

전문가와 일반인의 급제동 특성 및 바퀴 잠김 속도 비교

김기남¹⁾ · 이지훈²⁾ · 김민석²⁾ · 유완석^{*3)}

K&K AceTECH¹⁾ · 부산대학교 기계설계공학과²⁾ · 부산대학교 기계공학부³⁾

Comparison of Rapid Braking Characteristics between an Expert Driver and a General Person

Keenam Kim¹⁾ · Jihoon Lee²⁾ · Minseok Kim²⁾ · Wansuk Yoo^{*3)}

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

²⁾Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

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

(Received 4 December 2007 / Accepted 13 August 2008)

Abstract : 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 study, in order to estimate the speed at the brake onset, rapid braking tests were executed on the proving ground. We compared with a skid length and wheel locking time of an expert driver and a general person. We verified that the skid mark of expert driver occurs longer than general person's. A new method is proposed to determine the speed of a vehicle at the brake onset of maximum braking, which could be applied to a reconstruction of vehicle with Non-ABS.

Key words : Coefficient of friction(마찰계수), Tire mark(타이어 자국), Skid mark(스키드마크), Speed calculation(속도계산), Wheel locking time(공주시간)

1. 서론

운전자의 급제동 특성에 따라 스키드마크 길이가 다르게 발생될 수 있으므로 사고현장에서 운전자의 급제동 특성을 판단하는 것은 거의 불가능하다. 스키드마크 길이만으로 브레이크 페달을 최초 밟은 시점의 속도를 계산하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있지만,¹⁻⁶⁾ 운전자의 급제동 특성에 대해서는 많이 연구되고 있지 않다. Neptune은 스키드마크 자국으로 브레이크 페달을 밟은 시점의 속도를 계산하기 위해 브레이크 페달을 최초로 밟은 시점에서 바퀴가 잠긴(lockup) 시점까지의 공주시간(wheel

locking time)을 적용하였으며, 노면 상태에 따라 차이가 있으나, 0.11~0.25초를 적용하고 있다.⁷⁾ 그러나 차량 운전자의 성별, 연령, 숙련도, 운전자가 처한 상황, 도로 선형구조에 따라 인지·반응 시간과 제동장치 성능이 다르기 때문에 일률적으로 모든 운전자에게 동일한 공주시간을 적용하여 브레이크 페달을 최초로 밟은 시점의 속도를 추정하는 방법은 실제 차량사고에 적용할 수 없을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 운전자의 급제동 특성을 분석하기 위해 차량 테스트 전문가와 일반인이 급제동 조치를 취할 때 노면에 발생하는 스키드마크 생성 길이와 바퀴가 잠길 때까지의 시간을 비교하였으며, 스키드마크 시작지점과 급제동 시점의 속도를 계산할

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

수 있는 새로운 방법을 제시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험차량

실험에 사용한 차량은 Fig. 1에 나타나 있으며, 국내에서 제작된 배기량 2,000cc급의 자동변속기가 장착된 중형급 승용차량이다. 급제동시 바퀴가 잠기는 것을 방지하는 ABS(Anti-lock Brake System) 장치가 장착된 승용차량은 급제동시 바퀴가 완전히 잠기지 않아 건조한 노면에서 육안으로 확인 가능한 스키드마크가 발생하지 않거나, 희미하게 나타나 스키드마크 길이를 정확하게 측정할 수 없는 경우가 많으므로 실험차량은 Non-ABS 승용차량으로 선정하였다.

바퀴가 잠긴 시점의 속도와 스키드마크 길이는 운전자가 브레이크 페달을 밟는 힘과 속도에 의해 결정되므로 차량 테스트 경력 15년의 운전자(이하 “전문가”라고 한다)와 운전경력 13년의 성인 남성 운전자(이하 “일반인”라고 한다)가 각각 급제동 조치를 취하였으며, 전문가와 일반인의 급제동 특성, 바퀴가 잠긴 시점의 속도, 소요된 시간 등을 상호 비교하였다.

