112
* 경희대학교 테크노공과대학
** 도로교통안전관리공단
*** 명지대학교 기계공학과

자동차 교통사고의 원인을 규명하기 위해 차량 노면마찰계수를 적용하여 속도를 추정하기 위해 객관적인 근거에 의한 사고 발생 전·후 차량의 타이어와 노면간의 운동특성이 필요하다. 현재는 노면상에 발생된 타이어 흔적만 가지고 충돌직전 속도를 추정하였다. 차량의 속도추정에는 운동량 보존의 법칙, 사고재현 컴퓨터 시뮬레이션, 충돌 전·후 차량의 타이어흔적을 근거한 에너지 보존법칙, 요-마크(yaw mark)방식, 차체 손상깊이에 따른 충돌유효 속도추정 등이 있다.[1-4] 현실적으로 육안으로 확인되는 스키드마크 길이를 가지고 속도를 추정하고 있다. 타이어제동흔적이 발생되는 동안 손실 에너지 부분을 보정한 속도추정 방식에 대해 많은 연구가 수행되었다.[6] 본 연구에서는 속도를 추정하기 위해서 급제동에서 타이어흔적이 발생되기 시작할 때까지의 시간을 실차 실험을 통하여 도로와 타이어의 마찰계수를 고찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 타이어 흔적으로부터 속도 추정

주행중인 차량이 제동행위로 인해 잠겨진 (locked)타이어의 마찰열로 인해 타이어 흔적(skid mark)이 생성된다. 타이어흔적의 발생정도는 도로 구배, 타이어 마모 정도, 브레이크슈와 드럼사이의 압력정도 등에 따라 발생정도가 다른 흔적이 발생한다. 차량의 급제동시 노면 마찰은 전륜 및 후륜이 노면과 접지하는 지점에서 차량의 뒤 방향으로 힘을 가하고, 질량의 중심은 관성에 의해 차량 전면 방향으로 이동한다. 이때 열에너지는 제동하는데 필요한 열에 비해 충분히 무시해도 되는 아주 작은 양이므로 운동에너지는 자동차를 제동하여 정지시키는 일로 전환된 것으로 가정하면 초기속도v_1는 다음과 같다.

$$\text{가속도 } a = -\mu g$$

$$v_1 = \sqrt{2\mu g d} \tag{1}$$

여기서, v_1:초기속도(m/sec), a:가속도 (m/sec^2), μ:마찰계수, g:중력가속도 (m/sec^2), d:스키드 마크 길이

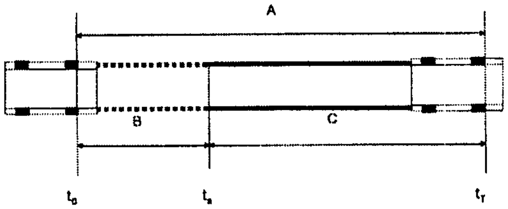
초기속도(v_1)의 차량이 A위치에서 스키드 마크(d)를 발생 후 (B)위치에서 최종속도(v_2)는 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \mu mgd + \frac{1}{2}mv_2^2 \tag{2}$$

$$v_1 = \sqrt{2\mu gd + v_2^2} = \sqrt{v_2^2 - 2ad} \tag{3}$$

식 (3)은 차량이 스키드마크를 발생 후 정지하여 최종속도가 0인 경우이고, 도로의 구배(%)G 등을 감안하면 다음 식 (4)와 같다.

$$v_1 = \sqrt{254 \times (\mu \pm G) \times d} \tag{4}$$



A : All brake distance
B : Invisible skid mark distance
C : Skid mark distance

Fig. 1 The behavior of vehicle movement on breaking

2.2 제동직전 제동순시간 속도추정

속도추정 인자에서 기초가 되는 타이어 흔적은 육안으로 확인되는 길이를 적용한다. 브레이크 페달을 밟는 순간, 동시에 바퀴가 고정되지 않고 Fig. 1의 B구간 운동에너지에 대한 속도손실 부분이 고려되지 않은 제동거리 예측에 대한 속도를 추정한다. 식(4)을 구하기 위해서는 실차실험을 통한 마찰계수와 Fig. 2의 B의 순시제동시간 값 t_s을 구한다.

