

■ 論 文 ■

보행자 충돌안전기준 도입에 따른 사망자수 감소 효과 추정

Estimation of Fatality Reduction by Introducing Technical Regulation on Pedestrian Protection

오 철

(교통개발연구원 책임연구원)

강 연 수

(교통개발연구원 연구위원)

김 원 규

(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)

김 범 일

(교통개발연구원 연구위원)

목 차

- I. 서론
- II. 연구의 배경 및 문헌고찰
 - 1. 국내 보행자사고 분석
 - 2. 보행자 충돌안전기준
 - 3. 충돌속도 추정모형
- III. 방법론 개발 및 적용
- 1. 보행자 충돌사고 자료
- 2. 방법론 개발
- 3. 적용
- VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 보행자 보호, 보행자 사망확률모형, 사망자수 감소 효과, 충돌속도

요 약

본 연구에서는 보행자와 차량의 충돌 시 보행자의 상해를 감소시키기 위한 충돌안전기준의 도입에 따른 보행자 사망자수 감소 효과를 추정하는 방법론을 개발하였다. 국내 교통환경 특성을 반영한 보행자 사망확률모형을 개발하고, 사망자 감소 효과 추정에 반영하였다. 사고재현을 통해 추정된 충돌속도를 보행자 사망확률모형의 주요 변수로 사용하였다. 모형의 개발을 위해서는 logistic regression 기법을 적용하였으며, 충돌안전기준의 주요 변수인 HIC(Head Injury Criterion)와 충돌속도의 변화에 따른 사망자수 감소효과를 계량화하여 제시하였다. 제안된 방법론은 향후 국내 실정에 부합되는 충돌안전기준의 개발, 보행자 보호를 위한 첨단 차량의 개발, 보행자 안전을 위한 정책 수립 등을 지원하는 중요한 역할을 수행할 것으로 기대된다.

This study developed a methodology for estimating the fatality reduction by introducing technical regulation on pedestrian protection in pedestrian-vehicle collisions. Modeling a probabilistic pedestrian fatality model with logistic regression approach was one of keen interests, which employed in estimating the fatality reduction. Collision speed obtained from the accident reconstruction was used in the model development. The effects of fatality reduction, in case various Head Injury Criterion (HIC) and collision speeds are applied for the regulation, were presented as the major outcome of this study. It is expected that the outcome of this study would be an invaluable tool to assist in developing various technologies and policies for pedestrian protection.

본 연구는 건설교통부의 2004 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 현재 수행 중인 '보행자 친화적 첨단안전차량 개발 연구(II)'의 지원을 받아 수행되었음. 연구의 내용은 저자의 의견으로 향후 변경될 수 있음.

I. 서론

교통체계의 주요 구성요소는 보행자, 차량, 도로, 환경 등으로 구분할 수 있으며, 다양한 연구들이 교통체계의 효율성 및 안전성 증진을 위해 수행되어 왔다. 특히, 교통체계의 안전성 증진과 관련하여 보행자를 보호하려는 노력은 교통체계 구성요소 중 가장 손상받기 쉬운(vulnerable) 요소인 인간의 생명과 직결되는 분야로서 그 중요성이 인식되고 있다. 보행자 보호를 위한 여러 가지 연구 및 기술개발 분야 중 국제적인 이슈로 떠오른 것 중의 하나가 보행자-차량 사고 시 보행자의 상해를 감소시키기 위한 충돌안전기준이다.

보행자 보호를 위한 국제적 관심은 보행자 교통사고시 보행자의 상해감소를 위한 세계기술기준(GTR: Global Technology Regulation)을 제정하려는 노력으로 이어져 왔다. 미국이 주도하는 안전도연구학회(ESV: Enhanced Safety Vehicle)에 소속된 국제기준조화활동(IHRA: International Harmonized Research Activities)과 유럽자동차안전개선위원회(EEVC: European Experiment Vehicles Committee)에서 보행자 보호 관련 연구 결과 및 각국의 기준을 비교·분석하여 UN/ECE/ WP 29에서 보행자 보호를 위한 세계기술기준(GTR) 제정을 준비 중이다. 한국은 지난 2003년부터 보행자 보호를 위한 GTR 활동에 참여하고 있으며, 국내 교통특성에 부합되는 보행자 충돌안전기준 개발을 위한 연구[1]를 수행 중에 있다.