2.1.2 타이어

본 연구에서는 신폼 타이어를 실험차량에 장착하였으며, 타이어의 코팅을 벗겨내기 위해서 시내와 시외 도로를 약 300km 이상 주행한 다음, 급제동 실험을 실시하였다. 타이어는 국내에서 제작된 205/60R15 91H 형식을 사용하였다. 건조한 노면에서 타이어와 노면 사이에 작용하는 최대 마찰 및 미끄럼 마찰계수는 타이어 공기압에 크게 영향을 받지 않는 것으로 조사되어 있으므로,⁸⁾ 타이어 공기압은 제작사에서 표시된 표준 규정압력(240kPa)을 적용하였다.

2.1.3 속도센서

“자동차안전기준에관한규칙” 제54조 “속도 및 주행거리계” 제1항에서 차량의 속도계는 -10%와 +15%의 오차를 허용하고 있으므로 실제 차량의 주행속도와 속도계 지침이 지시하는 속도가 일치하지 않는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 급제동 시



Fig. 1 Test vehicle with sensors installed



Fig. 2 Non-contact optical sensor(speedometer)

Table 1 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

점의 실험차량 속도를 정확하게 측정하기 위해서 Fig. 2와 같이 비접촉 광학식 속도센서를 사용하였고, 사용된 속도센서의 사양은 Table 1에 나타나 있다.

2.1.4 바퀴 회전속도 측정센서

운전자가 브레이크 페달을 최초로 밟은 지점에서 바퀴가 잠긴 지점까지의 공주거리(브레이크 페달을 최초로 밟은 지점에서 스키드마크 시작지점까지의 거리), 공주시간, 차량의 감속도, 시간을 측정하거나 계산하기 위해 바퀴 회전속도 측정센서를 제

작하여 실험차량의 휠센터(wheel center)에 장착하였으 며, 실험차량에 장착된 모습은 Fig. 3과 같다. Non-ABS 승용차량은 급제동시 뒷바퀴는 잠기지 않 도록 설계되어 있고, 대부분 앞바퀴에서만 스키드 마크가 발생되므로 실험차량에는 Fig. 3과 같이 앞 바퀴에 바퀴 회전속도 측정센서를 부착하였으며, Table 2에 주요사양을 나타내었다.

2.1.5 실험도로

노면 경사도가 있는 도로에서 오르막은 마찰계수 (coefficient of friction)가 증가되고, 내리막에서는 마 찰계수가 감소되는 효과가 발생된다. 실험도로는 종방향(longitudinal)과 횡방향(lateral)으로 수평하 고, 아스팔트로 포장된 자동차부품연구원(KAT- ECH, korea automotive technology institute) 내 시험 도로(proving ground)에서 실시하였다.

2.2 차량속도와 스키드마크

전문가와 일반인의 실험 속도 변화에 따른 마찰 계수와 브레이크 페달을 밟은 지점에서 바퀴가 잠길 때까지 공주거리, 공주시간, 스키드마크의 길이를 측정하기 위해 급제동 시점의 속도를 40km/h, 60km/h, 80km/h, 100km/h로 선정하였고, 전문가는 120km/h의 속도에서도 급제동 실험을 추가로 실시 하였다. 진행하는 차량의 엔진, 변속기, 최종 구동장 치, 탑승자인원의 증가는 제동 작용에 대해 관성 효 과로 나타나며, 구성 요소의 관성은 차량에 유효한 질량을 증가시켜 제동거리에 영향을 미치지만, 본 급제동 실험에서는 이들의 영향은 고려하지 않았다.

브레이크 페달을 최초 밟은 지점에서 바퀴가 잠 긴 지점까지 거리와 스키드마크 길이는 바퀴 회전 속도 측정센서가 설치된 우측 앞바퀴에서 발생된 자국과 센서로부터 수집된 자료를 사용하였으며, 노면에 발생한 스키드마크 길이를 직접 측정하여 센서가 측정한 거리와 비교하였다. 급제동 시점과 바퀴가 잠긴 시점의 속도는 비접촉 광학식 속도 센 서에 기록된 것을 사용하였다.

