

ABS와 Non-ABS 승용차량의 급제동시 마찰계수 변화

김기남¹⁾ · 이지훈²⁾ · 옥진규^{*2)} · 유완석³⁾ · 박지영⁴⁾

K & K AceTECH¹⁾ · 부산대학교 기계설계공학과²⁾ · 부산대학교 기계공학부³⁾ · S & T 대우 기계연구 2실⁴⁾

Friction Coefficient of Emergency Braking on ABS and Non-ABS Car

Keenam Kim¹⁾ · Jihoon Lee²⁾ · Jinkyu Ok^{*2)} · Wansuk Yoo³⁾ · Jiyeong Park⁴⁾

¹⁾K & K Automobile Crash Engineering Technology, 96-26 Sinseol-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-811, Korea

²⁾Graduate Student of Mechanical design Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³⁾School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

⁴⁾Mechanical Development, S & T Daewoo, 5 Songjeong-ri, Chulma-myeon, Gijang-gun, Busan 619-873, Korea

(Received 27 July 2007 / Accepted 8 December 2007)

Abstract : Most accident reconstruction or analysis depend on the coefficient of friction to estimate the vehicle speeds. Skid mark and coefficient of friction are usually utilized to calculate the velocity and behavior of vehicles. For a critical case such as traffic accident reconstruction, however, the initial velocity of the car should be calculated precisely. In this paper, emergency brake tests on ABS and Non-ABS brake system are conducted on the dry pavement asphalt road on speed 40, 60, 80 and 100 km/h respectively. The SWIFT sensor was established in the front wheel and rear wheel at driver side to measure the forces, moments and speeds of revolution of the tires. These tests results can be available to brake tests and accident reconstruction.

Key words : ABS(Anti-lock Brake System), Coefficient of friction(마찰계수), Asphalt pavement(아스팔트 포장노면), Skid mark(스키드 마크), Dry pavement friction(건조한 포장노면 마찰), SWIFT(타이어 하중 측정 센서)

1. 서론

현재 국내에서 생산되는 승용차량과 수입 승용차량의 대부분은 바퀴가 잠기는 것을 방지하는 ABS(Anti-lock Brake System)가 장착되어 있다. 직진으로 진행되는 Non-ABS 차량 운전자가 브레이크 페달을 강하고 빠르게 밟으면 바퀴가 고착되면서 직진의 스키드마크가 도로에 발생된다. 그러나 ABS가 장착된 승용차량은 바퀴가 완전히 고착(lock-up)되지 않고 노면에 육안으로 확인 가능한 스키드마크는 발생되지 않는 경우가 빈번하다. 브레이크 페달을 최초 밟은 지점과 스키드 마크 시작지점의 속도는 노면에 발생된 스키드 마크(skid mark)

길이와 마찰계수(coefficient of friction)를 적용하여 계산할 수 있으나,¹⁾ ABS가 장착된 승용차량은 노면에 스키드마크가 발생되지 않기 때문에 속도를 측정하지 못할 수도 있다. 급제동 실험에서 Non-ABS 승용차량은 급제동 시점의 속도와 노면에 발생된 스키드마크 길이로 마찰계수를 측정할 수 있으나, 스키드마크가 발생되지 않는 ABS가 장착된 승용차량은 마찰계수를 알 수 없는 경우도 있다.

ABS가 장착된 차량의 제동 및 마찰력 특성에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으며,²⁻⁶⁾ 본 연구에서는 건조한 아스팔트 포장노면에서 ABS와 Non-ABS 승용차량의 급제동 실험을 실시하여, 노면 마찰계수를 측정하기 위해 타이어의 수직 힘(F_z)과 진행방

*Corresponding author, E-mail: jkok@pusan.ac.kr

향 힘(F_x)을 실시간으로 측정하여 차량의 운동특성 및 마찰계수 변화를 확인하였다. 운전자가 브레이크 페달을 밟은 시점에서 정지된 위치까지 감속도, 바퀴에 작용하는 힘과 모멘트, 속도를 측정하기 위해 운전석 앞, 뒤 타이어에 SWIFT(Spinning wheel integrated force transducer) 센서를 설치하였고, 차량 뒤쪽에는 광학속도계 센서를 설치하였으며, 차량 무게 중심(center of mass)에 3축 가속도계를 부착하여 실험을 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험차량

실험차량은 국내 A사에서 제작된 배기량 2,400 mL로 자동변속기와 ABS가 장착된 승용차량을 사용하였으며, Fig. 1과 같다. Non-ABS 실험은 ABS 실험조건과 타이어 및 제동특성을 일치시키기 위해 동일 차량을 사용하였으며, ABS가 작동되지 않도록 ABS 휴즈를 제거하여 급제동 실험을 실시하였다. 기계적인 장치를 이용하여 브레이크 페달에 균일한 압력을 가할 수 있지만, 실제 도로상에서 운행하는 조건을 반영하기 위해서 체중 약 785 N의 성인 남자가 페달을 빠르고 강하게 밟았다. 실험차량에는 운전자 1인과 동승자 1인이 승차하였고, 탑재된 장비를 포함하여 질량 약 200 kg이 증가하였고, 실험 차량 전체 질량은 약 1,720 kg이다.

2.1.2 타이어

신품 타이어를 실험차량에 장착하여 시내와 고속 도로를 약 300km 이상 주행한 다음 타이어 코팅을 완전히 벗겨낸 상태에서 실험을 실시하였다. 타이어는 국내 B사에서 제작된 것을 사용하였고, 타이어 형식은 제작사에서 출고될 때 실험차량에 장착된 타이어 형식과 동일한 형식으로 225/50R17 93H이다. 타이어 공기압은 표시된 표준 규정압력(약 207 kPa)의 공기압을 적용하였다.

2.1.3 속도센서

“자동차안전기준에관한규칙” 제54조 “속도 및 주행거리계” 제1항에서 차량의 속도는 -10%, +15%를 허용하고 있고, 실제 차량의 속도와 속도계 지침

