

■ 論 文 ■

보행자-차량 충돌사고 재현모형 비교분석 및 개선 연구

A study on Pedestrian Accident Reconstruction Models : Comparison and Improvement

조 정 일

(한양대학교 교통공학과 석사과정)

오 철

(한양대학교 교통공학과 교수)

김 남 일

(한양대학교 교통공학과 연구교수)

장 명 순

(한양대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 국내보행자사고 특성분석
 - 1. 거시적 분석
 - 2. 미시적 분석
- III. 보행자사고 재현모형 고찰
 - 1. 물리식에 의한 보행자 충돌속도의 계산
 - 2. 기존의 보행자 사고재현 모형
- 3. 모형의 고찰
- IV. 모형비교
 - 1. 기존모형비교
 - 2. 모형개발
 - 3. 종합
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 보행자사고, 사고재현, 재현모형, 보행자-차량 충돌사고, 모형비교
pedestrian accident, accident reconstruction, reconstruction Model, comparative model study

요 약

본 연구에서는 보행자-차량 충돌사고 분석을 위한 국내외 사고재현모형을 비교하였다. 충돌 후 보행자의 전도거리를 종속변수로, 차량의 충돌속도를 독립변수로 하는 모형을 비교하였으며, 수집된 총 432건의 사고 자료 중 신뢰성 있는 전도거리와 충돌속도 자료의 확보가 가능한 49건을 선정하여 절대평균백분위오차를 산출 후 비교하였다. 또한 전도거리에 영향을 새로운 변수의 도출을 위해 차량의 전면부 형상을 조사하고 이를 변수화하여 모형 구축에 반영하였다. 분석결과 차량의 범퍼높이가 다른 변수에 비해 전도거리에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 향후 연구에서는 보다 폭넓고 많은 데이터 수집 및 분석을 통하여 신뢰성을 높은 모형개발이 이루어져야 할 것이다.

This study presents comparison results for pedestrian accident reconstruction models representing the relationship between collision speed and horizontal distance that a body travels while falling and sliding. A set of 49 reliable pedestrian accident cases are applied to compare the existing reconstruction models. In addition, the authors investigate the effects of a set of parameters associated with the effects of the frontal shape of a vehicle on the horizontal distance a pedestrian travels while falling and sliding. It has been revealed that the length of the bumper is the most dominant factor to affect the horizontal distance of pedestrian travel after collision. Further analyses utilizing more accident data need to be conducted to develop a more accurate and reliable reconstruction model.

1. 서론

우리나라의 자동차 등록대수가 최근 10년간 평균 6.2% 증가하여 2005년도 기준 1540만대를 넘어섰다. (경찰청, 2006) 자동차 등록대수의 증가와 함께 교통 사고도 크게 늘어 최근 11년간 (1994~2004) 총 교통 사고 2,785,808건의 사고가 발생하여 102,406명이 사망하고 4,010,453명이 부상을 당한 것으로 나타났다. (도로교통안전관리공단, 2005-a)

교통사고 중 특히 보행자사고는 같은 기간 동안 총 840,420건이 발생, 전체사고의 30.2%를 차지한다. 이 중 사망자수는 42,392명으로 이는 전체 사망자의 41.4%에 해당하는 수치이고 치사율은 5.0%로써 교통사고 유형 중 가장 높은 수치를 나타내고 있다. 외국의 보행자 교통사고사망자 비율을 보면 미국, 일본, 독일, 프랑스 등은 모두 30%이내 이다. 그러나 같은 기간 동안에 우리나라의 보행자 교통사고사망자 비율은 41.4%에 이른다. (도로교통안전관리공단, 2005-b)

교통사고 통계를 통해 알 수 있듯이 차대보행자사고는 차대차, 차량단독, 차대열차 등 다른 유형의 사고에 비해 매우 심각함에도 불구하고 보행자사고 예방을 위한 연구가 선진국에 비해 상당히 낙후되어 사고원인을 과학적으로 정확히 규명하지 못하고 있다. 이에 따른 막대한 사회적 비용이 들고 있다.

