

인체와 노면간의 마찰계수 추정에 관한 연구

Estimation of Drag Factors Between Roadway Surface and Human Body

김민태*
(Min-Tae Kim)

이상수**
(Sang-Soo Lee)

이철기***
(Chul-Ki Lee)

요약

차 대 보행자 교통사고는 다른 유형의 사고에 비해 피해가 매우 크고 사고의 비중도 높으나 사고의 특성 상 과학적 접근이 어렵다. 기존 보행자 사고에 관한 연구의 대부분은 차 대 보행자의 충돌 실험에 대한 실험식 도출에 집중되어 있고, 실험식에서 중요한 변수로 작용되는 인체 활주 마찰 계수에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 인체와 노면간의 마찰계수에 대한 현장실험을 실시하여 이에 대한 실험값을 측정하여 제시하였다.

본 연구에서 조사된 인체노면 마찰계수 값은 건조한 아스팔트 도로에서 0.59~0.62, 건조한 콘크리트 도로는 0.59~0.61로 측정되었다. 또한, 젖은 아스팔트와 콘크리트 도로에서는 각각 0.56~0.59, 0.51~0.54로 나타나 건조한 노면 상태와 비교하여 5.0%와 8.3% 감소하는 것으로 파악되었다. 도출된 마찰계수를 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 검증한 바, 실험 수치와 시뮬레이션 결과가 유사함을 확인하였다. 본 연구결과를 활용하여 국내 교통사고 조사 시 사용되는 인체 마찰계수의 적용 값의 범위를 축소할 수 있고, 이는 사고 조사의 정확성 향상에 큰 도움을 줄 것으로 기대한다.

Abstract

The scientific analysis of car-pedestrian accidents is not an easy task because of the characteristic of the accidents itself. Since the analysis involved human being, there were few experimental data that could be used for the analysis. The coefficient of friction of human body was the one of crucial data for accident analysis, but no field experiment report was available for various roadway conditions. This study intends to measure the coefficient of friction of human body through field studies.

Results showed that the coefficient of friction of human body for dry asphalt pavement conditions was 0.59~0.62, and for dry concrete pavement conditions was 0.59~0.61. In addition, the coefficients for wet asphalt pavement and for wet concrete pavement conditions were 0.56~0.59 and 0.51~0.54 respectively, indicating 5.0% and 8.3% reduction compared to the dry conditions. The deduced coefficients were validated using the simulation program. It has been confirmed that the experiment values were close to the simulation results.

Key words : Drag factor, traffic accident, simulation, friction factor, throwing distance

* 주저자 : 도로교통공단 사원

** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 환경건설교통공학과 교수

*** 공저자 : 아주대학교 ITS대학원 교수

† 논문접수일 : 2010년 10월 14일

† 논문심사일 : 2010년 10월 24일

† 게재확정일 : 2010년 11월 14일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 3년간 인피 교통사고 총 639,578건 중 차대 보행자 교통사고는 136,709건으로 전체 인피 교통사고에서 차대 보행자 사고가 차지하는 비중은 21.4%이다. 그리고 최근 3년간 사망 교통사고는 총 18,869건이고, 이중 차대 보행자 사망사고는 7,066건으로 전체 교통사고 사망자의 37.4%를 차지한다 [1-3].

또한, 최근 3년간 전체 인피교통사고 대비 사망율은 2.9%이나 차대보행자 인피 교통사고는 5.2%로 나타나, 전체 인피교통사고 사망률에 비하여 보행자 교통사고 사망률이 매우 높은 수치를 나타내고 있다[1].

이와 같은 교통사고 통계에서 보듯이 보행자 교통사고의 피해는 차대 차, 차량 단독 등 다른 유형의 사고와 비교하여 사고의 비중도 높고 피해도 매우 심각하지만, 보행자 사고 예방이나 사고 조사와 관련된 연구가 외국에 비해 부족하여 사고에 대한 과학적인 분석에 많은 제약을 받고 있다.

차대 보행자 교통사고 분석 시 주요 쟁점사항은 사고 당시 차량의 속도나 보행자와 차량이 충돌한 지점을 규명하는 것이다. 일반적인 차대 차 교통사고는 노면 흔적(타이어 흔적, 노면 금속 마찰 흔적 등)이 비교적 쉽게 발생되어 충돌 지점 및 관련 차량의 속도 추정 등이 용이하다. 그러나 차대 보행자 사고는 차량과 보행자간의 중량 차이가 현저하여 보행자와의 충돌이 차량의 이동 방향에 미치는 영향이 경미하므로, 대다수 보행자사고의 경우에는 육안으로 확인할 수 있는 뚜렷한 흔적이 남지 않아 과학적 사고 분석이 어려운 실정이다.