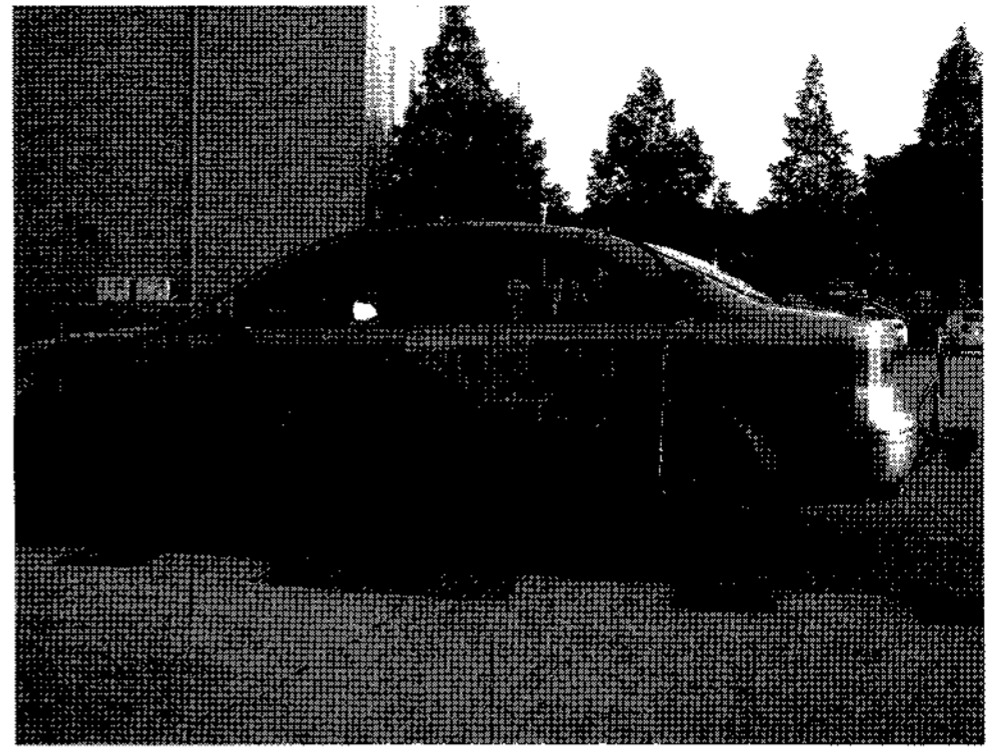


Fig. 1 Test vehicle with test equipments

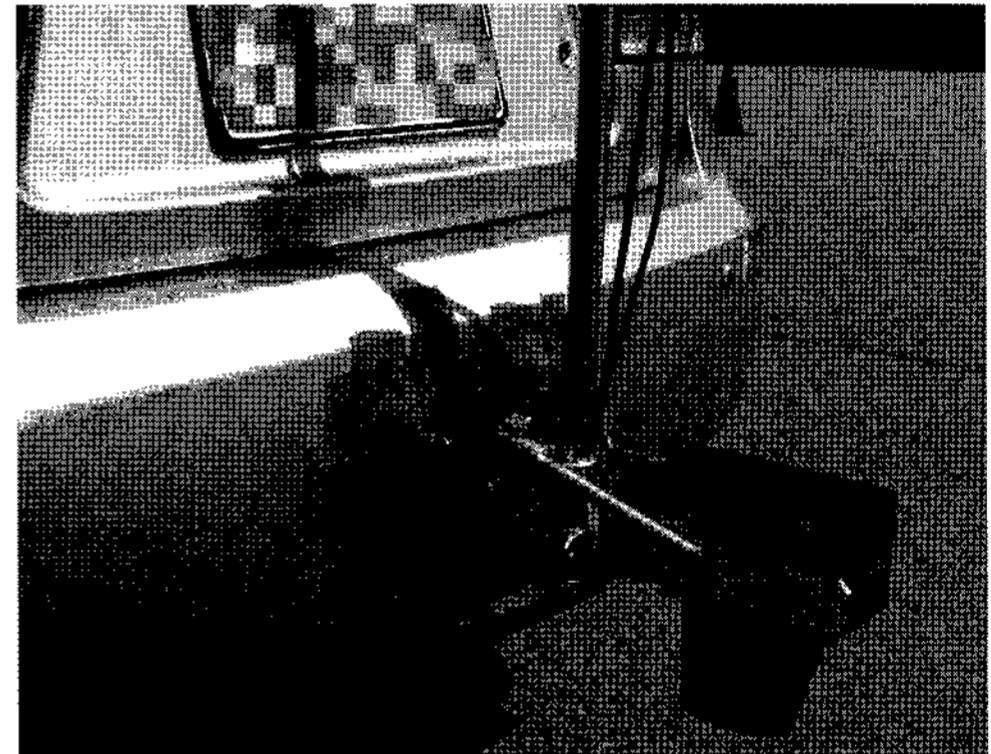


Fig. 2 Speed sensor and attachment

Table 1 The specification of speedometer

Item	Specification
Speed range	0.5 to 400km/h
Braking / coasting	to 0.1km/h
Measuring deviation	< ±0.1%
Working range of the sensor	300±60mm
Analog output	25mV / km/h

이 지시하는 속도가 일치하지 않는 경우가 많이 있다. 본 연구에서는 실험차량의 속도를 정확하게 측정하기 위해서 비접촉 광학식 속도센서를 사용하였고, 차량에 장착된 모습과 주요 사양을 Fig. 2와 Table 1에 각각 나타내었다.

2.1.4 SWIFT and data acquisition system

실험차량의 바퀴에 작용하는 힘(F_x, F_y, F_z), 모멘트(M_x, M_y, M_z)을 측정하기 위해, MTS SYSTEMS CORPORATION 사에서 2005년 제작된 Aluminum SWIFT 30A를 운전석 앞바퀴와 뒷바퀴에 장착하였

으며(Fig. 1), SWIFT의 제원을 Table 2에 나타내었다. 미국자동차공업협회(SAE)의 타이어 좌표계를 설명한 용어에 의하면, 종방향힘(longitudinal force) F_x 는 휠 평면과 도로면과의 교선에 평행한 바퀴 진행방향의 힘이며, 법선력(normal force) F_z 는 도로면에 직각방향으로 도로에 의해 타이어에 작용하는 힘을 나타낸다.

SWIFT를 구성하는 센서 및 각종 부품과 바퀴에 장착된 모습을 Fig. 3에 나타내었다. 실험차량의 급제동시 바퀴에 작용하는 힘과 모멘트 등의 자료를 쉽게 획득하고 분석하기 위해 Fig. 4 및 Fig. 5와 같은 장치를 실험차량에 장착하였으며, Fig. 4에서 보는 바와 같이 각종 신호는 디지털기록계(digital re-

Table 2 Specification of passenger car SWIFT

Measured value	Aluminum SWIFT 30A	Unit
Max. calibrated load ratings		
F_x	28	kN
F_y	23	"
F_z	28	"
M_x	5	kN-m
M_y	7.5	"
M_z	5	"
Max. velocity(15in.rim)	240	km/h