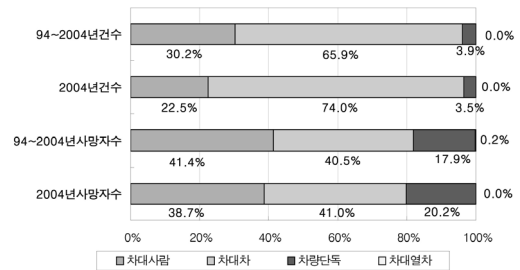
보행자충돌사고의 경우 가장 중요한 이슈는 자동차와 보행자가 어느 지점에서 얼마의 속도로 충돌하였는가에 관한 것이다. 왜냐하면, 보행자사고 시 보행자 착지 위치는 쉽게 알 수 있으나 전도거리를 알기 위해서는 최초 충돌지점을 알아야 한다. 충돌지점은 횡단보도여부, 차로여부, 중앙선 침범여부 등을 가릴 수 있어 사고 후 처리에 있어서 중요한 사안이 된다. 이렇게 전도거리가 도출되면 이를 이용하여 충돌속도를 추정하여 사고재현이 가능해진다. 보행자충돌사고에서 차량충돌속도와 보행자 충돌위치를 분석하기 위한 모형식은 이미 많은 외국의 전문가에 의해 개발되었으나 모형식을 적용하기 위한 자료수집의 정확성과 각 모형식에 따른 결과의 차이가 크게 발생하므로 실용성에 문제가 있다. 또한 과거 미국, 일본, 유럽에서 실험하여 유도한 공식을 아무 여과 없이 우리나라 보행자충돌사고에 적용하기에는 한국인의 체형과 차량의 전면부 형상 등의 특성과 부합되지 않기 때문에 다소 무리가 있을 것이다. 따라서 우리의 실정에 맞는 보행자충돌사고 재현모형이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 국내의 보행자사고 재현모형에 국내에서 수집된 보행자-차량 충돌사고 자료를 적용하여 충돌속도 예측력을 비교 평가를 통해 실제 사고에 적용할 수 있는 모형개발을 목적으로 한다. 본 연구결과는 보행자충돌사고 재현모형개발을 지원하는 유용한 자료로 될 것으로 기대된다. 실제로 발생한 보행자사고 자료에서 전도거리가 명확히 드러난 사례를 수집하여 외국의 모형에 적용하여 각각의 모형에서 도출된 속도와 실제자료에서 제공된 추정속도와의 상관관계를 알아보고 실제 사고에 적용할 수 있는 최적의 방안을 연구하였다.

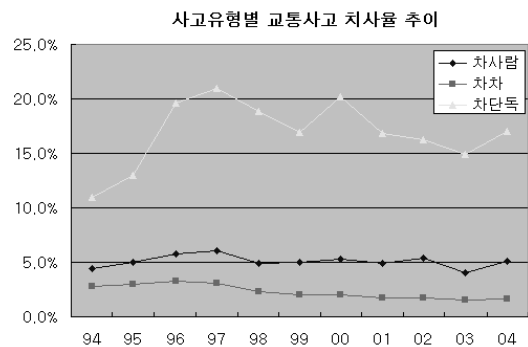
II. 국내 보행자사고 특성분석

1. 거시적 분석

최근 10년간 발생한 전체 교통사고를 사고 유형별로 보면 (그림 1)에서 보는 것과 같이 총 2,785,808건 중 차대차 사고가 66%로 가장 많고 차대사람 사고가 30%, 차량단독



〈그림 1〉 사고유형별 교통사고 구성비
(출처: 도로교통안전관리공단 (2005) "2005년판 교통사고통계 분석" p72 재구성)



〈그림 2〉 사고유형별교통사고 치사율 추이
(출처: 도로교통안전관리공단 (2005) "2005년판 교통사고통계 분석" p72 재구성)

사고가 4.0% 등의 순으로 나타났다.(도로교통안전관리공단,2005-c)

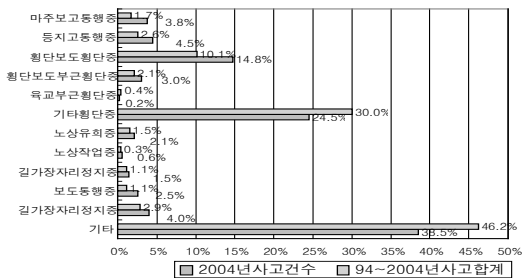
사망자의 경우 차대사람 사고와 차대차 사고의 비율이 비슷함을 볼 수 있다. 차대차 사고건수가 2배가 넘는데 사망자수가 비슷한 것은 보행자 사고의 결과가 보다 심각함을 알 수 있다.

사고 유형별 치사율을 보면 <그림 2>에서 보는 바와 같은데 차량단독의 경우가 월등히 높은 것으로 나타났으며 최근 10년간의 차대차 사고와 차대사람 사고는 대체적으로 비슷한 수준을 보이고 있는 것으로 나타났다.

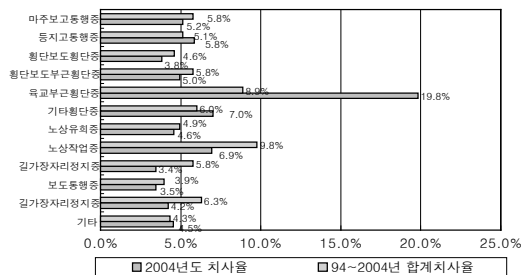
2. 미시적 분석

차대사람 사고의 비율이 높다는 것은 운전자들의 보행자에 대한 인명 경시경향이 그 만큼 높다는 것을 의미하며 대체적으로 선진국에 비해 후진국에서 차대사람 사고의 비율이 높게 나타난다.