미국과 일본 등 교통 선진 국가에서는 인체 모형(dummy)을 이용한 실차 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 다양한 분야의 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 연구의 대부분이 차대 보행자의 충돌에 대한 실험식 도출에 집중되어 있다. 그러나 실험식에서 중요한 변수로 사용되는 착의 인체 마

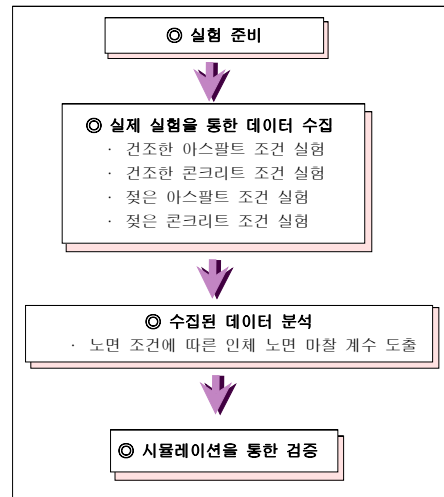
찰 계수는 실험의 위험성과 데이터의 활용성이 낮다는 이유로 관련 연구가 진행되지 못하였고, 따라서 관련 자료도 부족한 실정이다.

본 논문은 보행자 교통사고 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 아스팔트 도로와 콘크리트 도로 환경에서의 인체와 노면간의 마찰계수를 실제 실험을 통하여 측정하여 제시하는 것을 목적으로 한다. 그리고 본 연구에서는 기상조건에 따른 노면의 상태를 하나의 요인으로 설정하여 실험을 진행하였고, 분석된 결과를 기존의 연구결과 및 국내에서 적용하는 기준과 비교하여 평가하였다. 본 연구에서 도출된 인체 마찰계수는 차대 보행자 교통사고 분석의 기초자료로 사용되어 향후 보다 과학적이고 합리적인 분석이 가능토록 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌조사를 통하여 인체 마찰계수와 관련된 연구 결과를 고찰하였다. 그리고 다양한 도로 환경에서 실제 실험자의 착의 인체 노면 마찰계수를 측정하여 도로의 조건에 따른 인체 노면 마찰계수의 차이를 규명하였다.

실험은 실제도로에서 수행되었고, 실험차량을 이용하여 다양한 노면 환경에서 5km/h 미만의 저



〈그림 1〉 연구수행 절차도
〈Fig. 1〉 Flow chart of research procedure

속도로 차량에 연결된 실험자를 수평으로 끌어, 실험자의 무게와 운동마찰력 \vec{f}_k 를 비교를 통한 인체와 노면간의 운동 마찰계수를 도출하였다. 그리고 사고재현 프로그램을 이용한 시뮬레이션 평가를 실시하여 본 연구에서 산출된 결과의 적정성을 평가하였다. 본 연구의 결과와 향후 연구 과제를 결론 부분에 요약하였다. 다음 <그림 1>은 본 연구의 수행과정을 나타낸 것이다.

II. 이론적 배경 고찰

1. 마찰계수의 정의 및 활용

마찰은 하나의 물체가 다른 물체의 표면에 접하여 움직이려 할 때, 또는 실제로 운동하고 있을 때 그 접촉면에 운동을 방해하려는 힘이 작용하는 현상이다. 이때 작용하는 힘을 마찰력(frictional force)이라 한다.

마찰력은 물체와 물체의 접촉면 사이에서 물체의 운동을 방해하는 힘을 말하며 수직항력에 비례하고 물체의 향과 반대로 작용하는 현상으로 정의되며, 수평면에서는 다음 식으로 표현된다.

$$f = \mu N = \mu gm \quad (1)$$

여기서, f : 마찰력, μ : 마찰계수, N : 수직항력,
 m : 물체의 질량, g : 중력가속도($9.8m/s^2$)

마찰력의 크기는 접촉면의 상태와 접촉면에 수직으로 작용하는 힘에 비례하며, 이 비례상수를 마찰계수라고 한다. 보행자 교통사고 분석에서의 마찰계수는 인체가 노면에 미끄러질 때 발생하는 수평력을 보행자의 무게가 작용하는 수직력으로 나눈 값을 말한다. 즉, 인체 접지면과 노면과의 두면 사이에 생기는 마찰력과 접촉면이 놓이는 압력과의 비로서 아래와 같은 수식이 성립된다.