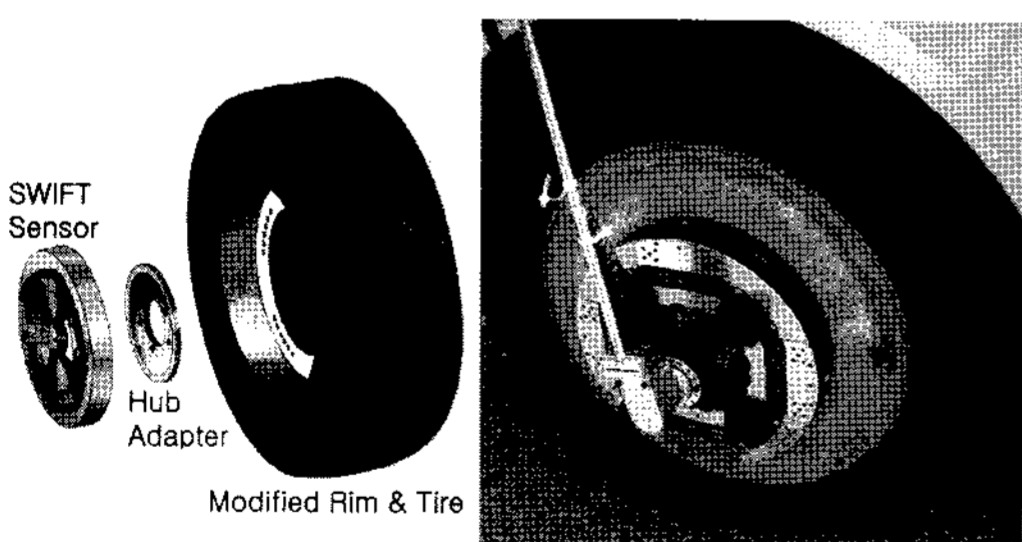


Fig. 3 SWIFT sensor and tire assembly

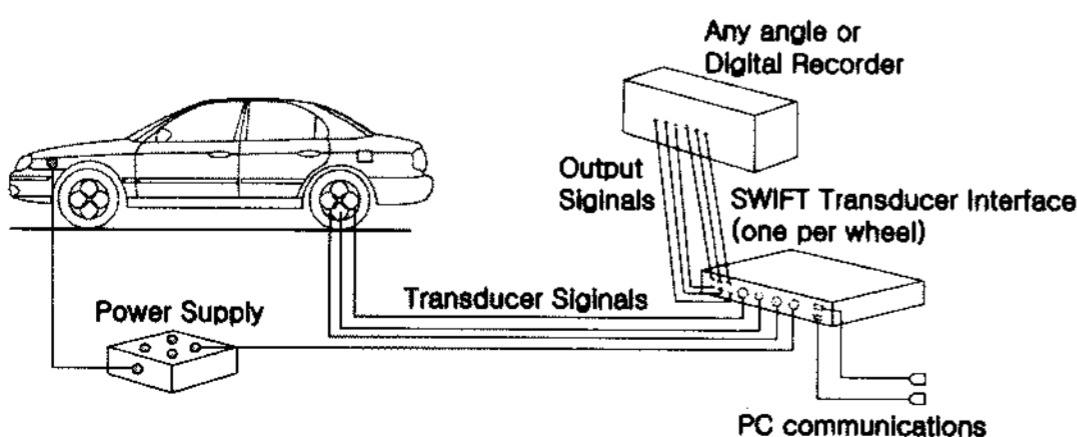


Fig. 4 Data acquisition description for test vehicle

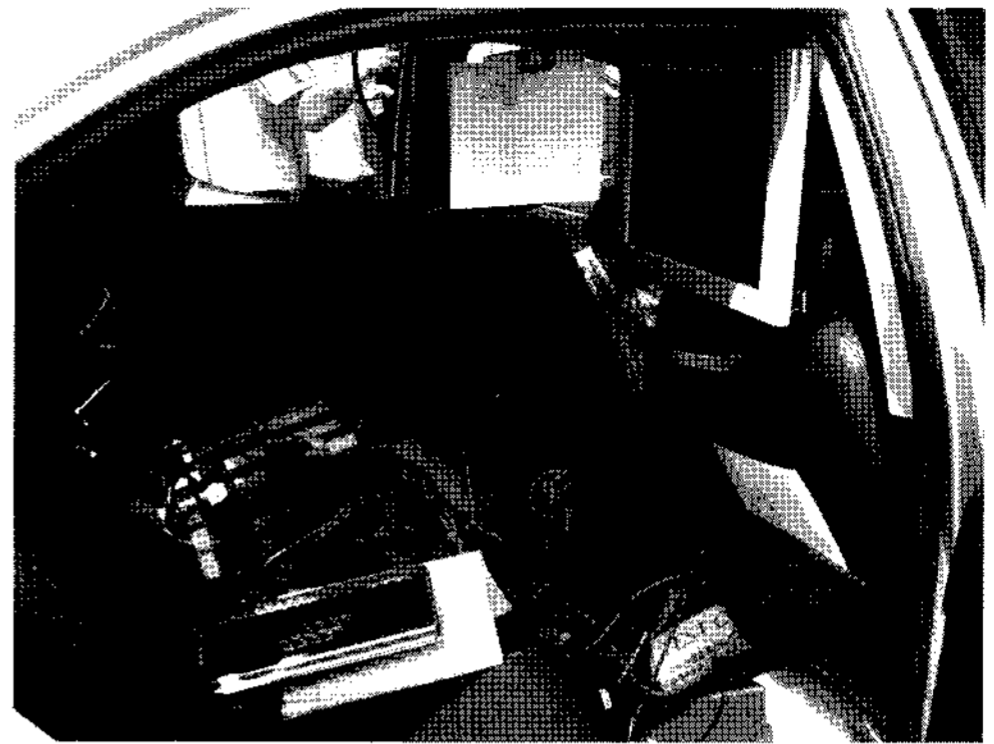


Fig. 5 Data acquisition devices for test vehicle

coder)를 거쳐 Labview가 장착된 PC로 받아 처리하였다.

2.1.5 Test Road

노면 경사도는 오르막에서는 마찰계수가 증가되고, 내리막에서는 마찰계수(μ)가 감소되는 효과가 발생되므로 종방향과 횡방향으로 노면이 수평하고, 아스팔트로 포장된 Fig. 6에서 나타낸 자동차부품연구원(Korea Automotive Technology Institute)에서 급제동실험을 수행하였다.

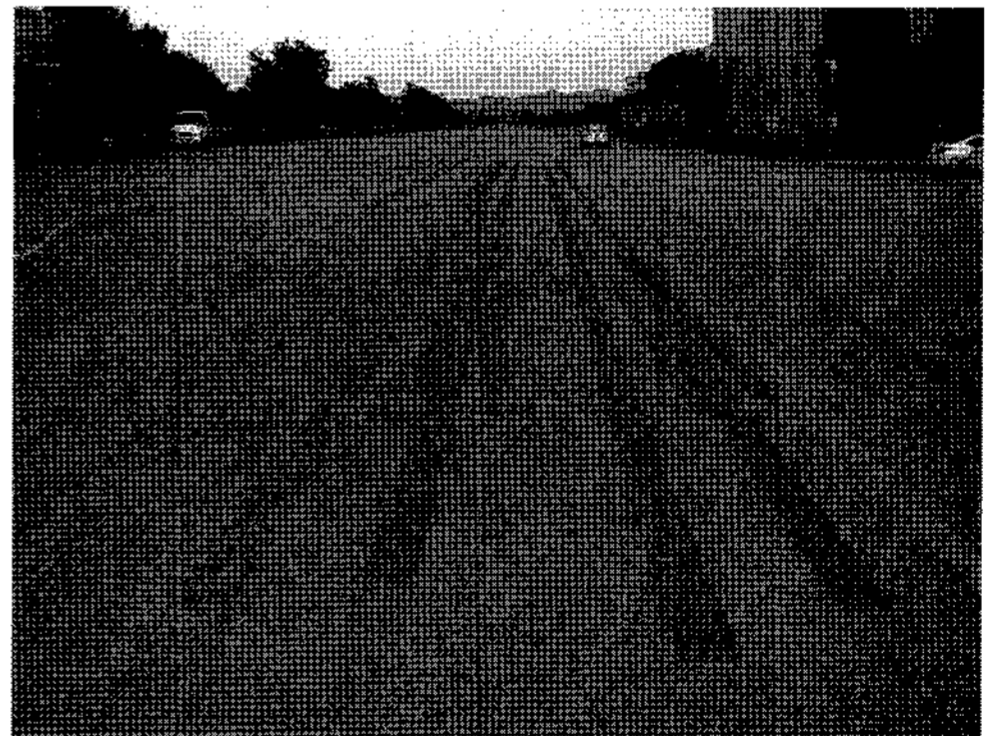


Fig. 6 Test road with asphalt pavement

3. 차량속도와 스키드마크

급제동시 ABS와 Non-ABS의 속도 변화에 따른 하중과 마찰계수의 변화를 확인하기 위해 실험차량의 속도를 40, 60, 80, 100 km/h에서 각각 시행하였다. ABS와 Non-ABS 차량의 실험 조건 및 노면을 동일하게 하였고, ABS 실험을 먼저하고, ABS 휴즈를 제거한 다음 Non-ABS 실험을 나중에 실행하였다.

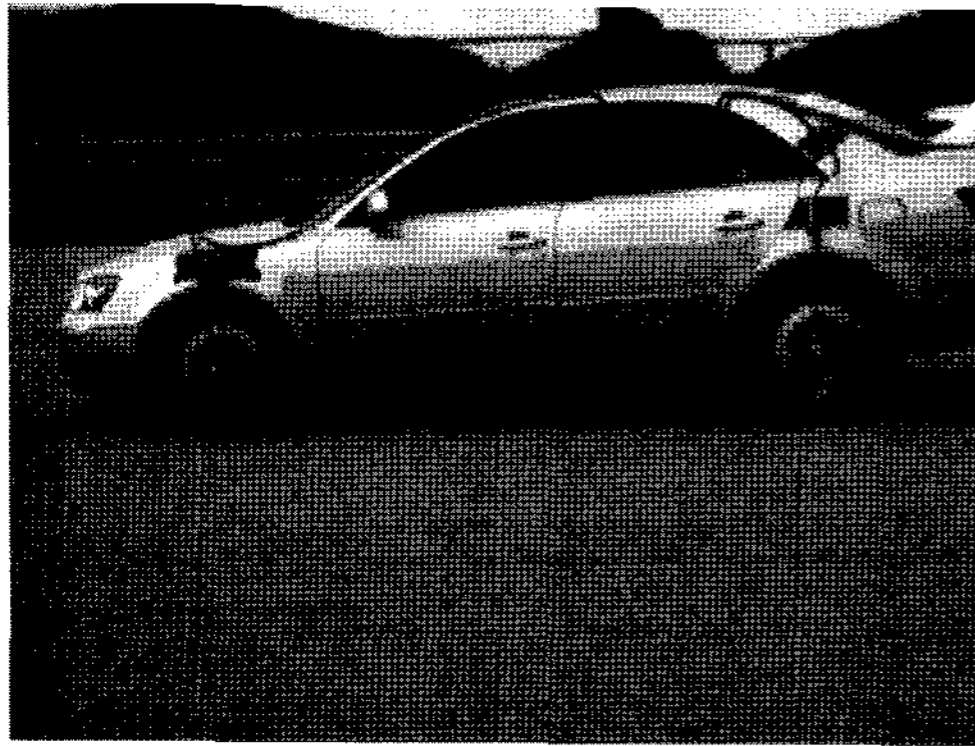


Fig. 7 ABS test with SWIFT equipped



Fig. 8 Non-ABS test with SWIFT equipped

40 km/h 이하의 속도는 노면 굴곡상태, 바퀴가 고착되는데 소요되는 시간, 운전자의 브레이크 조작능력, 노즈 다운과 완충장치의 영향에 따라 바퀴에 작용하는 힘의 변화가 크므로 시행하지 않았고, 브레이크 페달을 밟기 전에 차량의 속도를 일정하게 유지하였다. 그리고 차량 운전자는 차량 테스트 경력 15년의 전문 운전자이다.

브레이크 페달을 밟은 지점의 속도를 기록하기 위해 브레이크 페달과 운전자 신발 바닥에 접촉식 센서를 장착하였으며, 브레이크 페달을 밟은 지점에서 실험 차량이 정지된 지점까지 거리는 SWIFT가 장착된 바퀴의 힘과 센서에 기록된 거리를 사용하였다. 운전자는 속도센서에 나타난 속도를 보고 급제동을 취하였으며, 브레이크 페달을 밟은 시점의 속도는 속도센서에 기록된 속도를 사용하였다.

SWIFT가 장착된 상태에서 ABS와 Non-ABS 실험에서 스키드마크가 발생될 때 상황을 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타내었다. Fig. 7에서 보는바와 같이 ABS

장착된 차량은 타이어에서 연기가 발생되지 않았으나, Non-ABS 실험의 경우에는 급제동시 타이어가 잠김(lock) 현상이 발생되며, 타이어와 노면의 접촉열에 의해서 연기가 발생되었다.