본 연구에서는 이러한 보행자 보호를 위한 충돌안전기준의 도입에 따른 실질적인 수혜자, 즉 기준을 적용할 경우 편익으로 얻게 될 잠재적인 사망자의 감소분을 추정하는 방법론을 제시한다. 보행자 보호를 위한 충돌안전기준은 건설교통부 신차안전도평가(NCAP)의 새로운 항목으로 2006년부터 시행될 예정이며, 자동차제작사는 기준을 충족시키기 위한 기술을 개발하고 차량에 적용해야 한다. 본 연구의 주요 내용은 기준에서 설정한 모든 차량이 보행자 보호를 위한 기술을 장착하게 된 경우 연간 감소시킬 수 있는 보행자 사망자수의 감소분을 추정하는 것이다. 이를 위해 국내 교통환경 특성을 반영한 보행자 사망 확률을 계량화할 수 있는 통계적 모형을 개발하고, 개발된 모형을 수혜자 그룹의 추정에 적용한다. 신뢰성 있고 정확한 수혜자 그룹의 추정은 향후 국내 실정에 부합하는 충돌안전기준의 도입, 보행자 보호를 위한 첨단 차량의 개발, 보행자 안전을 위한 정책 수립 등을 지원하는 중요한 역할을 수행할 것으로 기대된

다. 아울러, 본 연구는 보행자 머리상해 감소를 위한 충돌안전기준을 대상으로 연구를 수행하였음을 밝혀 둔다.

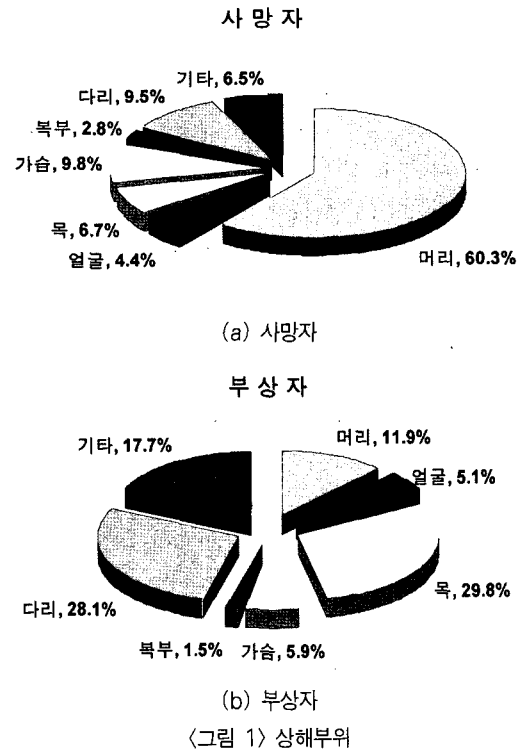
우선, 2장에서서는 보행자 충돌안전기준의 배경을 심층적으로 분석하고 수혜자 그룹 추정시 요구되는 변수를 도출한다. 본 연구의 핵심인 수혜자 그룹을 효과적으로 추정하기 위한 방법론 개발 내용은 3장에서 제공한다. 아울러, 개발된 방법론을 국내 보행자 사고 자료에 적용하여 기준 도입에 따른 실제 수혜자 그룹을 추정해 본다. 마지막으로 본 연구의 결과물에 대한 논의와 향후 연구 과제를 결론에서 제시한다.