우리나라의 경우 1994년 이후 2004년까지 차대사람 사고가 총 840,420건이 발생하였는데 세부 유형별로 보면 <그림 3>에서 보는 것과 같이 횡단보도 및 횡단보



<그림 3> 차대사람사고 유형별 구성비
(출처: 도로교통안전관리공단 (2005) "2005년판 교통사고통계 분석" p74 재구성)



<그림 4> 차대사람사고 유형별 치사율
(출처: 도로교통안전관리공단 (2005) "2005년판 교통사고통계 분석" p76 재구성)

도 부근을 횡단하던 중 발생한 사고가 12%로 나타났으며, 이를 포함하여 도로를 횡단하다가 발생한 사고가 전체사고의 42.6%에 이르는 것으로 나타났다.

최근 10년 동안 2003년을 제외하면 보행자사고건수가 점차 줄어들음을 알 수 있다. 횡단보도 및 횡단보도 부근을 횡단하던 중 발생한 사고의 구성비는 증가함을 볼 수 있고, 도로를 횡단하다가 발생한 사고의 구성비는 거의 변화가 없다. 1994년부터 2004년까지의 전체교통사고 건수도 감소하고 있고 보행자사고는 건수와 구성비 모두가 감소하고 있다. 그러나 아직까지도 많은 사망사고로 인한 인적·물적 피해가 발생하고 있는 실정이다.

III. 보행자 사고 재현 모형 고찰

차량 간 충돌사고 시 속도는 공학적으로 분석이 가능하나 보행자 충돌사고의 속도 및 충돌지점 분석은 현장 증거 자료의 부족이나 증거자료의 소멸 및 훼손 가능성이 높기 때문에 차대사람 사고 시 가장 첨예한 문제가 되는 사고지점(횡단보도 여부, 차로여부 등) 판단이나 과속여부 등을 정밀하게 규명하기 위해서 인체 모형(dummy)을 이용한 충돌시험을 통하여 실험결과와 유도식이 선진 외국에서는 많이 발표되고 있다.

이러한 실험을 통한 유도식 또는 자료를 이용할 때에는 주어진 외국의 실험조건과 실제 사고현장에서 발생하는 다양한 형태의 사고와는 반드시 일치한다고 판단할 수 없기 때문에 현장의 모든 증거자료를 세밀하게 수집한 후 최종적으로 적합한 여러 개의 실험식을 이용하여 비교분석한 다음 최종 결정하여야 할 것이다. 기존의 보행자사고 분석모형은 크게 두 가지 범주로 나눌 수 있다. 첫째는 운동방정식에 의한 보행자 충돌속도 및 전도거리의 계산방법, 둘째 인체모형(dummy)과 실차를 이용한 데이터를 가지고 유도된 실험식이 있다.

1. 물리식에 의한 보행자 충돌속도의 계산

보행자의 무게는 자동차의 5% 정도로 매우 가볍기 때문에 정면충돌되면 보행자가 충돌한 차량의 충돌속도까지 순간적으로 가속되고, 차량의 제동에 의해 후드 위에서 거의 수평방향으로 이동되어 포물선운동을 하며 노면에 떨어져 활주하다가 마찰에 의해 정지하게 된다는 가정에 따라 포물선 운동 및 운동에너지 방정식으로 사

고차량의 최초 충돌속도를 산출할 수 있다. 수평방향의 운동은 등속도 운동이며 수직방향의 운동은 중력에 의한 자유낙하운동이므로 수평방향의 이동거리를 X_1 은

$$X_1 = v \times t, \quad h = \frac{gt^2}{2}$$

$$X_1 = v \sqrt{\frac{2h}{g}} \tag{1}$$

h : 수직방향의 비행높이
 v : 충돌속도
 t : 비행시간
 g : 중력가속도(9.8m/s²)

자동차에서 낙하되어 전도된 보행자의 운동에너지는 노면과의 마찰에 의해 소실되고 최종적으로 정지하게 된다. 따라서 운동에너지 방정식을 적용한 미끄러진 거리 X_2 는

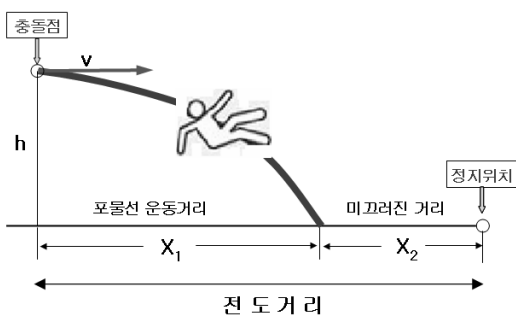
$$\frac{1}{2}mv^2 = mg\mu X_2$$

$$X_2 = \frac{v^2}{2g\mu} \tag{2}$$

μ : 마찰계수
 m : 보행자 몸무게

자동차에서 낙하되며 미끄러진 보행자의 전체 이동거리(전도거리) X 는

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



(그림 5) 충돌 후 보행자의 포물선 운동궤적

사고차량의 최초 속도 V 에 관해 위 식을 다시 정리하면,

$$v = \sqrt{2g} \times \mu \times (\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h}) \tag{4}$$