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (2)$$

여기서, μ : 마찰계수, W : 무게(수직력),
 F : 힘(수평력)

마찰력은 정지마찰력, 운동마찰력, 구름마찰력으로 크게 분류할 수 있다. 정지마찰력은 정지해 있는 물체에 힘을 가해도 물체가 움직이지 않는 때 작용하는 마찰력이다. 운동마찰력은 물체가 움직이는 동안의 마찰력으로 물체에 작용하는 힘은 정지마찰력에서 물체에 작용하는 수평력보다 작다. 구름마찰력은 자동차가 굴러가고 있을 때 발생하는 저항 마찰력이고 그 값은 약 0.01정도로 미미하므로 교통사고 분석에는 거의 무시된다.

마찰력은 노면의 재질, 상태 등에 따라 다르고, 타이어 접지면의 너비와 무관하다. 그리고 물체의 수직항력, 즉, 자동차의 무게가 수직으로 저항하는 힘에 비례하고, 최대 정지마찰력은 운동 마찰력보다 큰 특성이 있다.

보행자 사고 시 충돌지점에 따라 법적 처리에 중요한 차이가 존재하지만 보행자 사고에서 충돌지점을 알기는 쉽지 않다. 운전자가 보행자를 발견하고 제동을 하며 진행 중 보행자와 충돌한 경우 보행자의 운동에너지는 적기 때문에 스키드 마크 어느 지점에서 충돌이 있었는지 추정하기 어렵다 [4].

자동차와 보행자의 최초 충돌 위치와 보행자의 최종 정지 위치를 알고 있다면 충돌 당시의 속도 계산이 가능하다. 일반적으로 보행자의 무게는 자동차의 5%정도로 매우 가볍기 때문에 차량에 의해 정면충돌 시 충돌 속도까지 순간적으로 가속되고, 차량의 제동에 의해 수평방향으로 이동되어 포물선 운동을 하며 노면에 낙하한 후, 노면 위를 활주하다가 인체 노면간의 마찰력에 의해 정지하게 된다. 이와 같이 인체와 노면사이에 발생하는 마찰계수를 인체마찰계수라고 정의하며, 이와 같은 가정에 따라 포물선 운동 및 운동에너지 방정식으로 사고 차량의 속도를 아래와 같이 추정할 수 있다.

수평 방향의 운동은 등속도 운동이며 수직방향의 운동은 중력에 의한 자유낙하 운동이므로 수평방향의 이동거리를 X_1 , 연직 방향의 이동거리(보행자가 충돌 시 올려진 차량의 높이)를 h 라 하면,

$$X_1 = vt, \quad h = \frac{gt^2}{2} \text{ 이고, 이 식을 } X_1 \text{에 관해 정리}$$

하면 $X_1 = v \times \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 으로 도출된다.

차량과 충돌 후 노면에 전도되어 노면을 활주하던 보행자의 운동에너지는 인체와 노면간의 마찰에 의해 소실된 후, 최종적으로 정지하게 된다. 따라서 운동에너지 방정식을 이용하면 전도된 거리 X_2 를 반영하면 충돌 후 이동한 총거리는 다음과 같다.

$$X = X_1 + X_2 = v \times \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{v^2}{2g\mu} \quad (3)$$

위 식을 차량의 최초 충돌 속도 V 에 관해 정리하면 다음 식으로 요약된다.

$$V = \sqrt{2g} \times \mu \times \left(\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h} \right) \quad (4)$$

2. 기존 연구 고찰

보행자 사고의 경우 자동차에 의하여 떠밀려 날아간 보행자의 전도거리에서 충돌 속도를 추정할 수 있고, 이때 인체에 대한 노면 마찰계수가 필요하다. 林洋은 다양한 노면포장 상태에 대한 옷을 입은 인체의 마찰계수를 건인법 실험을 통하여 측정하였으며[5], 요약된 결과는 다음 <그림 2>에 제시되어 있다. 실험에는 남성 1인과 여성 1인이 참여하였고, 검은점으로 나타난 결과가 몸무게 71kg

인 남성, 하얀점은 몸무게 44kg인 여성실험자로부터 얻은 결과이다.

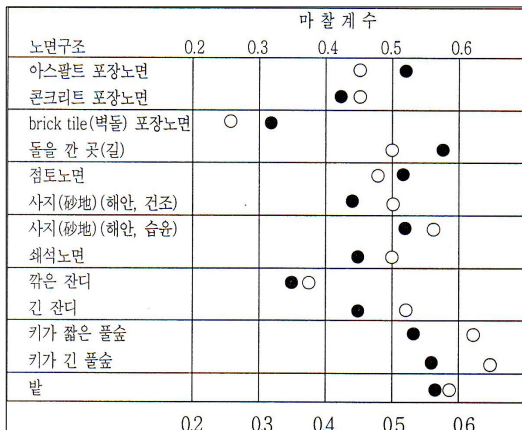
남성의 경우 아스팔트 노면에서 약 0.52, 콘크리트 노면에서는 0.43 정도의 마찰계수 값을 나타내었다. 이는 아스팔트 노면이 약 17%정도 큰 마찰계수 값을 갖는 것을 의미한다. 일반적인 판단으로는 콘크리트 노면이 보다 큰 마찰계수를 갖는다고 생각되지만, 위 실험결과는 이와 다르게 나타났다. 그러나 실험에 사용된 노면상태에 대한 정보가 충분하지 않아 이에 대한 직접적인 평가는 어렵다. 그리고 여성의 경우에는 약 0.45 정도로 아스팔트와 콘크리트 노면에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다.