3.1 스키드마크에 의한 마찰계수 추정

제동성능에 대한 일반적인 식은 뉴턴의 식을 적용하여 구할 수 있고, 차량에 작용하는 힘은 Fig. 9와 같으며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.⁷⁾

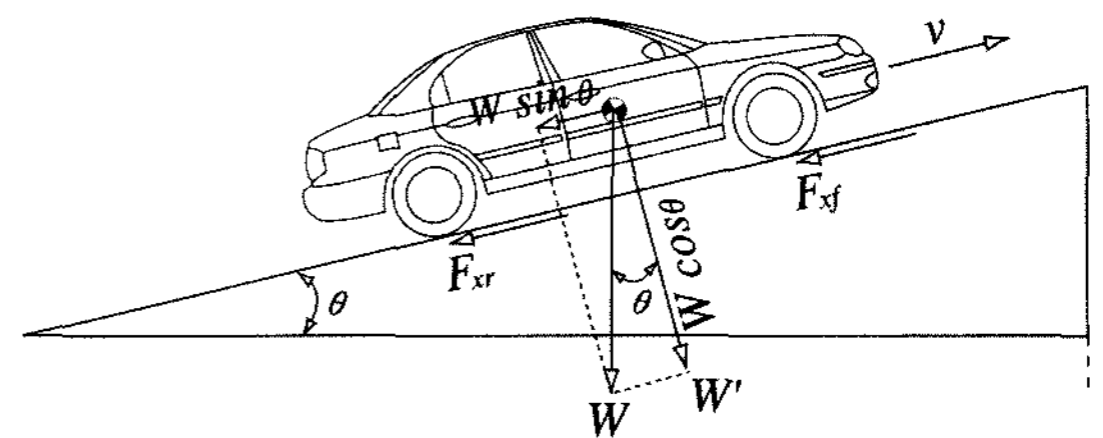


Fig. 9 Force on passenger car

$$\begin{aligned}
 Ma_x &= -\frac{W}{g}a_x \\
 &= -F_{xf} - F_{xr} - D_A - W\sin\theta
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, W = 차량중량, a_x = 감속도, F_{xf} = 전륜 제동력, F_{xr} = 후륜제동력, D_A = 공기항력, θ = 경사도이다. a_x 는 μg 이며, 공기항력을 무시하고, 실험도로는 수평한 노면이므로 식 (1)을 마찰계수(μ)를 구하는 식으로 다시 쓰면, 식 (2)와 같다.

$$\mu = \frac{F_{xf} + F_{xr}}{W}
 \tag{2}$$

급제동시 실시간으로 입력되는 F_z 와 F_x 로 전륜과 후륜의 마찰계수를 구하기 위해 식 (2)를 전륜(μ_f)과 후륜(μ_r)으로 각각 나타내면, 식 (3)과 같다.

$$\mu_f = \frac{F_{xf}}{F_{zf}}, \quad \mu_r = \frac{F_{xr}}{F_{zr}}
 \tag{3}$$

3.2 실험차량 전륜과 후륜의 F_z 와 F_x

본 연구에서는 운전석 앞바퀴와 뒷바퀴에만 SWIFT가 설치되어 있고, 전륜과 후륜 모두 디스크 브레이크가 장착되어 있으며, 실험 노면이 수평한 아스팔트 포장노면이고, 급제동시 차량의 운동방향

이 변하지 않고 똑바로 진행하였으므로 SWIFT가 장착되지 않은 조수석 앞바퀴와 뒷바퀴 쪽도 운전석과 동일한 힘이 들어오는 것으로 가정하였다. 전륜과 후륜의 SWIFT가 장착된 바퀴 쪽의 F_z 와 F_x 를 측정하여 급제동시 하중변화와 마찰계수를 분석하였다.

일정한 속도로 진행하는 승용차량 운전자가 급제동을 하게 되면, Fig. 10의 결과와 같이 하중은 앞쪽으로 이동된다. 운전자가 브레이크 페달을 밟은 지점에서 ABS와 Non-ABS 모두 약 0.19~0.23초 사이에 F_z 와 F_x 가 최대가 되었으며, ABS와 Non-ABS의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. Fig. 10와 Fig. 11은 ABS 차량의 전륜과 후륜의 F_z 와 F_x 이며, F_z 의 값이 최대가 되는 시점에 F_x 의 값도 최대가 증가되었다. Fig. 12와 Fig. 13은 Non-ABS 차량이며, ABS가 장착된 차량과 Non-ABS 차량은 급제동 후 최대 제동력에서 유사한 결과를 보였지만, Non-ABS 차량은 바퀴가 잠김 상태로 계속 유지되기 때문에 ABS 차량이 급제동 후 안정화되는 시간이 더 빠른 것으로 파악되었다.

Fig. 10~Fig. 13에서 급제동을 시작한 시점에서 정지한 위치까지 F_z 와 F_x 가 약 1.5 Hz의 주파수 형태로 나타난다. 급제동 후 전륜의 압축된 스프링과 후륜의 팽창된 스프링이 원래의 위치로 복원하려는 힘에 의해 F_z 가 변화되었고, 이에 따라 F_x 가 변화되었다. 타이어에서 발생하는 F_z , F_x 는 차량의 공진 주파수와 중복되어 1.5 Hz의 공진 주파수를 포함한 결과로 판단된다.