2. 기존의 보행자 사고 재현 모형

차대보행자 사고에 있어서 선진외국에서는 많은 실험과 이에 따른 이론식을 발표하고 있다. 보행자 충돌 후 거동의 특성에 따라 Eubanks와 Rusty Haight는 Wrap Trajectory, Forward Projection, Fender Vault, Roof Vault, Somersault 등의 유형으로 구분하였다.(J.J. Eubanks, 1992) 승용차와 보행자 사고에 많이 발생되는 충돌형태인 Wrap Trajectory, Roof Vault, Somer Vault 사고에는 Barzeley 공식, Limpert 공식, Searle 공식, Schmidt and Nagel 공식, Aronberg and Snider 공식에 의해 사고차량의 최고속도와 충돌 후 보행자 최종위치와의 상관관계를 규명할 수 있으며, 트럭이나 밴 및 버스 종류와 같이 앞이 무딘 차량의 사고에 흔하게 발생하는 Forward Projection 사고형태는 주로 Collins 공식, Fall and Slide 공식, Northwestern University 공식, 林洋공식을 이용하여 사고차량과 보행자와의 상관관계를 규명할 수 있다.(도로교통안전관리공단, 2002) 또한 이수범, 류태선(2005)의 연구 모형도 사고차량과 보행자와의 사고재현을 나타낼 수 있는 바, 이번 모형비교 연구 시 사용하였고 모형개발에는 선형회귀분석방법을 사용하였다.

3. 모형의 고찰

본 연구의 대상은 여러 모형들 중 Barzeley 공식과 Appel 공식, 한국형 보행자사고재현모형 (이수범, 2005)과 林洋(하야시 히로시)모형을 비교한다. 모형비교를 위한 취합된 자료 데이터 중 사고재현에 사용가능한 변수는 전도거리이다. 이들 모형은 전도거리만으로 속도추정이 가능하다. 그래서 이번 연구에서 전도거리에 따른 각각의 모형에서의 나타난 속도값을 비교하여 모형의 비교 연구를 수행한다. 이에 각 모형들의 특징과 사용된 변수, 실험식(모형식)에 대해 이론적 고찰을 한다.

1) Barzeley 모형

1991년 Barzeley와 Lacy가 제안하였는데 차량이

충돌 이전에 브레이크를 걸지 않은 경우에 적용하는 것으로 계산에 사용되는 총거리는 보행자 충격지점에서 최종이동정지위치까지 비상하고 활주한 거리를 포함한다. (도로교통안전관리공단, 2002)

$$V(km/h) = \sqrt{150 + (204 \times d)} - 12.2 \quad (5)$$

d : 비상활주거리(m)

2) Appel 공식

Appel에 의하여 보행자 최종위치까지의 거리를 이용하여 4가지 형태의 공식을 통하여 보행자 총 이동거리에 따라 속도를 계산한다. (도로교통안전관리공단, 2002)

① 전면이 높은 차량 (high front vehicle)

$$V(km/h) = \sqrt{101.12 \times d} \quad (6)$$

② 전면이 낮은 차량

$$V(km/h) = \sqrt{130.69 \times d} \quad (7)$$

③ 성인 : $V(km/h) = \sqrt{121.34 \times d}$ (8)

④ 어린이 : $V(km/h) = \sqrt{96.51 \times d}$ (9)

여기서 d : 총 이동거리(m)

v : 충돌속도 (km/h)

3) 이수범의 보행자 사고재현모형

이수범, 류태선(2005)은 보행자사고재현모형개발을 위해 실제 사고자료를 수집하여 연구하였다. 수집된 자료를 차량은 모두 승용차, 보행자는 성인인 경우에 한하고, 충돌유형은 정면충돌로만 한정시켰다. 사고자료에서 보행자 전도거리와 보행자 충돌 속도를 매개변수로 하여 회귀식을 유도하였다.

$$X = 1.3388 Y + 28.1191 \quad (10)$$

X : 충돌속도(km/h) - 독립변수

Y : 전도거리(m) - 종속변수

4) 林洋(하야시 히로시) 공식

하야시 히로시(1992)은 보행자의 충돌 후 특성을 <그림 2>와 같이 포물선 운동으로 보고 보행자 충돌속도 공식을 실험식으로 만들었다.

$$\begin{aligned} x_1 &= Vt & h &= \frac{1}{2}gt^2 \\ x_1 &= V\sqrt{\frac{2h}{g}} \\ \frac{1}{2}mV^2 &= mg\mu x_2 \\ x_2 &= \frac{V^2}{2g\mu} \\ x &= x_1 + x_2 = V\sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{V^2}{2g\mu} \\ v &= \sqrt{2g} \times \mu \times \left(\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

V : 충돌속도(m/s)

t : 낙하시간

x_1 : 튕겨나간 거리(m)

g : 중력가속도 (9.8m/s²)

h : 튕겨나간 보행자의 지상으로부터의 높이(m)

m : 보행자의 질량

<실험에 의한 관계식>

$x = 0.079V + 0.1149V^2 \dots V[km/h \text{인 경우}]$

$x = 0.285V + 0.0636V^2 \dots V[m/s \text{인 경우}]$

IV. 모형비교

모형비교를 위해서 432건의 사고 자료가 수집이 되었다. 이 사고 자료는 건설교통부의 '보행자 친화적 첨단안전차량개발' 과제를 한국교통연구원에서 2003년부터 총괄주관하면서 수집한 사고 자료이다.