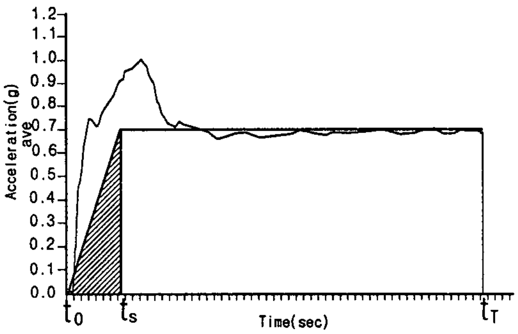


Fig. 2 The new model for locked wheel braking

가속도계를 실차실험에 적용하여 마찰계수, 제

동순시간, 제동거리, 주행시간, 주행속도, 평균 및 최고 마찰계수, 순시제동시간 값 등이 측정할 수 있다. 가속도계에 의한 실측값을 수집하고 순시제동시간과 속도, 시간에 따른 감속도의 제동 특성은 Fig. 2와 같다. Fig. 2는 삼각형 영역과 사각형 영역의 2개 영역으로 구분되고, 삼각형 영역은 Fig. 1에서 B구간, Fig. 1의 C구간은 사각형영역이며 식(1)의 속도추정의 영역이다. 속도추정방식을 실차실험을 통해 얻어진 감속 데이터에서 Fig. 2에서 삼각형 영역의 속도감속 부분을 감안하여 나타내면 삼각형의 넓이는 다음과 같다.

$$a(t) = \frac{a}{t_s} \cdot t \ (t_o \leq t \leq t_s, \ \text{일때} \ t_0 = 0)$$

사각형 영역의 에서는 $a(t) = a$

($t_o \leq t_s \leq t_T$일때 $t = 0$) 이다.

삼각형 영역 값과, 사각형 영역 값은 차량이 총 제동하는 구간이고 t_s 는 순시제동시간으로 스키드 마크에 의한 식 (1)에 삼각형 영역 값을 합하면 식 (5)와 같다.

$$v_1 = \left(\sqrt{v_2^2 + (-)\ 2 \times a \times d} + \frac{1}{2} a \times t_s \right) \quad (5)$$

여기서, $a = -\mu g$

식 (5)의 $v_2^2 = 0$ 인 경우 식 (6)과 같다.

$$v_1 = \left(\sqrt{254 \times d \ \times (\mu \pm G)} + \frac{1}{2} a \times t_s \ \times (3.6) \right) \quad (6)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 Fig. 3의 Table 1과 같은 가속도계(Vericom VC2000PC)를 Table 3의 시험차량에 설치하여 순시제동시간을 측정하고, 생성된 스키드마크는 육안으로 확인된 노면흔적을 실측하였다.

3.2 실험방법

스키드마크 생성에 필요한 시간 측정을 위해 실험차량에 마찰계수측정 가속도계를 장착하여 Table 2와 같은 조건으로 실험을 수행하였다.[5]

Table 3의 시험차에 Fig. 3의 마찰계수 가속도계를 장착하고 4단계로 구분하여 실험하였다. 1단계는 가속도계(vericom2000) 메뉴 모드에서 braking 버턴을 선택 후 다시 자동 출발 모드를 선택하였다. 2단계는 운전자가 실험속도 20, 30, 40, 50, 60, 70 km/h로 주행하고, 센서에 의해 세팅된 속도계가 실험속도에 도달 시 신호에 따라 운전자가 급제동을 한다. 3단계는 정지한 차량 가속도계 화면에 출력된 각 제동거리, 평균속도, 평균마찰계수, 총소요시간 등을 기록하였다. 4단계는 실제 발생된 스키드마크의 길이를 측정하였다.

실험장소 노면조건을 습윤(wet)과, 건조(dry)로 구분하고 실험속도는 20, 30, 40, 50, 60, 70km/h범위에서 1~5회 반복 실험을 실시하였다. Fig. 5는 ABS를 장착하지 않은 승용차의 감속특성이고, Invisible Skid marks 구간은 Fig. 1의 (B)구간 제동순시간 영역이고, Fig. 4에서 슬립비가 20% 내외일 때 가장 크며 휠이 고정된 채 슬립한다. 본 연구에서는 가속도계로부터 출력된 시간 및 감속도 특성 그래프를 실험 회수에 따른 속도대역에서 순시제동시간의 최대, 최소, 평균값으로 도출하여 시험 데이터 값으로 구하였다. 가속도계로 측정된 제동순시간과 도로조건에 따른 실험 데이터 값을 평균하여 각 시간에 따른 제동순시간의 오차를 줄였다.