II. 연구의 배경 및 문헌고찰

2장에서는 국내 보행자 사고의 특성 분석을 통해 본 연구의 필요성을 재확인하고, 보행자 보호를 위한 세계기술기준 제정 동향 분석을 통해 방법론 개발을 위한 기초자료를 수집한다. 마지막으로 보행자 사망확률모형 개발을 위해 필수적인 변수인 충돌속도를 도출하기 위한 기준의 주요 연구결과를 검토해 본다.

1. 국내 보행자사고 분석

국내 보행자 사고의 특성을 살펴보면 [2], 2003년도



에 7,212명의 교통사고 사망자 중 차대보행자 사망자수가 1,745명으로 전체의 24.2%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 차대보행자 사망자의 주요 손상부위는 머리부위(머리, 목, 얼굴)가 71.4%이다 (<그림 1-(a) 참조>). 특히 머리부위는 60.3%로 인체상해의 다리부위(9.5%), 가슴부위(9.8%) 등의 다른 부위에 비해 보행자의 사망에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 부상자의 경우에는 57.9%가 목과 다리 부위의 상해를 입은 것으로 나타났다. 특히 머리부위(머리, 목, 얼굴)의 상해는 보행자 부상의 절반 가까이 차지하고 있다 (<그림 1-(b) 참조>).

교통사고 통계가 우리에게 주는 하나의 시사점은 보행자의 머리부위를 보호하는 기술은 사망자수 감소에 크게 기여할 수 있다는 것이다. 본 연구는 보행자 보호를 위한 기술개발의 근간이 되는 기술기준의 제정에 따른 효과를 정량화하는 것이다.

2. 보행자 충돌안전기준

국내 보행자 사고, 교통환경, 차량 특성을 반영한 보행자 충돌기준 개발을 위한 연구는 2004년도부터 수행 중에 있으며, 2005년도의 연구 성과물로서 보행자 머리기준이 발표될 예정이다[1]. 건설교통부는 연구결과를 반영하여 2006년부터 KNCAP(Korea New Car Assessment Program)의 일환으로 보행자 머리보호를 위한 충돌안전시험의 시행을 준비 중이다.

여기서는 보행자 보호기준을 제정하여 자동차 충돌 시험을 수행하고 있는 유럽 및 일본의 기준을 검토하고, 기준 도입에 따른 사망자 감소효과 추정을 위해 고려해야 할 주요 변수들을 도출한다.

유럽은 자동차의 안전도를 평가하는 신차평가프로그램(NCAP: New Car Assessment Program)의 평가항목으로 보행자 보호에 관한 평가결과를 실시한다. 이를 통해 유럽에서는 보행자의 상해감소를 위한 보행자 친화적 자동차 개발을 유도하고 있다. 1988년부터는 EEVC의 Working Group(WP) 10 및 WP17에서 프랑스, 영국, 독일 등이 역할을 분담하여 연구를 수행하였다. 한편, 일본은 국토교통성 및 자동차 제작사를 중심으로 1996년부터 보행자 보호에 대한 연구를 수행한 결과를 바탕으로 차대보행자 사고에 대한 기준을 도출한 바 있다.

유럽 및 일본의 연구결과를 토대로 한 기준은 보행자와 차량의 충돌상황을 가정한 실내 충돌실험을 통해 보행자의 머리 상해값의 상한치(upper limit)를 설정해 놓은 것이다. 차량의 본넷에 성인 및 어린이(만15세 이하)로 구분된 머리모형을 발사하여 머리의 상해값(HIC: Head Injury Criterion)을 측정하는데, 머리모형의 충격속도(impact speed) 및 충격각도(impact angle), 충격지점(WAD: Wrap Around Distance) 등이 기준을 구성하는 주요 변수가 된다. 이러한 주요 변수를 실제 보행자와 차량의 교통사고시 충돌속도(Collision speed)에 따른 보행자의 거동 및 상해정도를 반영하여 결정하는 것이 기준 개발을 위한 연구가 필요한 부분이다. 유럽과 일본의 기준을 요약하여 정리하면 <표 1>과 같다.