그리고 벽돌포장로, 풀숲, 잔디등 기타 노면에 대한 결과 값도 함께 제시되어 있다. 이들은 포장상태별로 약간의 차이점을 보여주고 있으나 일관성 있는 패턴을 보여주지는 못하고 있다.

Baker는 사고 조사 및 재현에 적용할 수 있도록 노면 상태에 따른 옷을 입은 인체의 마찰계수를 측정하여 <표 1>과 같이 제시하였다[6,7].

표에서 보듯이, 아스팔트는 콘크리트에 비하여 마찰계수 값의 폭이 적게 나타났지만, 많은 부분이 서로 겹치는 것으로 나타났다. <그림 2>에서 제시된 결과는 <표 1>의 실험 범위 내에 있는 값이고, 따라서 마찰계수 값은 도로 및 노면 상태, 혹은 실험조건에 따라 변동성이 크게 나타날 수 있음을 보여준다. <표 1>에 제시된 값을 바탕으로 노면 조건에 따라 마찰계수 값을 차별화하여 적용하기 위해서는 보다 면밀한 검토가 필요하다.

일본에서 수행된 또 다른 인체 마찰계수 측정 실험은 몸무게 78kg인 의복을 착용한 남자를 대상으로 진행하였고, 결과 값은 다음 <표 2>에 제시되



<그림 2> 다양한 도로조건에서의 마찰계수 값
<Fig. 2> Drag factors for various roadway conditions

<표 1> 미국 NUTI의 마찰계수 실험 결과
<Table 1> Summary of friction factors from NUTI

노면 조건	마찰계수 범위
아스팔트	0.45-0.60
콘크리트	0.40-0.65
잔디	0.45-0.70

〈표 2〉 일본 林 기술사무소 실험 결과
 〈Table 2〉 Results of Lim Institute in Japan

노면 조건	마찰계수 범위
아스팔트 도로	0.64-0.67
부드러운 지면	0.64-0.77
풀숲	0.54-0.55

어 있다[8]. 아스팔트에서 측정된 마찰계수 값은 0.64-0.67로 나타나 <그림 2>, <표 1>의 결과와 비교하여 매우 높게 나타났으나, 풀숲에서의 결과는 <그림 2>와 매우 유사하게 평가되었다.

Damask는 구르는 경우는 팔이 원심력으로 넓어져 버둥거리게 됨을 전제로 하여 활주마찰계수를 인체에 대하여 측정하였다[9]. 측정결과, 활주마찰계수는 0.6~0.8 사이의 값을 사용하도록 권장하였고, 전동 마찰계수는 0.8~1.0 사이의 값으로 제시하고 있다.

이와 같이 국외의 경우 활주마찰계수에 대한 실험이 제한적이거나 이루어지고 있으나, 국내의 경우에는 일부 권장 수치에 대한 자료는 있으나[10], 관련 연구 논문은 없는 실정이다.

Ⅲ. 실험 결과 및 분석

1. 실험 방법 및 도구

본 연구는 옷을 입은 인체의 노면 마찰 계수를 측정하기 위한 현장실험을 다음과 같은 절차를 따라 실시하였다.

우선 실험자가 실험복을 착용한 상태로 체중을 측정하여 기록한 후, 실험 차량과 실험자 사이에 매달림 저울을 연결하였다. 그리고 실험차량을 최저 속도(약 5 km/h)로 약 20m 정도 거리를 진행하였고, 실험자와 실험 차량 사이에 연결된 매달림 저울의 수치를 캠코더를 이용하여 계속적으로 측정하였다. 다음 <그림 3>은 이러한 현장실험 과정을 나타낸다.

이와 같은 절차를 다양한 노면 조건 및 착의 상태에 따라 반복하여 실시하였고, 측정된 자료를 이용하여 마찰계수 값들을 측정하였다. 실험을 위하여 사용된 장비는 다음과 같다.