기존 Barzeley 모형, Appel 모형, 하야시 히로시 모형, 이수범의 보행자 사고재현모형에 적용·비교하기 위해서 여러단계의 필터링을 거쳤다.

먼저 432건의 사고데이터를 다음의 단계를 거쳐 필터링하였다.

- ① 승용차(sedan형)에 의한 보행자 사고
- ② 속도 추정이 가능한 사고
- ③ 정면충돌로 인한 사고
- ④ 보행자의 추락지점(전도거리)이 명확한 사고
- ⑤ 노면이 건조한 상황일 때의 사고 (사고 시 눈이나 비가 온 경우 제외)

위 단계를 거친 사고 자료의 표본수는 49건으로 각 사고 자료의 전도거리를 각각의 모형에 대입하여 충돌속도를 산출하였다(<표 1>참조).

〈표 1〉 전도거리에 따른 각모형의 속도

전도거리	추정속도	Barzeley	Appel	이수범모형	하야시히로시	평균
5	64	22.0	24.6	34.8	24.9	26.6
7	45	27.5	29.1	37.5	30.6	31.2
20	40	52.8	49.3	54.9	56.3	53.3
20	80	52.8	49.3	54.9	56.3	53.3
20	70	52.8	49.3	54.9	56.3	53.3
7	35	27.5	29.1	37.5	30.6	31.2
20	70	52.8	49.3	54.9	56.3	53.3
37.2	40	75.8	67.2	78.0	79.5	75.1
2.5	20	13.5	15.5	31.5	15.9	19.1
32.6	70	70.3	62.9	71.8	73.9	69.7
7.8	30	29.5	30.8	38.6	32.6	32.9
10.9	60	36.5	36.4	42.7	39.8	38.8
21.6	70	55.3	51.2	57.0	58.8	55.6
30	70	67.0	60.3	68.3	70.6	66.5
6.5	50	26.2	28.1	36.8	29.2	30.1
25	55	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
25	55	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
10	60	34.6	34.8	41.5	37.8	37.2
17.9	70	49.5	46.6	52.1	52.9	50.3
3	30	15.4	19.1	32.1	18.0	21.1
24.3	70	59.3	54.3	60.7	62.8	59.3
4.5	50	20.5	20.8	34.1	23.3	24.7
6.7	50	26.7	28.5	37.1	29.8	30.5
25	60	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
25	50	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
25	60	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
9.5	50	33.5	30.3	40.8	36.7	35.3
8.9	50	32.1	32.9	40.0	35.3	35.1
3.4	40	16.8	20.3	32.7	19.5	22.3
3.7	20	17.9	21.2	33.1	20.6	23.2
15	40	44.5	42.7	48.2	47.9	45.8
2	50	11.4	15.6	30.8	13.7	17.9
2	10	11.4	13.9	30.8	13.7	17.5
3	40	15.4	17.0	32.1	18.0	20.6
1.4	20	8.7	11.6	30.0	10.7	15.2
12.9	40	40.5	39.6	45.4	43.9	42.3
3	20	15.4	19.1	32.1	18.0	21.1
11.7	40	38.2	37.7	43.8	41.5	40.3
5	50	22.0	24.6	34.8	24.9	26.6
5	50	22.0	22.0	34.8	24.9	25.9
12	40	38.8	38.2	44.2	42.1	40.8
3.7	30	17.9	18.9	33.1	20.6	22.6
32.6	60	70.3	62.9	71.8	73.9	69.7
17	70	47.9	45.4	50.9	51.4	48.9
16	60	46.2	44.1	49.5	49.6	47.4
25	80	60.3	55.1	61.6	63.8	60.2
5	40	22.0	24.6	34.8	24.9	26.6
8.5	82	31.2	32.1	39.5	34.4	34.3
8.5	30	31.2	28.6	39.5	34.4	33.4
2.5	20	13.5	17.4	31.5	15.9	19.6