3. 속도변화와 속도계산 방법

3.1 속도 추정법

Fig. 4에는 직진 주행 중인 자동차에 브레이크를



Fig. 3 Attachment of wheel rotation speed sensor

Table 2 Specification of wheel rotation speed sensor

Item	Specification
Resolution	600pulse/rev
output phase	A, B, Z
Response speed	1μs
Maximum response frequency	180KHz
Supply voltage	12-24V DC ±5%

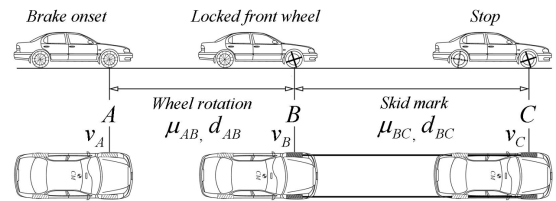


Fig. 4 Brake onset to stop with maximum braking

작동시킬 때 브레이크 잠김 상태가 생기고 난 뒤 정 지하는 과정을 보여주고 있다. 브레이크 작동시점 의 속도를 v_A , 스키드마크 발생지점의 속도를 v_B , 차량의 정지된 지점의 속도를 v_C 라 하고, 구간 AB 와 BC 에서의 마찰계수와 거리를 각각 μ_{AB}, d_{AB} , μ_{BC}, d_{BC} 라 두고, 중력가속도를 g 라 하면, 각 속도 사이의 관계는 다음과 같다.

$$v_C^2 - v_B^2 = -2 g \mu_{BC} d_{BC} \tag{1}$$

$$v_B^2 - v_A^2 = -2 g \mu_{AB} d_{AB} \tag{2}$$

$$v_B = \sqrt{v_C^2 + 2 g \mu_{BC} d_{BC}} \tag{3}$$

$$v_A = \sqrt{v_B^2 + 2 g \mu_{AB} d_{AB}} \tag{4}$$

3.2 노면에 발생한 스키드마크 특성

본 연구에서 확인한 결과 일반인의 경우에는 80km/h와 100km/h의 속도에서 바퀴가 잠기기 전에도 스키드마크가 희미하게 발생된 것을 확인할 수 있었다. 일반인이 80km/h의 속도에서 급제동 조치를 취할 때 노면에 발생된 스키드마크를 Fig. 5에 나타내었으며, (a)는 스키드마크가 희미하게 시작된 지점, (b)는 바퀴가 잠긴 지점, (c)는 실험차량이 정지된 지점이다. 80km/h와 100km/h의 실험 속도에서는 급제동시 바퀴 회전속도와 차체가 진행되는 속도의 차이가 크게 발생하여 바퀴가 잠기기 전 지점부터 스키드마크가 희미하게 발생된 것으로 판단된다.

60km/h 이하의 실험속도에서는 급제동시 바퀴의 회전 감속도와 차체의 진행속도 차이가 크지 않고, 슬립율이 최대로 되는 시점과 바퀴가 잠기는 시점까지 시간이 매우 짧기 때문에 전문가와 일반인 모두 스키드마크가 시작된 전 지점에 희미한 자국은 발생되지 않았다. 전문가는 80km/h 이상의 속도에서 바퀴가 잠기기 전 희미한 스키드마크가 매우 짧게 발생되거나 또는 스키드마크 시작 지점과 바퀴가 잠긴 지점이 거의 일치하는 것으로 나타났다.

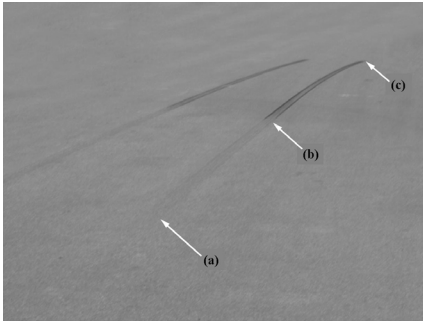


Fig. 5 Skid mark with a vehicle speed of 80km/h

3.3 급제동 실험 결과 비교

전문가는 일반인보다 공주시간이 짧고 바퀴가 잠긴 시점의 속도가 높기 때문에 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 비슷한 속도에서 전문가의 스키드마크 길이가 일반인보다 길게 발생하였다. 100km/h의 속도에서 급제동 조치를 취하였을 때 전문가와 일반인의 브레이크 페달을 최초 밟은 시점, 바퀴가 잠긴 시점, 소요된 시간, 속도 변화를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었