〈그림 3〉 현장 실험 사진
 〈Fig. 3〉 Picture of field test

- 실험 차량: 대우 누비라 승용차량
- 매달림 저울: CAS IE-100
- 디지털 캠코더: Panasonic SDR-H250GD
- 디지털 카메라: 삼성 Pro 815 EOS400D
- 구배 측정기 및 체중계

2. 실험 결과

1) 건조한 아스팔트 도로

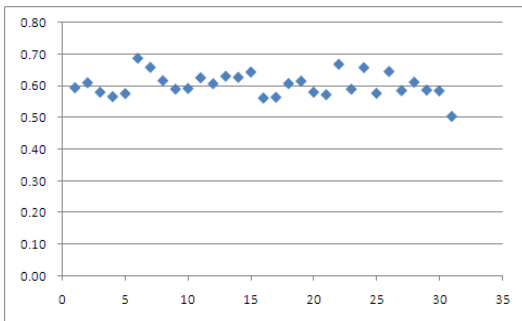
건조한 아스팔트 도로에서의 실험은 실험장소에 따른 차이를 반영하기 위하여 총 2회로 나누어 다른 지역의 도로에서 실시하였다. 1차 실험은 2008년 9월 25일에 화성시 동탄면 소재 이면도로에서 실시하였다. 총 3명의 실험자가 참여하였고, 실험 당일 날씨는 맑은 상태였다. 그리고 2차 실험은 2008년 10월 7일 경기도 오산시 기장산업단지 내 도로에서 5명의 실험자가 참여하여 실시하였고, 실험 당일 날씨는 맑은 상태였다. 구배측정기를 이용하여 거의 평면에 가까운 도로에서 실험을 진행하였다.

건조한 아스팔트 도로에서의 실험 자료는 <표 3>에 정리되어 있다. 실험 결과, 우선 장소에 따른 차이는 크지 않은 것으로 판단되어 결과에 대한 분석을 전체 자료로 통합하여 분석하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 총 31번의 실험의 평균 마찰계수 값은 0.61로 나타났고, 최소값 0.51, 최대값 0.69, 그리고 표준편차는 0.038로 분석되었다. 그리고 의복의 종류 등 실험 조건에 따라 차이가 있으나, 95% 신뢰 수준에서 약 0.59~0.62의 신뢰구간을

〈표 3〉 건조한 아스팔트 도로 실험 결과
 (Table 3) Test results from dry asphalt conditions

횟수	몸무게	측정된 수평력			마찰 계수
		최소값	최대값	평균	
1 ^a	76.4	44.40	46.65	45.53	0.60
2 ^a	76.4	45.70	47.75	46.73	0.61
3 ^a	56.3	31.05	34.45	32.75	0.58
4 ^a	56.3	31.05	32.80	31.97	0.57
5 ^a	75.1	42.30	44.40	43.35	0.58
6 ^a	75.1	49.95	53.55	51.75	0.69
7	68.9	39.10	42.40	40.75	0.59
8	68.9	41.30	43.90	42.60	0.62
9	70.0	45.25	47.20	46.23	0.66
10	68.9	39.70	42.10	40.90	0.59
11	78.1	48.15	49.85	49.00	0.63
12	78.1	46.88	48.15	47.52	0.61
13	76.5	47.70	49.05	48.38	0.63
14	75.9	46.85	48.60	47.73	0.63
15	75.9	48.60	49.35	48.98	0.65
16	74.6	41.70	42.35	42.03	0.56
17	75.5	42.25	43.15	42.70	0.57
18	75.0	43.85	47.50	45.68	0.61
19	75.0	44.65	47.85	46.25	0.62
20	75.2	42.90	44.60	43.75	0.58
21	64.7	36.90	37.35	37.13	0.57
22	64.7	42.50	44.20	43.35	0.67
23	64.7	36.90	39.60	38.25	0.59
24	65.2	42.20	43.80	43.00	0.66
25	65.2	36.80	38.60	37.70	0.58
26	65.9	41.50	43.80	42.65	0.65
27	56.4	32.15	34.05	33.10	0.59
28	56.4	34.00	35.20	34.60	0.61
29	57.0	32.60	34.50	33.55	0.59
30	57.0	32.75	34.05	33.40	0.59
31	57.4	28.30	29.70	29.00	0.51

^a: 1차 실험 자료



〈그림 4〉 마찰계수 분포: 건조한 아스팔트
 (Fig. 4) Drag factor distribution: dry asphalt

맞는 것으로 나타났다.

이와 같은 노면 마찰계수 값을 그림으로 나타내면 <그림 4>와 같다. 그림에서 보듯이, 관측된 값이 일정한 경향을 나타내지 않고 분포하여 실험이 적절하게 수행된 것으로 판단된다.