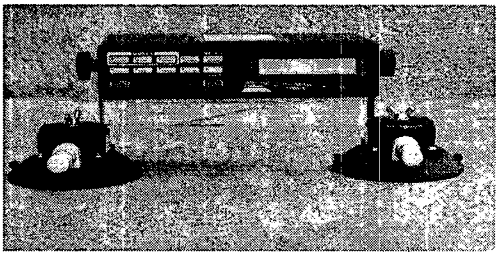


Fig. 3 Accelerometer set-up3

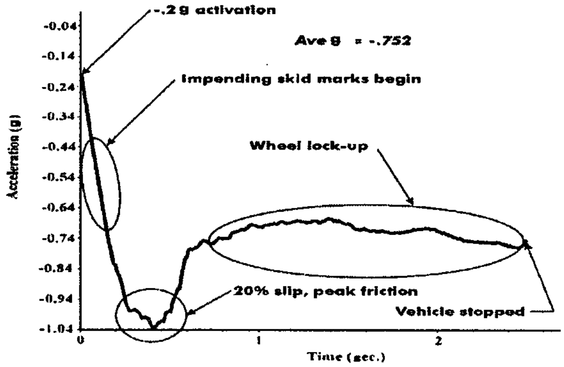


Fig. 4 Friction curve of ABS disabled on dry surface

Table 1 Vericom VC2000PC specifications

Model	Vericom VC2000PC
Power input	12V-16V DC (negative ground)
Momentary surge	24V DC (10 seconds)
Nominal current draw	160 mA
Temp. Range	-20° F to 160° F
Charging voltage	13V-16V DC
Accelerometer dynamic range	5g (-2g ~ +3g)
Minimum resolution	0.00156 g
Sample rate	100 Hz
Computer clock speed	11.0592 MHz
Dimensions	23.5 cm long, 5.38cm high, 11.43cm deep
Manufacturer	Vericom Computers, Inc. 6008 Culligan Way Minnetonka, MN 55345

Table 2 Various test conditions

Test place	Kyonggi Youngin																						
Road surface condition	Dry																		Wet				
Road surface sort	Excess tar new asphalt					Traffic polished asphalt					Earth (packed)				Gravel (packed)				Excess tar new asphalt				
Test speed (km/h)	20	30	40	50	60	20	30	50	60	70	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	50	60	70

4. 실차실험 결과

Fig. 5는 속도와 제동순시간에 따른 관계이다. 건조한 아스팔트 노면에서 속도 변화에 대한 제동순시간의 변화이며 제동순시간의 변화가 0.1초~0.16초를 초과하지 않은 평균 0.43~0.45초이고, 제동순시간은 차량의 초기 운행 속도와 약간의 영향이 발생한다. Fig. 6은 건조한 아스팔트와 습기가 있는 아스팔트 노면에서의 제동순시간을 나타낸 것이다. 습윤상태의 노면마찰계수가 건조 노면의 마찰계수 보다 적기 때문에 제동순시간은 습윤상태의 노면에서 길어지는 경향이 있다. Fig. 7은 노후된 아스팔트와 새로운 아스팔트 노면의 제동순시간을 나타낸 것이다. 순시제동시간을 비교한 결과, 아스팔트의 마멸 정도가 마찰계수에는 큰 영향이 없는 것으로 제동순시간은 거의 변화가 없었다.

Fig. 8은 포장노면과 비포장 노면에서의 제동순시간을 나타낸 것이다. 제동순시간을 비교하였고, 비포장 노면의 제동순시간이 아스팔트 노면에서 비하여 짧은 것은 비포장 노면의 마찰계수가 크기 때문이다. 제동시간전체동안 주행한 제동거리를 추정해본 결과 Fig 4와 같이 skid mark에 의해 발생한 제동거리보다 평균 약 20%정도 크다. 이를 추정주행속도에 적용하려면 다음과 같은 보정식을 사용할 것을 제시한다.

$$v_1 = \sqrt{254 \times (\mu \pm G) \times d(1.15 \sim 1.25)} \qquad (7)$$

Table 3 Specifications of test automobile

Manufacturer		Hyundai
Model		Starex
Transmission type		5-speed Manual
Overall length(mm)		5,035
Overall width(mm)		1,820
Overall height(mm)		1,980
Track(mm)	front	1,570
	rear	1,545
Wheelbase(mm)		3,080
Brake distance with 50km/h (m)		14
Weight(kg)		2,485
Parking brake		Manual
Fuel		Diesel
Gross vehicle traveled distance (km/h)		2,300
Tire		205-60R15,99S Steel belted radial tubeless(new)
Brake (hydraulic)	front	disk
	rear	drum