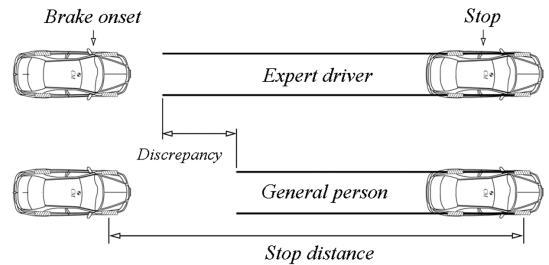


Fig. 6 Comparison of skid mark length of expert driver and general person on same speed

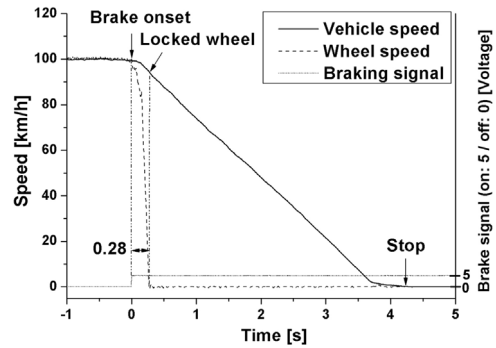


Fig. 7 Brake onset to stop 100km/h with an expert driver

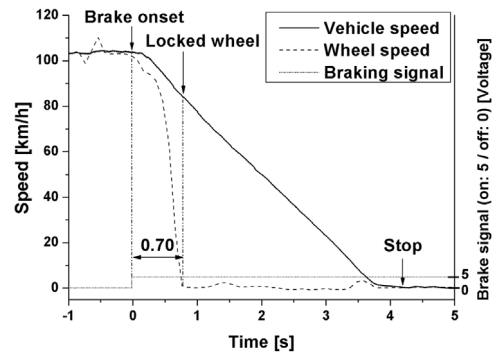


Fig. 8 Brake onset to stop 100km/h with a general person

다. 전문가와 비전문가의 바퀴가 잠긴 시점은 다르지만, 속도는 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. 전문가와 일반인의 급제동 실험결과의 평균값을 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

3.3.1 공주거리와 정지거리

노면에 생성되는 스키드마크 길이는 브레이크 페달을 최초 밟은 시점에서 바퀴가 잠길 때까지 시간, 운전자가 브레이크 페달을 밟는 힘과 속도, 브레이크 성능 등에 영향을 받으며, 실제 차량사고에서는

Table 3 Averaged data from test results with an expert driver

Test speed [km/h]	Averaged real speed [km/h]	Lockup speed [km/h]	Wheel locking time [s]	Skid mark length [m]	Stop distance [m]	Tire friction of skid section [μ]
40.0	40.0	33.0	0.37	5.1	9.1	0.84
60.0	59.7	54.7	0.28	15.3	19.8	0.77
80.0	79.1	74.4	0.26	29.1	34.6	0.77
100.0	99.0	94.0	0.27	46.0	53.3	0.75
120.0	119.2	113.6	0.28	64.4	73.6	0.79

Table 4 Averaged data from test results with a general person

Test speed [km/h]	Averaged test speed [km/h]	Lockup speed [km/h]	Wheel locking time [s]	Skid mark length [m]	Stop distance [m]	Tire friction of skid section [μ]
40.0	43.3	31.7	0.46	4.6	10.4	0.86
60.0	60.5	46.2	0.50	10.3	20.2	0.82
80.0	81.6	65.6	0.58	21.3	36.8	0.80
100.0	103.0	83.5	0.70	33.8	55.6	0.79

운전자가 전방의 상황을 인지(perception) 하고 반응(reaction) 시간에도 영향을 받을 것으로 판단된다.