2) 건조한 콘크리트 도로

건조한 콘크리트 도로에서의 실험은, 2008년 10월 07일 경기도 화성시내 콘크리트 도로에서 총 4명의 실험자를 참여시켜 실시하였고, 실험 당일 날씨는 맑은 상태였다.

건조한 콘크리트 도로에서의 실험 데이터는 <표

〈표 4〉 건조한 콘크리트 도로 실험 결과
 (Table 4) Test results from dry concrete conditions

횟수	몸무게	측정된 수평력			마찰 계수
		최소값	최대값	평균	
1	57.2	33.65	36.95	35.30	0.62
2	57.2	34.45	36.20	35.33	0.62
3	56.7	30.30	33.95	32.13	0.57
4	56.7	30.40	35.60	33.00	0.58
5	57.7	31.15	34.10	32.63	0.57
6	57.7	33.40	36.65	35.03	0.61
7	69.4	39.20	42.75	40.98	0.59
8	69.4	39.10	42.75	40.93	0.59
9	68.9	41.50	45.90	43.70	0.63
10	68.9	40.30	45.10	42.70	0.62
11	68.6	37.15	41.50	39.33	0.57
12	68.6	38.15	41.85	40.00	0.58
13	65.0	38.75	43.30	41.03	0.63
14	65.0	34.45	37.05	35.75	0.55
15	66.2	35.40	38.80	37.10	0.56
16	66.2	36.20	40.15	38.18	0.58
17	66.1	36.75	42.50	39.63	0.60
18	66.1	37.55	40.75	39.15	0.59
19	73.6	43.35	46.50	44.93	0.61
20	73.6	45.30	49.65	47.48	0.65
21	74.9	39.55	42.45	41.00	0.55
22	74.9	39.70	42.80	41.25	0.55
23	75.0	41.50	45.60	43.55	0.58
24	75.0	41.25	44.75	43.00	0.57
25	77.3	46.85	50.00	48.43	0.63
26	77.3	44.50	48.25	46.38	0.60
27	76.2	51.60	55.75	53.68	0.70
28	76.2	46.95	50.00	48.48	0.64
29	76.0	44.15	49.25	46.70	0.61

4>에 나타난 것과 같다. 총 29번의 실험을 통하여 얻은 평균 마찰계수 값은 0.60으로 나타났고, 최소값 0.55, 최대값 0.71, 그리고 표준편차는 0.034로 파악되었다. 그리고 95% 신뢰 수준에서 약 0.59~0.61의 범위값을 갖는 것으로 파악되었다. 그리고 측정된 노면 마찰계수 값을 그림으로 분석한 결과, <그림 4>에서 관측된 결과와 같이 시계열에 따라 일정한 경향을 나타내지 않고 분포하는 것으로 나타났다.

3) 젖은 아스팔트 도로

젖은 아스팔트 도로에서의 실험은 2008년 10월 13일 경기도 오산시 기장산업단지 내 도로에서 3명의 실험자가 참여하여 실시되었다. 비가 오는 날씨 조건하에서 마찰계수를 측정하기 위해서는 차량의 운전의 어려움, 안전사고 발생 가능성, 그리고 비디오 촬영의 제약 등 많은 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 인위적으로 노면을 젖은 상태로 만들어 실험을 수행하는 방법을 선택

<표 5> 젖은 아스팔트 도로 실험 결과
(Table 5) Test results from wet asphalt conditions

횟수	몸무게	측정된 수평력			마찰계수
		최소값	최대값	평균	
1	76.4	46.10	49.85	47.98	0.63
2	76.4	39.65	41.20	40.43	0.53
3	78.1	42.90	46.85	44.88	0.57
4	78.1	44.25	47.15	45.70	0.59
5	78.1	42.15	45.65	43.90	0.56
6	64.7	34.85	38.50	36.68	0.57
7	64.7	36.25	38.85	37.55	0.58
8	64.7	35.00	38.05	36.53	0.56
9	55.8	29.15	32.50	30.83	0.55
10	55.8	29.85	34.25	32.05	0.57
11	77.9	45.65	48.20	46.93	0.60
12	77.9	45.70	47.75	46.73	0.60
13	77.9	44.25	48.95	46.60	0.60
14	76.6	38.00	41.20	39.60	0.52
15	76.6	38.75	41.90	40.33	0.53
16	75.4	43.40	45.75	44.58	0.59
17	75.4	41.05	43.90	42.48	0.56
18	66.2	36.85	39.55	38.20	0.58
19	66.2	36.55	38.15	37.35	0.56
20	65.8	38.20	41.25	39.73	0.60

하였다. 즉 날씨는 맑은 상태이지만, 건조한 도로에 물을 계속적으로 뿌리면서 젖은 아스팔트 도로 환경을 조성하였고, 이런 상태를 유지하면서 총 20번의 실험을 진행하였다.