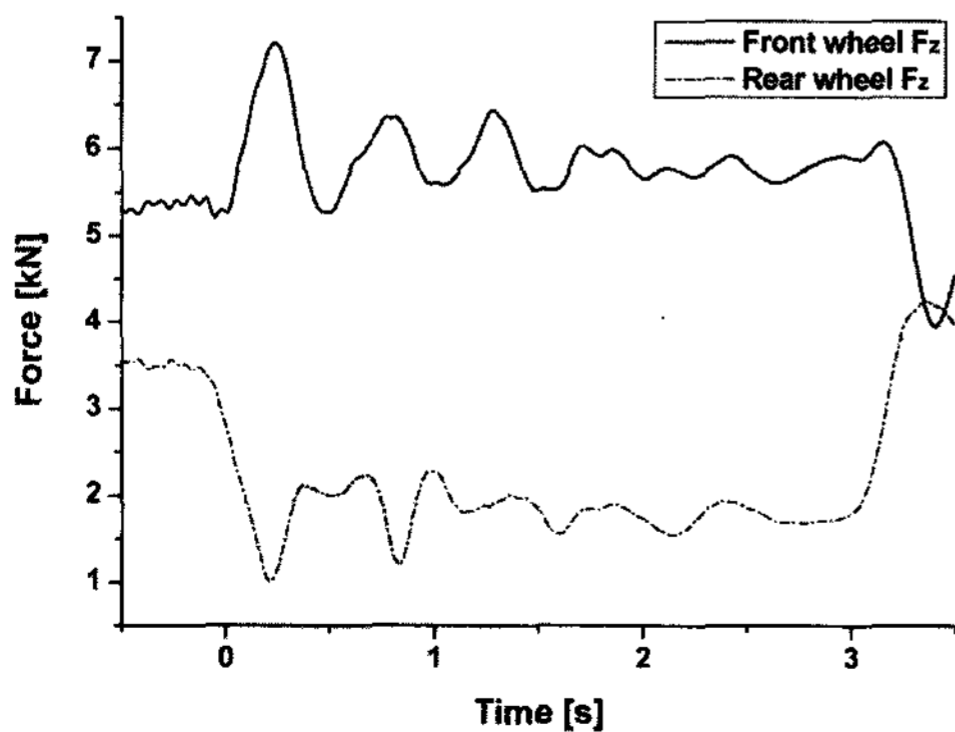


Fig. 10 F_z of brake onset to stop on ABS of 100km/h

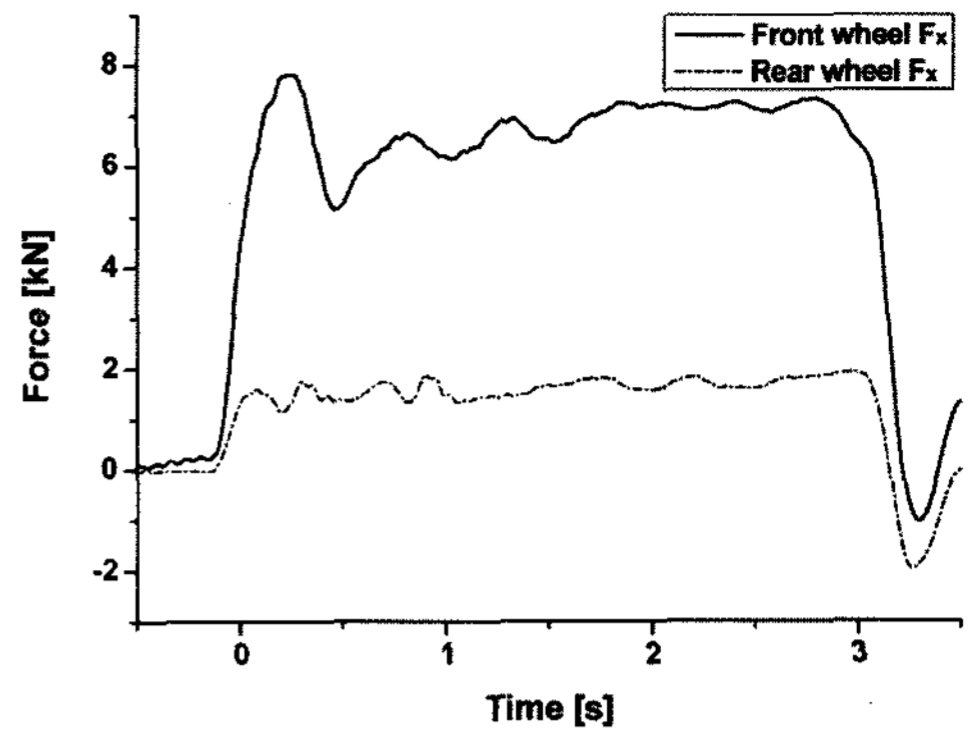


Fig. 11 F_x of brake onset to stop on ABS of 100km/h

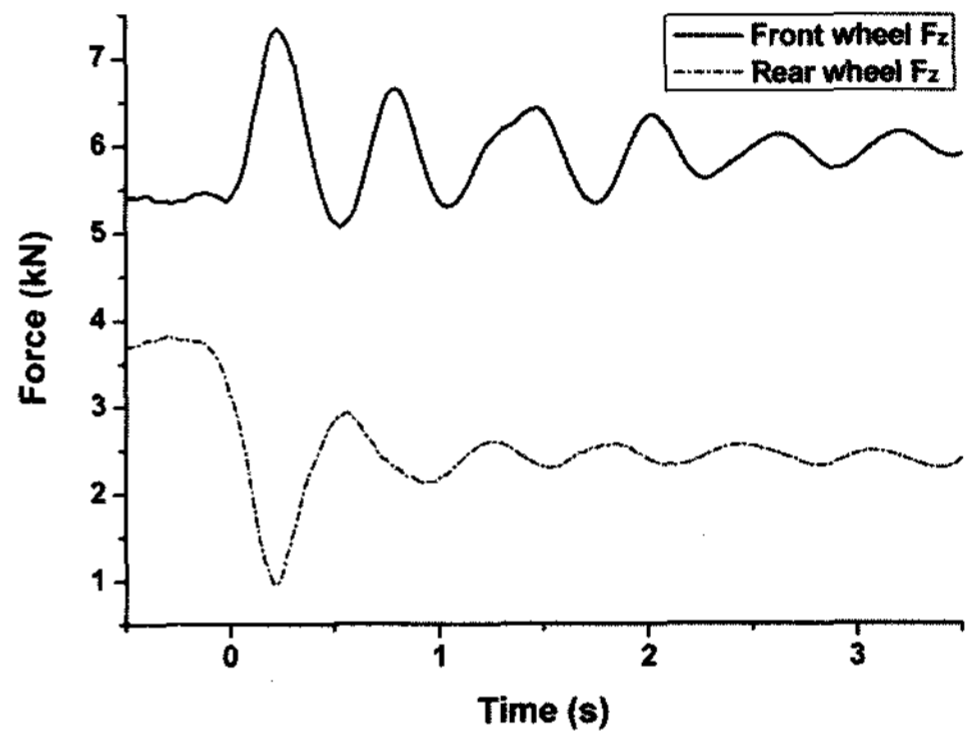


Fig. 12 F_z of brake onset to stop on Non-ABS of 100km/h

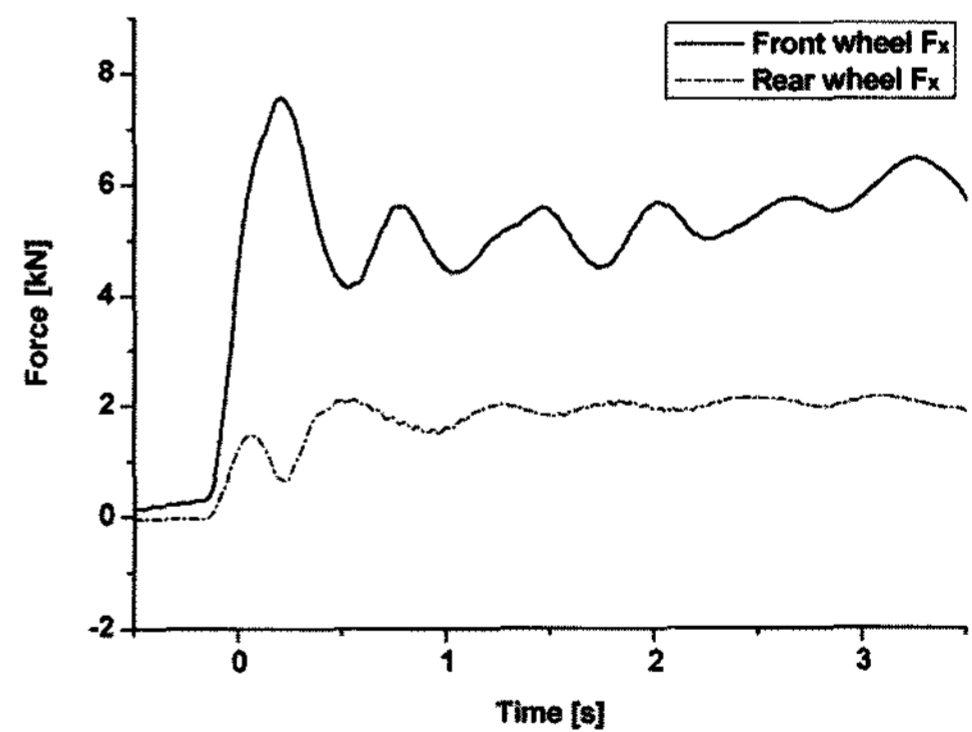


Fig. 13 F_x of brake onset to stop on Non-ABS of 100km/h

ABS와 Non-ABS의 급제동시 전륜과 후륜의 하중변화를 Table 3과 4에 나타내었고, 실험차량의 정적 하중은 좌측 전륜이 4.34 kN이고, 좌측 후륜은 3.2 kN이다. ABS 차량은 급제동시 전륜은 정적하중의 약 49~59% 증가되었고, 후륜은 최대 69%까지 감소

Table 3 F_z and F_x of each wheel on result of ABS test

Speed [km/h]	F_z (kN)				F_x (kN)			
	Front		Rear		Front		Rear	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
40	6.89	4.95	2.23	1.28	7.45	6.53	1.87	1.15
60	6.49	4.71	2.44	1.15	7.50	5.20	2.00	1.08
80	6.51	4.62	2.44	1.03	7.76	6.03	1.76	1.03
100	6.76	4.66	2.25	1.01	7.90	5.64	1.93	1.09

Table 4 F_z and F_x of each wheel on result of non-ABS test

Speed [km/h]	F_z (kN)				F_x (kN)			
	Front		Rear		Front		Rear	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
40	7.07	4.34	2.96	1.07	7.73	4.23	2.87	0.76
60	7.24	4.80	2.98	0.98	7.46	4.23	2.62	0.94
80	7.35	5.13	2.69	0.83	7.68	4.53	2.37	0.93
100	7.33	5.00	2.86	0.84	7.86	4.34	2.20	0.62

되었다. Non-ABS 차량의 전륜은 63~69%가 증가되었고, 후륜은 최대 74%까지 하중이 감소된 것으로 나타났다. 동일한 실험 속도에서 F_x 의 값은 ABS와 Non-ABS가 거의 비슷하지만, Non-ABS의 F_z 는 ABS보다 크고 하중이 많이 이동된 것은 바퀴가 고착된 것과 고착되지 않은 것의 차이로 판단된다.