공주거리(정지거리-스키드마크 길이)는 브레이크 페달에 발이 최초 올라간 지점에서 바퀴가 잠긴 지점까지 측정하였으며, 차량 테스트 전문가와 일반인의 공주거리는 전문가가 일반인보다 모든 실험 속도 범위에서 짧게 나타났다.

전문가는 일반인보다 정지거리는 40km/h의 속도에서는 12.5%, 60km/h는 2.5%, 80km/h는 5.9%, 100km/h는 4.2% 짧게 나타났다.

3.3.2 공주시간

전반적으로 브레이크 페달을 최초로 밟은 시점에서 바퀴가 잠길 때까지의 공주시간은 모든 실험 속도 범위에서 전문가가 일반인보다 짧은 것으로 나타났다. 전문가는 40km/h 속도에서는 0.37초이고, 나머지 속도 범위에서 공주시간은 거의 비슷한 시간(0.26~0.28초)으로 나타났으며, 일반인은 차량의 속도가 증가될수록 공주시간이 길어지는 것으로 나타났다. 40km/h의 속도에서 전문가의 공주시간이 높게 나타난 것은 낮은 속도에서는 최대 정지마찰력이 크게 작용하기 때문에 바퀴가 늦게 잠긴 것

로 판단된다.

3.3.3 급제동과 바퀴가 고착되는 속도 비교

전문가는 40km/h 속도에서는 급제동 시점의 속도보다 약 17% 감속된 33km/h 근처에서 바퀴가 잠겼다. 60km/h에서는 8% 감속된 54.7km/h, 80km/h에서는 6% 감속된 74.4km/h, 100km/h와 120km/h는 5%의 속도가 감속된 94km/h와 113.6km/h에서 바퀴가 잠겼다. 일반인은 43km/h의 속도에서는 약 24%의 속도가 감속된 31.7km/h에서 바퀴가 잠겼다. 60km/h에서는 24% 감속된 46.2km/h, 81.6km/h에서는 20% 감속된 65.6km/h, 100km/h에서는 19%의 감속된 83.5km/h에서 바퀴가 잠겼다.

3.3.4 스키드마크 발생 길이

모든 실험속도 범위에서 전문가는 일반인보다 길게 발생되었으며, 40km/h 속도에서는 10%, 60km/h에서는 33%, 80km/h에서는 27%, 100km/h에서는 27% 길게 나타났다. 비슷한 속도에서 급제동 조치를 취하더라도 전문가는 일반인보다 바퀴가 잠길 때까지 시간이 짧고, 일반인보다 높은 속도에서 바퀴가 잠기게 됨으로 스키드마크가 길게 발생된 것으로 판단된다. 급제동 시점의 속도는 비슷하더라도 운전자가 브레이크 페달을 밟는 힘과 속도에 의해 스키드마크 길이가 결정되는 사실을 알 수 있다. 스키드마크 길이를 측정하여 스키드마크의 시작지점과 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도를 계산할 때 운전자가 브레이크 페달을 밟은 특성을 고려해야 될 것으로 판단된다.

3.4 스키드마크로부터 속도결정시 주의점

실제 차량사고에서는 운전자가 급제동 조치를 취한 특성을 결정하거나 판단하는 것은 거의 불가능하며, 스키드마크 길이와 마찰계수만으로 스키드마크 시작시점과 브레이크 페달을 최초로 밟은 시점의 속도를 계산할 수밖에 없다.

Fig. 9에는 100km/h 근처의 속도에서 전문가와 일반인에 의해 생겨나는 스키드마크 길이를 보여주고 있다. Fig. 9에 의하면, 99km/h의 속도에서 브레이크 페달을 매우 강하고 빠르게 밟은 전문가의 차량에서는 46m의 스키드마크가 발생되었고, 103km/h

의 속도에서 급제동 조치를 취한 일반인의 차량에서는 34m의 스키드마크가 발생되었다. 비슷한 속도에서 급제동 조치를 취하였는데 전문가는 일반인보다 스키드마크가 12m 길게 발생되었다.