HIC의 계산은 식(1)에 의해 산출된다.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

<표 1> 국외 보행자 충돌안전기준(충돌속도(collision speed): 40km/h)

구분	유럽 (EEVC 2단계)		일본 (IHRA)	
	어른	어린이	어른	어린이
충격속도	40km/h	40km/h	32km/h	32km/h
충격각도	65°	50°	Sedan: 65° SUV: 90° 1Box: 50°	Sedan: 65° SUV: 60° 1Box: 25°
충격횟수	9	9	-	-
충격영역(WAD)	1500~2100mm	1000~1500mm	1700~2100mm	1000~1700mm
상해값(HIC)	1000이하	1000이하	• 충격영역의 1/3 이 HIC 2000이하 • 충격영역의 2/3이 HIC 1000이하	• 충격영역의 1/3 이 HIC 2000이하 • 충격영역의 2/3이 HIC 1000이하
머리모형 무게	4.8kg	2.5kg	4.5kg	3.5kg
머리모형 직경	165mm	10mm	165mm	165mm

여기서 a는 머리모형 구의 중심에 설치된 3축 가속도계로부터 측정된 중력가속도의 배수로 표시되는 합성 가속도이고, t_1, t_2 는 충격 중 15msec이하의 간격을 갖는 임의의 순간을 의미한다. HIC에 대한 보다 자세한 내용은 관련 보고서([3],[4])를 참조하기 바란다.

유럽과 일본의 기준을 비교해 보면 기준을 구성하는 변수의 값에 차이가 있는 것으로 나타났다. 차종구분에 있어서, 유럽의 경우에는 차종을 구분하지 않지만, 일본의 경우 차종은 승용차(Sedan), SUV, 1Box의 세 가지 유형으로 구분하여 각기 다른 충격각도를 제시하고 있다.

유럽 및 일본의 기준검토를 통해 도출된 충돌안전기준 도입에 따른 사망자수의 감소 효과 추정을 위한 주요 변수는 다음과 같다.

- 보행자 사망자수
- 머리상해로 인한 사망자수
- 기준의 적용을 받는 차종
- 충돌속도에 따른 보행자 사망자수
- HIC 값에 따른 잠재적 보행자 생존자수

3. 충돌속도 추정모형

본 연구에서는 사망자수 감소분을 정량화하기 위해 개별 보행자 사고 자료로부터 충돌속도를 도출한 후 보행자 사망확률모형을 개발하였다. 여기서는 충돌속도 도출 시 사용되는 대표적인 추정모형을 고찰한다.

1) Schmidt and Nagel (1971)

Schmidt and Nagel [5]은 충돌순간의 속도는 보행자의 충돌 후 날아간 이동거리와 관련이 있음을 밝혀냈다. 보행자가 차량에 충돌한 후 날아간 이동거리는 공중에서 지면까지의 낙하거리와 지면에 충돌한 후 미끄러진 거리의 2단계로 설명하였다.

$$V_x = \sqrt{\mu^2 \times h + e - \mu \times h} \tag{2}$$

- 여기서, V_x : 충돌속도 (m/s)
 μ : 보행자의 노면마찰계수
 h : 보행자의 무게중심 높이(m)
 d_i : 날아간 거리(m)

- e : $2 \times \mu \times g \times d_i$
 g : 중력가속도 (9.8m/s²)

2) Stcherbatchef et al. (1975)

Stcherbatchef et al. [6]은 보행자의 이동거리는 충돌속도와 차량의 감속도와 연관이 있음을 밝혀냈다.

$$d_i = \frac{V_e^2 - V_i^2}{2a} + kV_x \tag{3}$$

- 여기서, k : $\lambda \times \alpha$, λ : 0.03 (실험치)
 a : 차량의 감속도 (m/s²)
 V_i : 초기속도(m/s)
 V_e : 나중속도 (m/s)
 t : 시간(sec)