3.3 정지거리 구간 내 마찰계수(μ)

운전자가 브레이크 페달을 밟은 지점에서 정지한 지점까지 ABS가 장착되었을 때와 장착되지 않았을 때 전륜과 후륜의 마찰계수 및 평균값을 Table 5와

Table 5 Coefficient of friction from brake onset to stop(ABS)

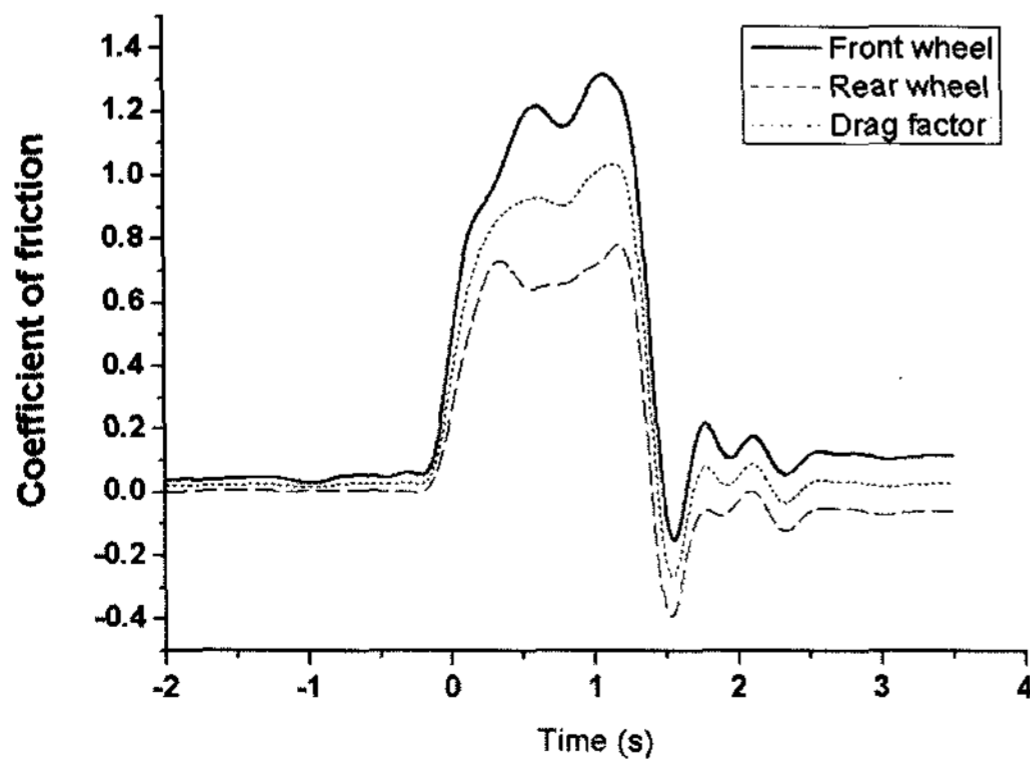
Speed [km/h]	Front	Rear	Average
40	1.00	0.72	0.86
60	1.02	0.72	0.87
80	1.06	0.72	0.89
100	1.04	0.73	0.89

Table 6 Coefficient of friction from brake onset to stop (Non-ABS)

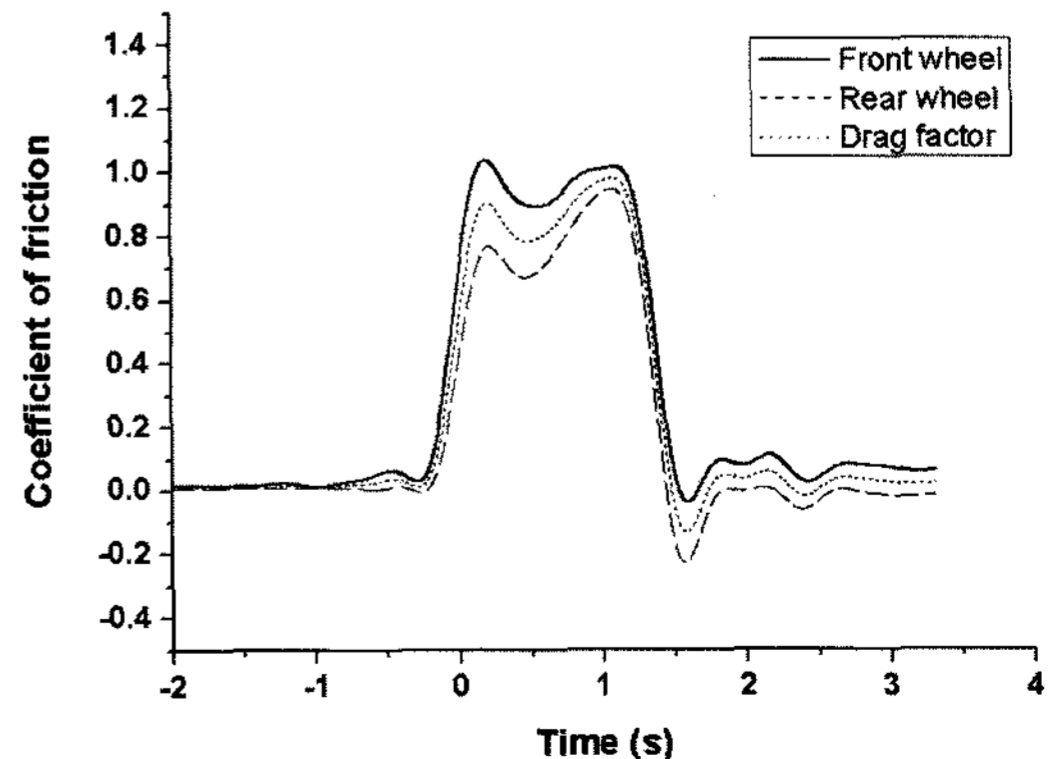
Speed [km/h]	Front	Rear	Average
40	0.87	0.76	0.82
60	0.83	0.69	0.76
80	0.85	0.72	0.78
100	0.83	0.68	0.76

Table 6에 각각 나타내었다.

Table 5, Table 6에서 운전자가 브레이크 페달을 밟은 지점에서 차량이 완전히 정지한 지점까지 전체 구간의 마찰계수는 ABS 차량이 Non-ABS 차량보다 약 0.1 정도 높게 나타났다. Table 5에서 ABS가 장착된 차량은 급제동시 마찰계수가 3% 오차 범위 내에서 일정한 값을 나타내며, ABS 차량은 바퀴가 잠기지 않도록 제어를 하여 최대 마찰력이 나오는 구간을 일정하게 유지했기 때문인 것으로 판단된다. Table 6에서 Non-ABS 차량은 차속이 증가함에 따라 슬립율이 증가하여 마찰계수가 감소한 것으로 판단된다. 급제동 지점에서 정지한 지점까지 ABS와 Non-ABS의 마찰계수 특성을 Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17에 각각 나타내었다.



(a) ABS



(b) Non-ABS

Fig. 14 Coefficient of friction on 40 km/h

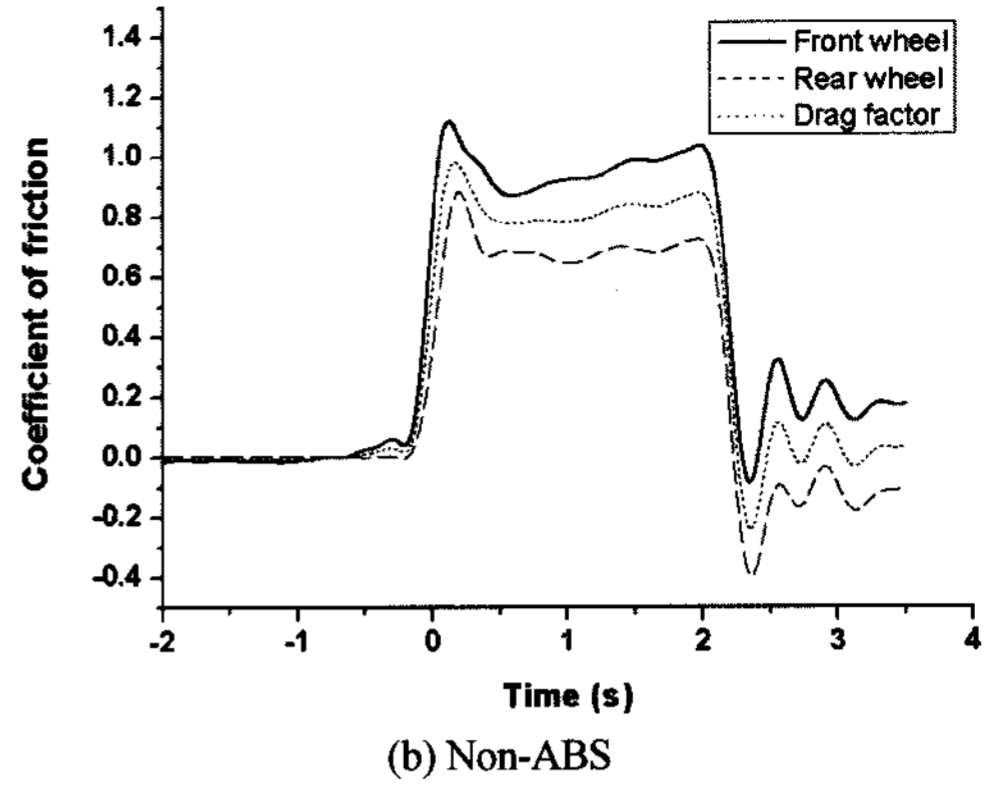
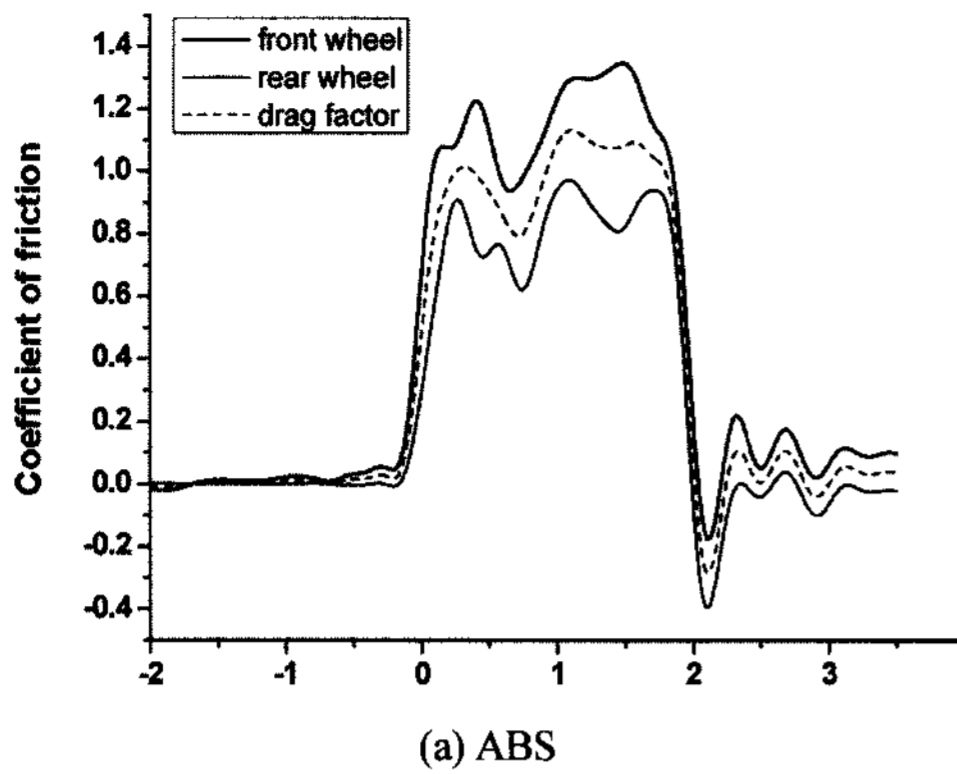