전문가는 100km/h 속도에서 실험에 의한 마찰계수는 0.75이고, 일반인은 0.79로 나타났으며, 마찰계수(μ_{BC})와 스키드마크 길이(d_{BC})를 식 (3)에 대입하여 전문가와 일반인의 스키드마크 시작지점의 속도(v_B)를 계산하면, 전문가는 93.6km/h이고, 일반인은 83.2km/h이다. 전문가의 스키드마크 시작지점 속도는 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도와 약 6% 차이가 있으며, 일반인의 경우에는 약 17% 정도 차이가 있었다. 따라서, 단순히 스키드마크 길이만 측정하여 브레이크 페달을 최초로 밟은 시점의 차량속도를 계산하는 경우 상당한 오차가 발생할 수 있다.

3.5 급제동 지점의 속도계산

차량사고 조사에서 스키드마크 길이와 포장노면 상태는 알 수 있으나, 급제동 조치를 취한 운전자의 브레이크 페달을 밟은 특성은 알 수 없으므로 스키드마크 시작지점의 속도(v_B)로부터 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도(v_A)를 구해야 한다. Fig. 10과 Fig. 11은 전문가와 일반인의 바퀴가 잠긴 시점의 속도(v_B)를 가로축 값으로 하고 급제동 지점의 속도(v_A)를 세로축 값으로 하여 나타낸 것이다. 그리고 이 점들에 선형적합(linear fitting)법을 적용하여 구한 직선을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었으며, 이 직선의 기울기와 절편 값 및 결정계수(determination coefficient)를 그림 속에 표시하였다.

Expert driver : $v_A = 0.983 v_B + 6.673$ (5)

General person : $v_A = 1.147 v_B + 7.047$ (6)

이 관계식을 이용하면 스키드마크 시작지점의 속도만으로 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도를 구할 수 있다.

100km/h의 실험속도에서 전문가의 스키드마크 시작지점의 속도(94.0km/h)를 식 (5)에 대입하면 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도는 99.1km/h이고, 일반인의 스키드마크 시작지점 속도(83.5km/h)

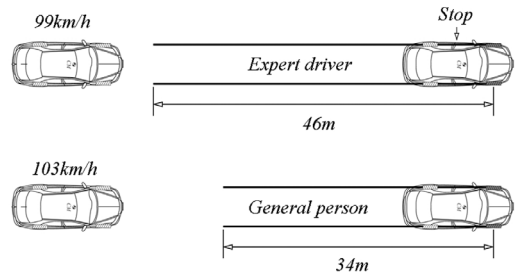


Fig. 9 Skid mark at automobile accident scene

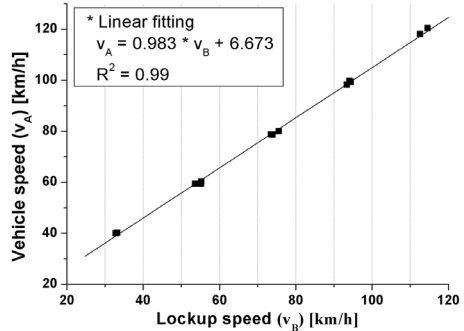


Fig. 10 Linear fitted test results with an expert driver

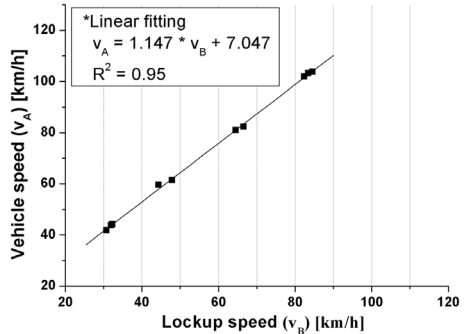


Fig. 11 Linear fitted test results with a general person

를 식 (6)에 대입하면, 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도는 102.8km/h이며, 오차는 거의 없다.