〈표 2〉 사고별 특징

성별	연령	구배	사고위치	차명
남자	28	2%	양정교차로	EF소나타
남자	53	없음	편도3차로상	프라이드
남자	36	없음	왕복4차로상	프린스
남자	33	-1.5	편도 2차로상	에스페로
남자	33	1%	교차로상	티뷰론
여자	46	3%	편도 2차로	엑센트
남자	38	없음	왕복2차로상	에스페로
남자	43	없음	1차로	에스페로
남자	7	없음	1차로	아반떼
여자	70	없음	1차로	에스페로
여자	38	없음	2차로	EF소나타
여자	64	없음	2차로	소나타 2
남자	38	없음	1차로	그랜저XG
여자	35	없음	1차로	프라이드
여자	68	평탄	횡단보도	포텐샤
남자	34	없음	1차로	엑셀
남자	35	없음	1차로	엑셀
남자	34	없음	2차로	EF소나타
여자	59	없음	1차로	EF소나타
여자	56	평탄	2차로	프라이드
남자	23	없음	3차로	에스페로
남자	6	없음	1차로	세피아
여자	61	없음	1차로	뉴소나타
남자	55	없음	교차로	라노스
여자	61	없음	1차로	엘란트라
여자	33	없음	1차로	아반떼
남자	3	없음	1차로	SM520
남자	59	없음	1차로	엑센트
남자	39	없음	1차로	뉴EF소나타
남자	83	없음	1차로	세피아
남자	60	없음	1차로	소나타2
남자	27	오르막	2차로	EF소나타
여자	15	없음	1차로	티코
여자	12	없음	2차로	티코
여자	10	없음	1차로	누비라 1.5
남자	56	없음	2차로	아반떼
여자	23	없음	1차로	뉴EF소나타
여자	16	없음	1차로	뉴EF소나타
여자	64	없음	2차로	그랜저
여자	4	없음	2차로	그랜저
남자	26	없음	1차로	EF소나타
남자	8	없음	1차로	SM520
여자	70	없음	1차로	에스페로
남자	46	없음	횡단보도	엑센트
여자	45	없음	1차로	프린스2.0
여자	56	없음	1차로	엘란트라
여자	46	없음	횡단보도	프린스2.0
남자	22	없음	2차로	EF소나타
여자	12	없음	횡단보도	누비라1.5
남자	40	없음	진입로	소나타

1. 기존모형비교

수집된 사고자료에서 추정된 충돌속도값과 모형에서 산출된 속도값을 비교분석하였다. 추정된 충돌속도값과 각 모형에서 도출된 속도값을 각각 절대평균백분위오차 (MAPE)의 값을 비교하였다.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|\text{모형값} - \text{추정속도값}|}{\text{추정속도값}} \times 100}{N}$$

〈표 3〉 추정속도 값과 모형값의 MAPE 비교

	Barzeley - 추정	Appel - 추정	이수범 - 추정	林洋 - 추정
MAPE	30.2	28.1	(A) 29.5 (B) 41.9	28.2

차대보행자 사고 시 보행자의 전도거리에 따른 속도들 간의 절대평균백분위오차를 비교해 보면, Barzeley 모형과 추정속도의 절대평균백분위오차는 30.2%이고, Appel모형과 추정속도의 절대평균백분위오차는 28.1%, 이수범보행자사고 채현모형과 추정속도의 절대평균백분위오차는 A가 29.5%, B가 41.9%로 나왔고(B는 30km/h 미만의 속도를 제외한 것이고 A는 모든 속도를 적용한 것임), 하야시 히로시 모형과 추정속도의 절대평균백분위오차는 28.2%로 모형들 간의 차이가 거의 없게 나타났다.(〈표 3〉참조)

그리고 전체적으로 모든 모형이 수집된 사고자료에서 추정된 추정속도와의 오차율이 커서 참값이라 가정된 추정속도와의 상관관계가 약하다고 볼 수 있다.

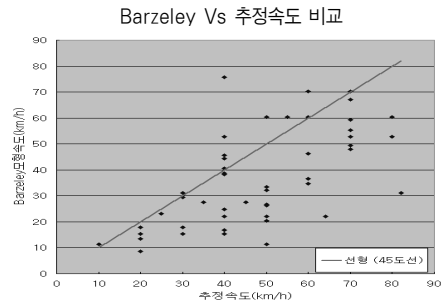
Barzeley모형속도와 추정속도의 관계를 분석한 결과 모형의 속도가 추정속도를 전반적으로 과소 추정하는 것으로 나타났다.(〈그림 6〉참조)

Appel모형을 추정속도와 비교 분석한 경우도 모형의 속도가 추정속도보다 전체적으로 낮게 나타났다.(〈그림 7〉참조)

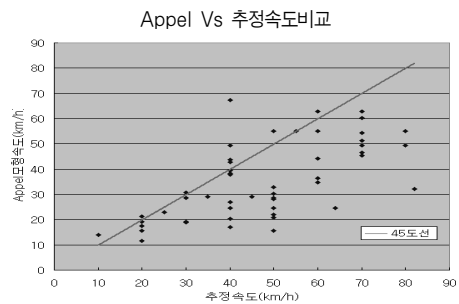
이수범모형을 분석한 결과는 전반적으로 45도 라인주위에 넓게 분산되어 있어 모형의 속도와 추정속도간의 관계에 일정한 패턴을 찾을 수 없다.(〈그림 8〉참조)

하야시모형을 분석한 결과도 45도 라인 주위에 넓게 분산되어 하야시모형과 추정속도와의 관계가 명확히 드러나지 않는다.(〈그림 9〉참조)

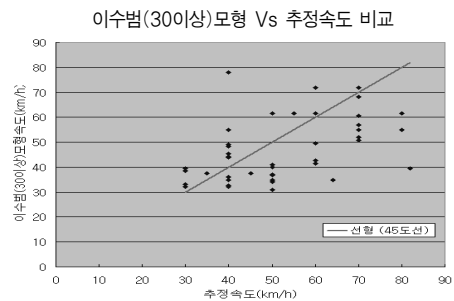
〈그림 6〉에서 〈그림 9〉까지의 그래프를 분석을 한 결과 전체적으로 각 모형과 추정속도와의 관계를 설명하기가 힘들다.