3) Collins and Moris (1979)

Collins and Moris [7]은 보행자가 날아간 거리를 충돌속도와 보행자의 무게중심높이로 구하였다.

$$d_t = \frac{V_x \times \sqrt{h}}{7.97} + \frac{V_x^2}{254 \times \mu} \text{ (m)} \tag{4}$$

$$x = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \times A \times C}}{2 \times A}$$

$$A = \frac{1}{254 \times \mu}, B = \frac{\sqrt{-h}}{7.97}, C = -d_t$$

III. 방법론 개발 및 적용

1. 보행자 충돌사고 자료

보행자-차량 충돌사고시 충돌속도에 따른 사망자수를 추정하기 위해 본 연구에서는 일선 경찰서의 개별보행자 사고자료를 수집하고 국립과학수사연구소와 한양대학교 교통사고분석센터의 사고재현 전문가에게 의뢰하여 사고 당시의 충돌속도를 추정하였다.

본 연구를 위해 별도의 조사양식을 작성하여 사고자료를 수집하였으며, 주요 조사 항목은 다음과 같다.

- 보행자 성별, 연령

〈표 2〉 충돌속도 기초통계량

Mean	50.10 kph
Std. Error of Mean	2.28
median	45.00
Mode	40.00
Std. Deviation	24.14
Min	4.00
Max	103.00

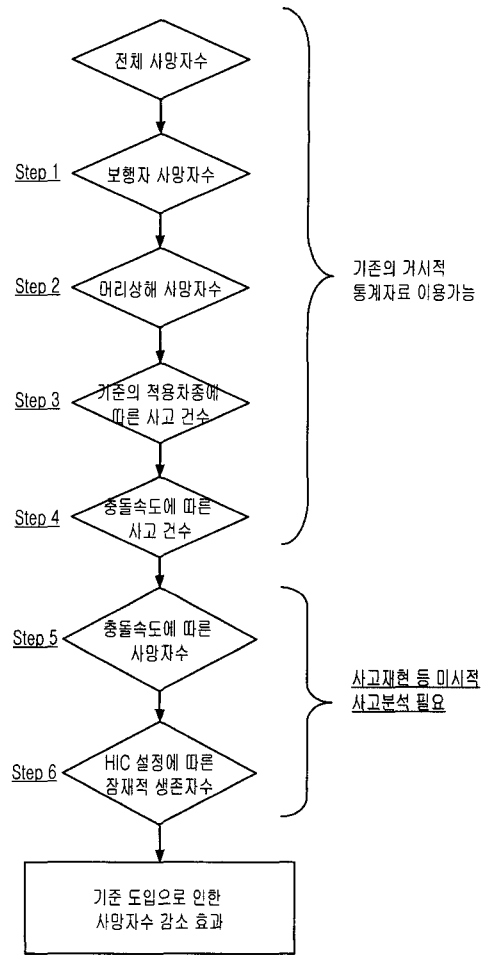
- 차종 및 차명
- 1차, 2차, 및 3차 충돌위치(보행자 및 차량)
- 보행자 최종 추락지점
- 보행자 상해정도
- 종단구배, 기상 및 노면 상태 등의 도로환경

보행자-차량 충돌사고의 재현을 통해 사고 당시의 충돌속도를 도출하여 보행자 사망확률 모형 개발의 변수로 활용하였다. 보행자-차량 충돌사고 자료는 2005년 7월 1일부터 2005년 2월 28일까지 수집 및 분석이 완료된 자료를 모형개발에 사용하였다. 본 연구에서는 101건의 보행자-차량 충돌사고로부터 충돌속도를 도출하고, 이를 이용하여 다변량(multi-variate) 통계자료 분석 기법 중의 하나인 logistic regression을 적용하여 보행자가 차량과 충돌 시 사망 여부를 확률적으로 추정하는 모형을 개발하였다. 충돌속도 자료에 대한 descriptive statics를 〈표 2〉에 제시하였다.