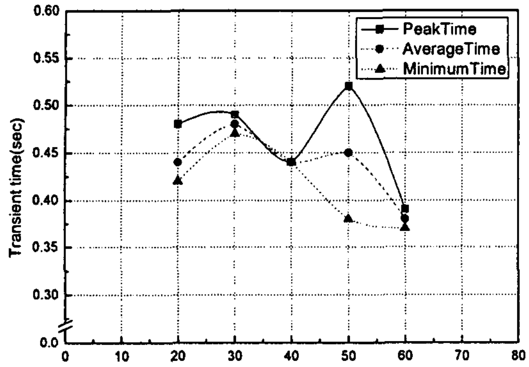


Fig. 5 Speed and Transient brake time on the dry excess tar new asphalt

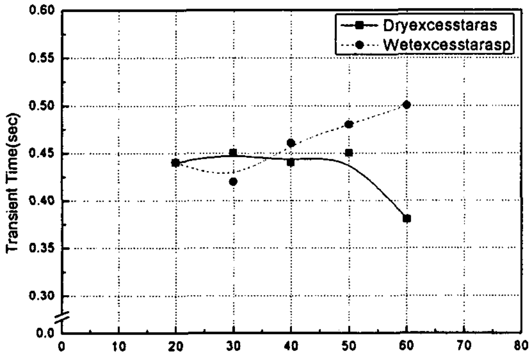


Fig. 6 Speed and Transient brake time on the dry excess tar and wet excess tar asphalt

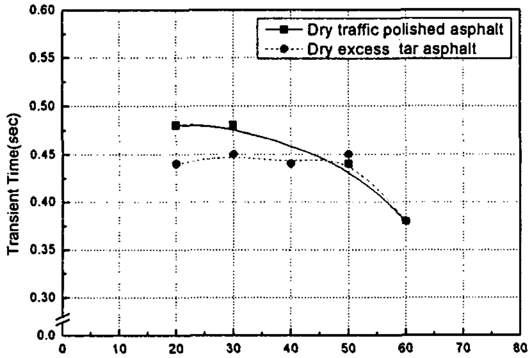


Fig. 7 Speed and Transient brake time on the dry excess tar and traffic polished asphalt

5. 결 론

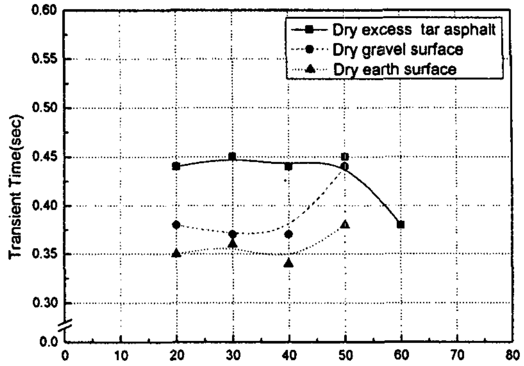


Fig. 8 Speed and Transient brake time on the dry earth and gravel surface

1. 습윤상태의 노면마찰계수가 건조한 노면보다 낮고, 비포장 노면과 다져진 자갈 노면 중에서 비포장 노면의 경우가 제동순시간이 적다.
2. 실험차량의 제동순시간은 차량 속도에 따라 큰 변화가 없으나, 건조한 아스팔트 노면의 경우 평균 0.41~0.43초이며 변화량은 0.1초~0.16초미만이다.
3. 바퀴가 완전 고착되어 슬립하기 약 0.41초~0.43초 전에 희미한 슬립흔적이 발생한다.
4. Fig. 1의 B구간 운동에너지에 대한 속도손실 부분을 보정한 식을 제시하였다.

참고문헌

1. Fricke, L. B., "Traffic Accident Reconstruction," Northwestern University Traffic Institute, pp. 62-67, 1990.
2. Day, T. D. and Smith, J. R., "Friction factors for motorcycles sliding on various surfaces," SAE 840250, pp. 441-448, 1984.
3. Warner, C. Y., Smith, G. C., James, M. B. and Germane, G. J., "Friction Applications in Accident Reconstruction," SAE 830612, pp. 12-19, 1983.
4. Baker, J. S. and Fricke, L. B., "The Traffic Accident Investigation Manual," SAE 980822, pp. 17-27, 1986.
5. Vericom Computers, "VC2000PC Dynamometer and Braking Test Comptuter Owner's Manual," pp. 78-85, 1998.
6. Reed, W. S., "A Comparison of Emergence

Braking Characteristics of Passenger Cars," SAE 880231, pp. 258-265, 1988.