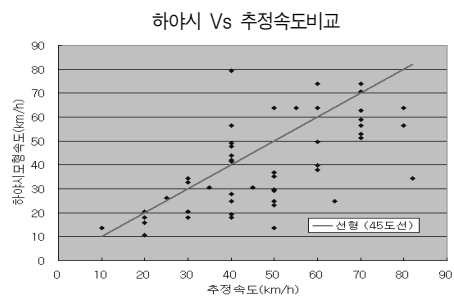
〈그림 6〉 추정속도와 Barz.모형속도의 비교



〈그림 7〉 추정속도와 Appel모형속도의 비교



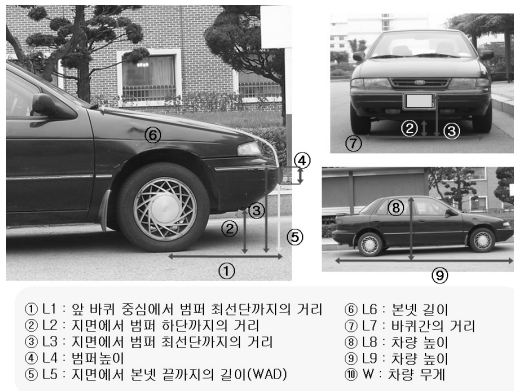
〈그림 8〉 추정속도와 이수범모형속도의 비교



〈그림 9〉 추정속도와 하야시모형속도의 비교

2. 모형개발

모형비교 결과 기존의 모형에 전도거리를 대입하여 얻은 충돌속도와 비교한 결과 기존 모형에서와는 다르게 나타났다. 추정충돌속도를 전도거리 변수하나만으로 충분히 설명하지 못했다. 이에 차량의 전면부 형상이나 차량특성에 따른 보행자의 충돌 후 거동특성이 달라질 것으로 가정 하였다. 그리고 <그림 10>의 차량제원들의 변수와 추정충돌속도를 독립변수로, 전도거리를 종속변수로 하는 모형식을 개발하였다.



<그림 10> 차량제원 설명

<표 4> 분산분석 결과

구분	자유도	제곱합	평균제곱	F	유의확률
선형회귀	2	1925.666	962.833	16.231	0.000
잔차	47	2788.129	59.322		
합계	49	4713.795			

<표 5> 회귀계수 통계량

모형	비표준화계수		표준화계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	11.454	7.534		1.520	0.135
추정충돌속도(V)	0.324	0.062	0.591	5.266	0.000
L4	-0.096	0.046	-0.236	-2.101	0.041

종속변수 : 전도거리

모형식의 결과는 <표 4, 5>에서 보는 바와 같다. adj. R²값이 0.383이고 변수값 L4(범퍼높이)와 충돌속도의 P-값과 분산분석의 회귀에 대한 유의한 F값은 통계적으로 매우 유의한 것으로 분석되었다. 자료에서 전도거리

(Y,m)를 종속변수로 하고, 충돌속도(X1, km/h), 범퍼높이(X2, mm)를 독립변수로 하여 다음과 같은 회귀식을 유도하였다.

$$Y = 0.324X1 - 0.096X2 - 12.036 \quad (12)$$

(adj. R²=0.383)

여기서 Y : 전도거리 (m)
 X1 : 충돌속도(km/h)
 X2 : 범퍼높이(mm)

전도거리에 영향을 줄 것으로 예상되는 변수는 충돌속도, 차량의 중량(W), L3, 범퍼의 높이(L4), L5, L6가 예상되었다. 그러나 통계분석 결과는 충돌속도와 L4 변수만이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 유도된 식에서 보면 전도거리는 충돌속도가 증가할수록 비례하여 증가하였다. 변수 중 충돌속도가 종속변수값의 변화에 가장 크게 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 전도거리는 L4 변수값이 증가할수록 비례하여 감소하는 경향을 보여주는데 보행자와의 접촉부위가 작을수록 전도거리를 증가시키는 것으로 분석되었다. 모형식에서 R² 값은 작게 도출되었으나 전도거리에 영향을 줄 것으로 예상했던 변수가 통계분석결과 나타나 전도거리에 대한 모형식의 설명력이 높음을 보여준다.