Fig. 15 Coefficient of friction on 60 km/h

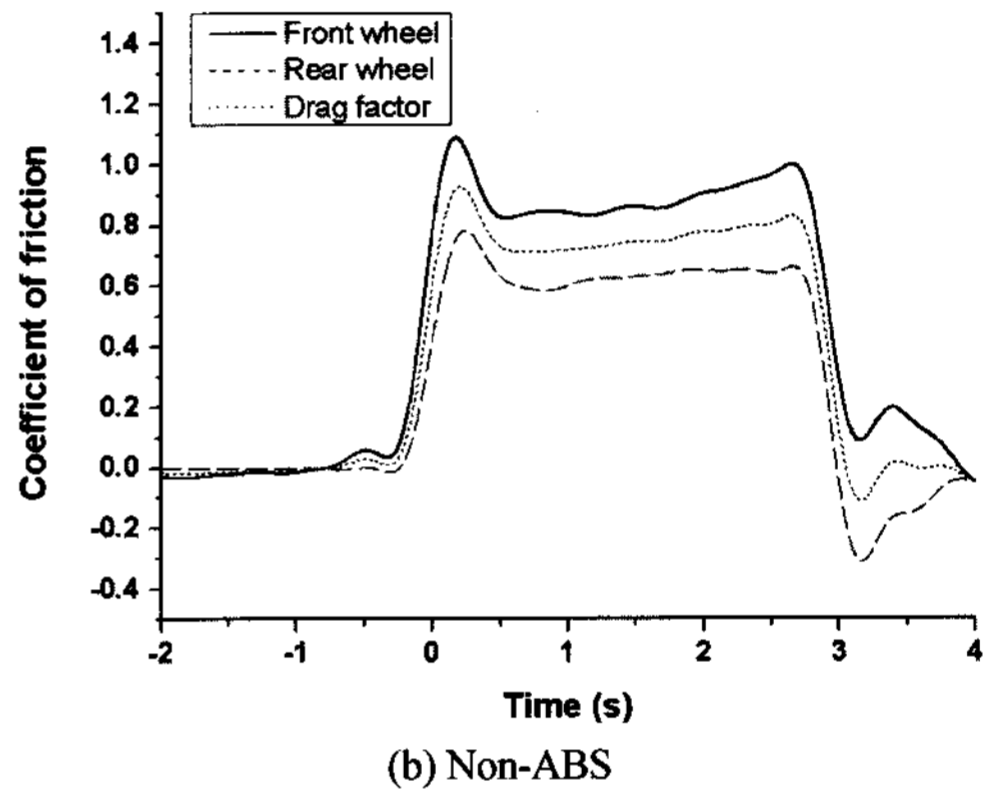
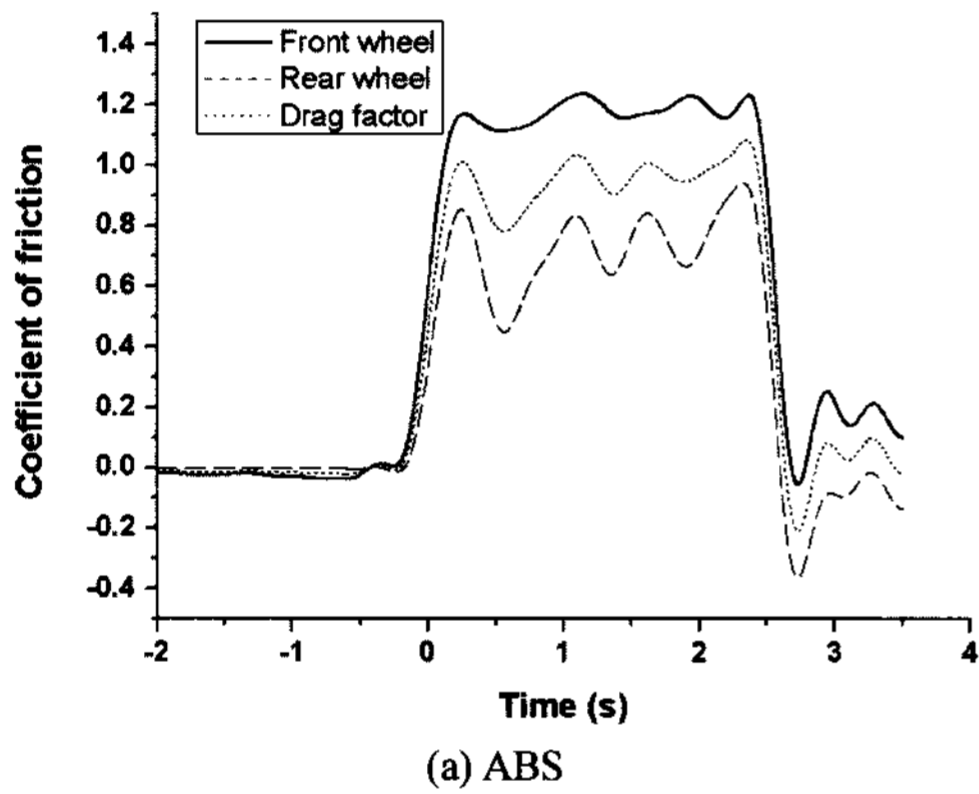