젖은 아스팔트 도로의 실험 결과는 <표 5>에 정리되어 있다. 분석 결과에 따르면 평균 마찰계수 값은 0.57로 나타났고, 최소값은 0.51, 최대값은 0.63, 그리고 표준편차는 0.028로 파악되었다. 그리고 95% 신뢰 구간은 0.560~ 0.586으로 계산되었다. 이는 건조한 아스팔트의 도로에서의 결과에 비하여 평균값이 약 6.6% 감소된 결과이고, 마찬가지로 신뢰구간 범위도 낮은 값에서 형성되었다.

4) 젖은 콘크리트 도로

젖은 콘크리트 도로에서의 실험은 경기도 화성시 내 도로에서 총 4명의 실험자를 대상으로 실시하였고, 실험 당일 도로 환경은 앞의 젖은 아스팔트 도로와 동일한 방법으로 구성하였다. 실험이 진행된 도로 상황 조건은 다음 <그림 5>에 제시되었다.

젖은 콘크리트 도로 환경에서 조사된 결과는 <표 6>에 제시되어 있다. 측정된 마찰계수를 분석한 결과, 평균 마찰계수 값은 0.53, 최소값은 0.48, 최대값은 0.56, 그리고 표준편차는 0.027로 나타났다. 또한 95% 신뢰 구간은 0.513 ~ 0.540으로 추정되었다. 이는 건조한 콘크리트 도로에서 측정된 결과에 비하여 평균값이 약 11.7% 감소된 결과이고, 젖은 노면은 인체의 마찰력을 큰 폭으로 감소시키



<그림 5> 젖은 콘크리트 도로 실험 현장
(Fig. 5) Field test in a wet concrete roadway

〈표 6〉 젖은 콘크리트 도로 실험 결과
 (Table 6) Test results from wet concrete conditions

횟수	몸무게	측정된 수평력			마찰 계수
		최소값	최대값	평균	
1	70.6	38.45	40.35	39.40	0.56
2	70.6	37.85	40.10	38.98	0.55
3	70.6	38.65	40.85	39.75	0.56
4	57.7	27.05	30.05	28.55	0.49
5	57.7	26.45	28.90	27.68	0.48
6	57.7	27.50	29.55	28.53	0.49
7	59.3	27.20	31.05	29.13	0.49
8	59.3	26.25	32.00	29.13	0.49
9	58.0	30.10	32.55	31.33	0.54
10	58.0	28.50	33.25	30.88	0.53
11	79.0	41.05	43.45	42.25	0.53
12	79.0	38.50	40.85	39.68	0.50
13	78.3	40.85	43.25	42.05	0.54
14	78.3	41.80	44.50	43.15	0.55
15	66.2	34.55	38.80	36.68	0.55
16	66.2	32.15	37.20	34.68	0.52
17	65.8	33.50	38.40	35.95	0.55
18	65.8	33.15	35.95	34.55	0.53

는 결과를 보여주고 있다.

2. 실험 검증

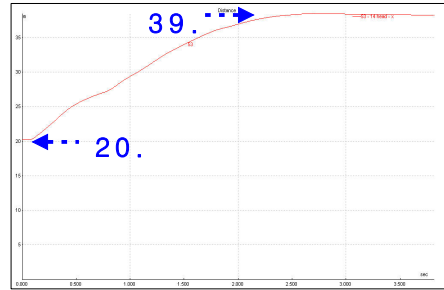
앞에서 분석된 건조한 노면에서의 인체 마찰계수 값의 적정성을 검증하기 위하여 사고재현 프로그램(PC-CRASH)을 이용하여 <표 7>과 같은 입력값을 이용하여 차 대 보행자 사고를 시뮬레이션 하였다[11]. 시뮬레이션을 통하여 나타난 보행자 전도거리 결과는 <그림 6>과 같다.

차량이 보행자를 약 50km/h의 속도로 정면충돌하였을 때 보행자가 전도된 거리는 약 19.5m로 나타났다. 또한 본 연구에서 제시된 건조한 노면에서

〈표 7〉 사고재현 프로그램의 기본 입력치
 (Table 7) Input parameters for the simulation study

차 량		보행자	
차종	소나타	신장	173.5 cm
충돌속도	50 km/h	몸무게	68.5 kg
감속도	7.85 m/s ²	보행속도	0

의 인체노면마찰계수 평균값¹⁾을 보행자 전도거리



〈그림 6〉 보행자 전도 거리
 (Fig. 6) Pedestrian throwing distance

- Y 축 : 거리(약 19.5m로 측정됨)
- X 축 : 시간

추정 공식에 적용하면 다음의 결과를 얻는다.

$$V = \sqrt{2 \times 9.8 \times (0.6)} \times \left(\sqrt{0.86 + \frac{19.5}{(0.6)}} - \sqrt{0.86} \right) \quad (5)$$

$$= 12.9 \text{ m/s} \approx 46.4 \text{ km/h}$$

즉, 충돌 당시 실험 차량의 속도는 약 46.4km/h로 추정되고, 이는 사고재현프로그램에서 적용한 실험차량의 속도인 50km/h와 비교적 유사한 값을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 인체노면마찰계수 값이 실제적으로 적용가능하고 신뢰성이 높은 값을 나타낸다.