3.6 스키드마크 길이 측정방법

스키드마크는 바퀴가 잠기는 순간에 발생하는 것으로 알고 있지만, 일반인은 80km/h 이상의 속도에서 바퀴가 잠기기 전에도 스키드마크가 희미하게 발생하였다. 바퀴가 잠기기 전 지점에 희미하게 스키드마크가 발생되어 있으면, 사고차량 운전자는 일반인에 가까운 급제동 특성이 나타난 것으로 판

단할 수 있으며, 희미한 부분을 제외하고 바퀴가 잠긴 지점부터 측정해야 된다.

전문가와 일반인 모두 60km/h 이하의 속도에서는 바퀴가 잠긴 지점과 스키드마크 시작지점이 거의 일치하고 있으며, 전문가는 80km/h 이상의 속도에서 바퀴가 잠긴 지점과 스키드마크 시작지점이 거의 일치되는 것으로 나타났다. 사고현장 조사에서 스키드마크는 바퀴가 잠긴 지점에서 정지한 지점까지 측정해야 스키드마크 시작지점의 속도와 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도가 정확하게 계산될 것으로 판단된다.

스키드마크 길이를 측정하여 계산된 속도가 80km/h를 초과하고 스키드마크 시작지점 전에 희미한 자국이 발생되지 않았으면, 운전자는 전문가에 가까운 제동특성을 나타낸 것으로 판단할 수 있고, 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도는 전문가의 식(5)를 사용하면 될 것으로 판단된다.

4. 결론

운전자가 브레이크 페달을 밟은 힘과 속도에 의해 바퀴가 잠기는 시점의 속도가 결정되고, 비슷한 속도에서 급제동 특성에 따라 스키드마크 길이는 다르게 발생되므로 스키드마크 길이만으로는 스키드마크 시작지점과 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도를 정확하게 계산할 수 없음을 알 수 있었다. 지금까지는 스키드마크 시작지점의 속도를 계산할 때 운전자가 브레이크 페달을 밟은 특성을 고려하지 않았으나 차후의 사고조사와 분석에서는 급제동 특성을 고려하여 스키드마크 시작지점과 브레이크 페달을 최초 밟은 지점의 속도를 계산해야 할 것으로 판단된다.

스키드마크와 브레이크 페달을 밟은 지점의 속도를 특정하여 나타내었지만, 급제동 특성에 따라 오차율이 많이 발생할 수 있으므로 최저 속도와 최고 속도의 범위를 나타내야 할 필요가 있다.

본 연구에서 전문가와 일반인으로 나누어 제동특성을 비교하였지만, 향후 정확도와 신뢰도가 높은 급제동 시점의 속도계산 식을 얻기 위해 전문가와 일반인의 분류의 세분화, 차량의 질량 변화 등에 따른 추가적인 실험이 요구된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 미래형자동차 사업(과제 번호 10016789)의 지원으로 이루어졌으므로 지원 기관에 감사를 드립니다.

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) 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.
- 3) S. Yamazaki, O. Furukawa and T. Suzuki, "Study on Real Time Estimation of Tire to Road Friction," Vehicle System Dynamics, Vol.27 Supplement, pp.225-233, 1996.
- 4) D. G. Hong, K. S. Huh, P. J. Yoon and I. Y. Hwang, "Estimation of Tire Braking Force and Road Friction Coefficient Between Tire and Road Surface For Wheel Slip Control," Transactions of KSME, A, Vol.28, No.5, pp. 517-523, 2004.
- 5) R. Overgaard, R. Johal, M. Araszewski and A. Toor, "Relationships between Pre-Skidding and Pre-Braking Speed," SAE 2001-01-1281, 2001.
- 6) B. E. Heinrichs, B. D. Allin, J. J. Bowler and G. P. Siegmund, "Vehicle Speed Affects Both Pre-skid Braking Kinematics and Average Tire/Roadway Friction," Accident Analysis and Prevention, Vol.36, pp.829-840, 2004.
- 7) J. A. Neptune, J. E. Flynn, P. A. Chavez and H. W. Underwood, "Speed from Skids : A Modern Approach," SAE 950354, 1995.
- 8) L. B. Fricke, "Traffic Accident Reconstruction," Vol.2, Northwestern University Traffic Institute, 1990.