3. 종합

실제사고 데이터상의 전도거리로 충돌속도를 추정할 때 정확한 속도를 구할 수 없다. 대신 보다 적절한 모형에 대입하여 속도를 추론해 볼 수 있을 것이다. 이에 각 모형에 전도거리를 대입한 모형속도와 실제사고 데이터상의 충돌속도를 비교해 보았으나 상관관계가 약한 것으로 분석되었다. 이에 대한 대안으로 차량제원과 실제사고 데이터의 추정충돌속도를 독립변수, 전도거리를 종속변수로 하여 새로운 모형식을 구축하였다. 차량제원을 변수로 회귀식을 유도한 결과 여러 변수들 중 범퍼높이(L4)가 통계적으로 매우 유의한 결과를 나타내었다. 모형개발시 전도거리에 영향이 클 것으로 예상한 변수 중 충돌속도와 L4 만이 유의한 것으로 분석이 되었는데, 이유는 이번 연구에서는 샘플수가 부족하고 추정충돌속도의 신뢰성이 낮았기 때문인 것 같다. 향후 많은 데이터를

확보하고 신뢰성높은 추정충돌속도를 도출하여 연구를 진행한다면 좀더 유의한 변수들을 도출하여 더 정확한 모형개발이 이루어질 수 있을 것이다.

V. 결론

보행자 사고는 교통사고 통계에서 볼 수 있듯이 전체 사고의 약 30%, 사망자 비율은 약 41%에 이른다. 또한 다른 사고 유형에 비해 그 심각도가 높은 것은 물론이고 막대한 사회비용이 발생하게 된다.

보행자 충돌사고의 경우 가장 중요한 사안이라 할 수 있는 자동차와 보행자가 어느 지점에서 얼마의 속도로 충돌하였는가에 관한 명확한 분석이 가능한 모형을 개발하기 위한 토대를 만드는 것이다. 이를 위해 선진국의 보행자 사고예방을 위한 사고재현모형에 대한 특성들을 살펴보고 서로 비교연구를 수행하였다.

수집된 자료 432건 중 사고재현모형에 적용이 가능한 사고 자료는 49건이 선별되었다. 모형간의 비교를 위해 절대평균백분위오차를 비교해 보았다. 추정충돌속도와 모형에서 산출된 충돌속도 사이에는 그 상관관계가 약하여, 전도거리만으로 충돌속도를 추정하기 어려웠다. 이에 차량의 전면부 형상이나 차량의 특성이 보행자의 충돌후 거동에 영향을 줄것이라 가정하였다. 그 대안으로 차량제원의 10가지 변수와 추정충돌속도를 독립변수로 전도거리를 종속변수로 하는 통계분석을 하여 회귀식을 유도하였다. 분석결과 차량제원 중 범퍼높이(LA)가 매우 유의한 것으로 나타났다. 이들 변수들로 전도거리를 추정하는 모형을 개발하였다. 이 연구결과 전도거리에 영향을 주는 변수로써 충돌속도만이 아닌 차량의 제원도 설명력이 높다는 것을 알수 있었다. 그러나 보행자의 신체적 특성이나 보행자 선회 특성에 따른 거동등은 고려하지 못한 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 단지 49건의 데이터만을 고려하여 모형을 개발하였으나 향후 연구에서는 보다 많은 사고데이터를 수집하고, 보행자 충돌후 거동특성을 고려, 다른 차량제원 변수를 추가, 신뢰도 높은 추정충돌속도를 사용한다면 보다 정확한 보행자-차량충돌사고 재현모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

차후 한국형 보행자사고 재현모형의 개발이 이루어진다면 해결이 어려운 교통사고의 원만한 해결과 사고원인의 과학적 규명이 가능케 되어 불필요한 사회적 비용 발생을 줄이고, 교통안전증진에 큰 도움이 될 것이다.

참고문헌

1. 경찰청(2006), "교통사고통계".
2. 교통안전공단(2004), "2004년도 교통사고 증감원인 분석 및 대책연구".
3. 김종혁외 4명(2001), "컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 보행자 충돌 선회특성에 관한 연구", 대한교통학회, 제 40회 학술발표회 논문집2.
4. 도로교통안전관리공단(2002), "교통사고 재현 매뉴얼".
5. 도로교통안전관리공단(2005), "Road Traffic Accidents in Korea 2004".
6. 도로교통안전관리공단(2005), "2005년판 OECD 회원국 교통사고 비교".
7. 도로교통안전관리공단(2005), "2005년판 교통사고 통계분석".
8. 이수범, 류태선(2005), "한국형 보행자 사고재현 모형 개발에 관한 연구", 대한교통학회지 제23권 제 6호
9. 도로교통안전관리공단(2005), "2005년 교통사고요인분석-보행자교통사고를 중심으로-".
10. 하야시 히로시(1992), "교통사고감정공학".
11. J. J. Eubanks, W. R. RustyHaight (1992), "Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology", SAE 921591.
12. Lynn B. Fricke(1990), "Traffic Accident Reconstruction", Northwestern University Traffic Institute.

✉ 주 작 성 자 : 조정일

✉ 교 신 저 자 : 조정일

✉ 논문투고일 : 2006. 10. 28

✉ 논문심사일 : 2006. 11. 29 (1차)

2007. 3. 27 (2차)

2007. 7. 4 (3차)

✉ 심사판정일 : 2007. 7. 4

✉ 반론접수기한 : 2007. 12. 31