IV. 결 론

차 대 보행자 교통사고의 피해는 다른 유형의 사고의 피해에 비해 매우 심각하고 사고의 비중도 높은 것이 현실이나, 사고의 특성상 교통사고의 과학적 접근이 쉽지 않다. 기존 보행자 사고에 관한 연구의 대부분이 차 대 보행자의 충돌 실험에 대한 실험식 도출에 집중되어 있을 뿐, 실험식에서 중요한 변수로 작용되는 인체 활주 마찰 계수에 대한 연구가 부족한 실정이므로, 본 연구에서는 인체와 노면간의 마찰계수에 대한 실험적 검증을 통하여 이를 측정하여 제시하였다.

본 연구에서 조사된 건조한 아스팔트 도로에서

건조한 콘크리트 도로의 인체 마찰계수(0.59~0.61)의 평균값인 0.6을 적용함.

1) 건조한 아스팔트 도로에서의 인체 마찰계수(0.59~0.62)와

의 인체노면 마찰계수의 값은 0.59~0.62, 건조한 콘크리트 도로에서는 0.59~0.61로 측정되었다. 또한, 젖은 아스팔트 도로에서의 인체 마찰계수는 0.56~0.59, 젖은 콘크리트 도로에서에서는 0.51~0.54로 파악되었으며 이는 건조한 노면 상태와 비교하여 각각 5.0%와 8.3% 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 실험결과를 바탕으로 국내에서 교통사고 조사 시 사용되고 있는 인체 마찰계수의 적용 값의 범위를 축소하였고 이는 실제 사고 조사의 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 시간 및 비용의 제약에 의해 한 정된 실험 조건하에서 실험을 실시하였으나, 향후에는 보다 다양한 실험 환경(노면의 상태, 입자의 구름마찰계수에 의한 변수, 실험대상, 차량의 충돌 속도 등)을 고려한 실험을 실시한다면 교통사고 분석업무에 도움이 될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 교통사고종합분석센터, 2008 교통사고 통계분석, 도로교통공단, 2008. 10.

[2] 교통사고종합분석센터, 2007 교통사고 통계분석, 도로교통공단, 2007. 10.
 [3] 교통사고종합분석센터, 2006 교통사고 통계분석, 도로교통공단, 2006. 10.
 [4] 교통안전학교, 교통사고 조사 매뉴얼, 도로교통공단, 2002. 10.
 [5] 林洋, “교통과학연구자료” 제30집, pp.131, Dec. 1989.
 [6] K. Baker, *Traffic Accident Investigation Manual*, Northwestern University Traffic Institute, Northwestern University, pp.53, 2001.
 [7] K. Baker, *Traffic Accident Reconstruction*, Northwestern University Traffic Institute, Northwestern University, pp.78, 2001.
 [8] 林洋, *自動車事故鑑定工學*, pp.25, 1996.
 [9] A. Damask, “Forensic Physics of Vehicle Accidents,” *Physics Today*, vol.40, no. 3, pp.36, Mar. 1987.
 [10] 강동수 외, *교통안전학*, 도로교통공단, 2009. 11.
 [11] A. Moser, et al., “Validation of the PC-Crash Pedestrian Model,” *SAE International*, SAE Paper 2000-01-0847, pp.1~7 Mar. 2000.

저자소개



김민태 (Kim, Min-Tae)

2006년 4월 ~ 현재 : 도로교통공단 근무중
 2007년 2월 ~ 2009년 2월 : 아주대학교 ITS대학원 졸업(석사)
 2006년 2월 : 경희대학교 전파통신공학 졸업(학사)



이상수 (Lee, Sang-Soo)

2002년 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수
 2005년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 이사
 2000년 : Texas A&M University 토목과 교통전공 졸업 (박사)



이철기 (Lee, Choul-Ki)

2006년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 ITS대학원 특임교수
 2004년 ~ 2006년 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
 2000년 ~ 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선기획실장
 1998년 : 아주대학교 건설교통공학과 교통공학전공 졸업(박사)