Fig. 16 Coefficient of friction on 80 km/h

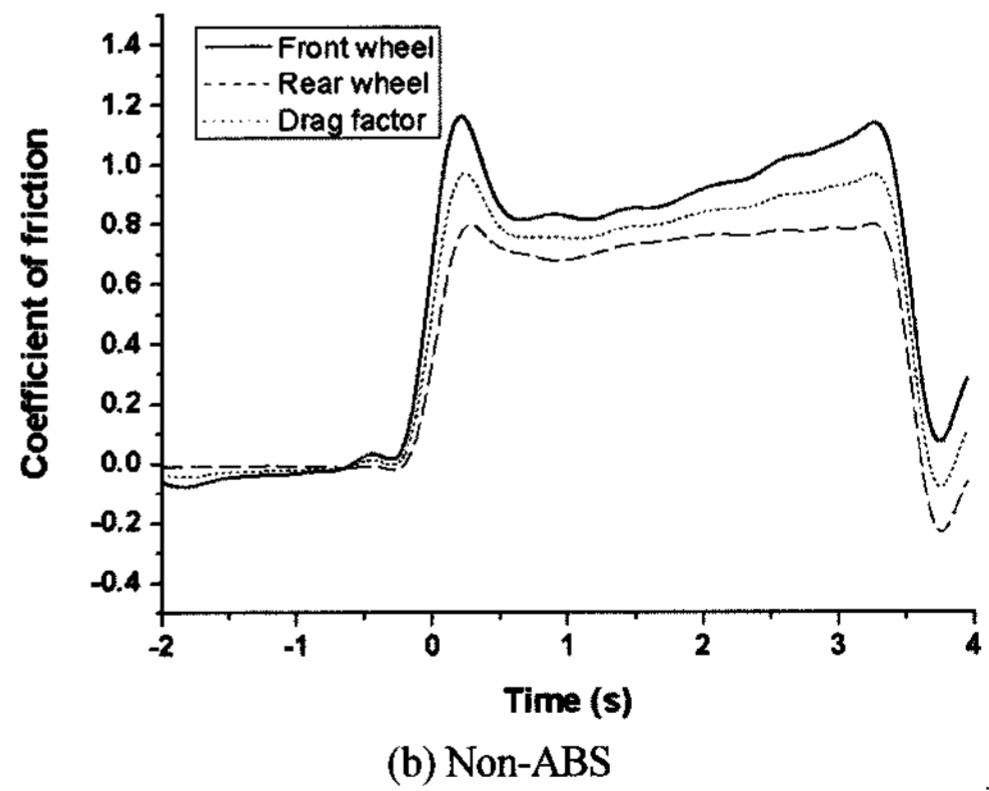
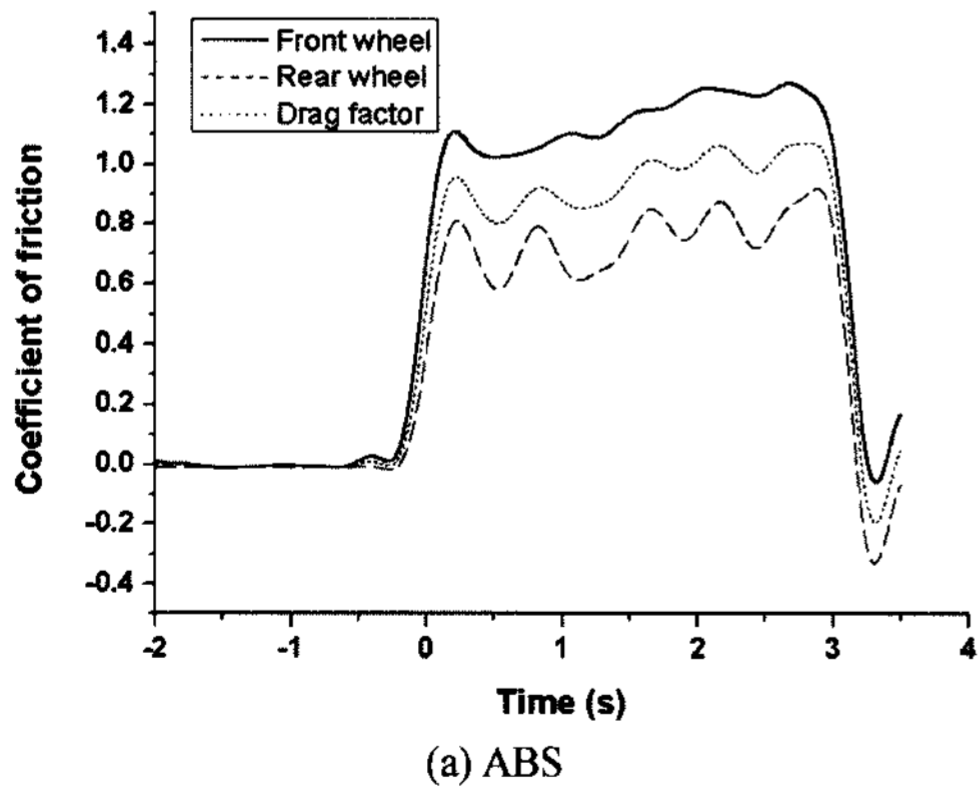


Fig. 17 Coefficient of friction on 100 km/h

3.4 제동력과 마찰계수

교통안전공단과 자동차 정비공장 검사소에 설치되어 있는 제동력 측정기는 차량의 무게와 제동력을 측정하며, ABS와 Non-ABS 차량을 구분하지 않

고 최대 제동력을 측정하여 합격 여부를 결정한다.

실험차량의 공차상태 정적하중은 15,090 N이며, 검사소에서 측정한 전륜과 후륜의 제동력 합은 약 12,800 N이었다. 제동력은 F_x 이고, 무게는 F_z 이므

로 실험차량의 마찰계수는 식 (3)에서 약 0.84이며, ABS와 Non-ABS 실험차량의 마찰계수 평균값과 거의 비슷하게 나타났다. 교통사고 분석에서 차량의 속도를 계산할 때 마찰계수는 매우 중요하다. 교통사고 현장에서 직접 마찰계수 측정실험을 할 수 없는 경우가 대부분이므로 자동차 검사소에서 마찰계수를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

건조한 아스팔트 포장노면에서 국내 A사에서 제작된 배기량 2,400 mL로 자동변속기가 장착된 승용차량으로 ABS와 Non-ABS 급제동 실험을 40, 60, 80, 100 km/h에 대해 각각 수행하였다. 바퀴에 작용하는 힘과 모멘트, 속도를 측정하기 위해 운전석 앞, 뒤 타이어에 SWIFT 센서를 설치하였고, 차량 뒤쪽에는 광학속도계 센서를 설치하였으며, 차량 무게 중심에 3축 가속도계를 부착하여 실험을 실시하였다.

운전자가 급제동을 시작한 시점에서 ABS와 Non-ABS 모두 약 0.19~0.23초 사이에 타이어의 수직 힘과 종방향 힘이 최대로 나타났으며, ABS 시스템은 최대제동력 후 최대 마찰계수를 구현하기 위해 타이어의 슬립을 제어하기 때문에 ABS와 Non-ABS의 특성의 차이로 인한 결과는 나타나지 않았다.

급제동을 시작한 시점에서 정지한 위치까지 타이어의 수직 힘과 종방향 힘이 약 1.5 Hz의 주파수 형태로 나타났다. 급제동 후 전륜의 압축된 스프링과 후륜의 팽창된 스프링이 원래의 위치로 복원하려는 힘에 의해 수직 힘이 변화되었고, 이에 따라 종방향 힘이 변화되었다. 타이어에서 발생하는 수직 힘, 종방향 힘은 차량의 공진 주파수와 중복되어 1.5 Hz의 공진 주파수를 포함한 결과로 판단된다.

급제동 실험에서 운전자가 브레이크 페달을 밟은 시점에서 차량이 완전히 정지한 위치까지 전체 구간의 마찰계수는 ABS 차량이 Non-ABS 차량보다 약 0.1정도 높게 나타났다. ABS가 장착된 차량은 급제동시 마찰계수가 3% 오차 범위 내에서 일정한 값을 나타내며, ABS 차량은 바퀴가 잠기지 않도록 제어를 하여 최대 마찰력이 나오는 구간을 일정하게 유지했기 때문인 것으로 판단된다. Non-ABS 차량

은 차속이 증가함에 따라 슬립율이 증가하여 마찰계수가 감소한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 한 차종만을 대상으로 실험하였으며, ABS의 특성이 부품과 자동차 제작사마다 조금씩 다르기 때문에 다양한 차종과 타이어로 실험한 결과를 분석하면, 본 연구보다 정확도가 높아질 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부(MKE)의 도움으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.(Grant 10024232-2007-21)

References

- 1) K. N. Kim, J. K. Ok, M. S. Kim, W. K. Mun, S. J. Park and W. S. Yoo, "Calculation of Brake Onset Velocity for Non-ABS Vehicle on Dry Asphalt Pavement," Transactions of KSAE, Vol. 15, No.2, pp.109-114, 2007.
- 2) B. E. Heinrichs, "Vehicle Speed Affects Both Pre-skid Braking Kinematics and Average Tire/roadway Friction," Accident Analysis and Prevention, Vol.36, pp.829-840, 2004.
- 3) D. W. Goudie, J. J. Bowler, C. A. Brown, B. E. Heinrichs and G. P. Siegmund, "Tire Friction During Locked Wheel Braking," SAE 2000-01-1314, 2000.
- 4) K. J. Woo and S. Yamazaki, "A Study on the Estimation of Friction Coefficient between Tire and Road Surface Using Running Car Data," Transactions of KSAE, Vol.7, No.6, pp.207-213, 1999.
- 5) S. Yamazaki, O. Fukukawa and T. Suzuki, "Study on Real Time Estimation of tire to Road Friction," Vehicle System Dynamics Supplement, Vol.27, pp. 225-233, 1997.
- 6) D. Hong, K. Huh, P. Yoon and I. Hwang, "Estimation of Tire Braking Force and Road Friction Coefficient between Tire and Road Surface For Wheel Slip Control," KSME Transaction A, Vol.28, No.5, pp.517-523, 2004.
- 7) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, 1992.