2. 방법론 개발

전체 교통사고 사망자 중 보행자의 머리상해 감소를 위한 충돌안전기준 도입으로 인해 감소하게 될 사망자수를 추정하는 것이 본 연구의 핵심이다. 이를 위해 본 연구에서 제안된 방법론은 순차적 top-down 방식으로 사망자수 감소분을 추정하는 것으로서 도식화하면 〈그림 2〉와 같다.

〈그림 2〉에서 표시한 바와 같이 Step 1 ~ Step 4는 기존의 교통사고 통계분석 자료[8]를 이용하여 추정 가능한 거시적인 변수 값을 이용하여 수행이 가능하다. 그러나 기준에서 포함된 변수를 활용하여 사망자수 감소를 추정하기 위한 핵심 단계인 Step 5와 step 6을 수행하기 위해서는 별도의 사고분석을 통한 모형 개발이 필수적이다. 즉, Step 5의 수행을 위해서는 우선적으로 개별 보행자-차량 충돌사고의 재현을 통해 충



〈그림 2〉 수해자 그룹 추정 단계

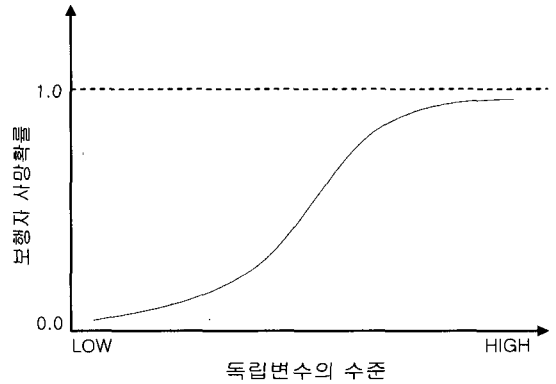
돌속도를 추정하고 보행자의 상해정도를 조사해야 한다. 또한, 보다 자세한 parametric 분석을 위해서는 충돌속도를 독립변수, 보행자의 사망 여부를 종속변수로 구성되는 모형의 개발이 필요하다. 또한, Step 6의 수행을 위해서는 HIC 값의 변화에 따른 보행자의 사망여부를 추정할 수 있는 수리적 모형이 필요하다.

〈그림 5〉에서 도식화한 수해자 그룹추정 방법론을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PED_{fatal}^{est} &= T_p \times R_H \times R_{VT} \times R_{V_n} \times \\
 &\Pr(F | V_x \leq V^{Th}) \times \Pr(S | HIC \leq HIC^{Th})
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서,
 PED_{fatal}^{est} : 기준 도입으로 인해 감소될 보행자 사망자수

- T_p : 전체 보행자 사망자수
- R_{H} : 보행자 사망자 중 머리상해 비율
- R_{VT} : 기준 적용 차종 비율
- $R_{V_{Th}}$: 보행자 충돌사고 중 충돌속도 (V_x)가 V_{Th} 이하인 비율
- $Pr(F | V_x \leq V^{Th})$: 기준의 충돌속도(V_x)를 V^{Th} 로 설정한 경우 보행자 사망확률
- $Pr(S | HIC \leq HIC^{Th})$: 기준의 HIC 값을 HIC^{Th} 으로 설정한 경우 보행자 생존 확률 ($1 - Pr(F | HIC \leq HIC^{Th})$)



<그림 3> 보행자 사망과 독립변수간의 logistic relationship

1) 충돌속도 기반의 보행자 사망확률모형 ($Pr(F | V_x)$)

Logistic regression은 범주형 변수 (categorical variable, non-metric)를 종속변수로 측정형 변수 (measurable variable)를 독립변수로 취하는 모형의 개발에 사용되는 기법이다. 자료의 정규성(normality)과 등분산성(equal variance)에 대한 가정을 만족시켜야 하는 판별분석(discriminant analysis)과 달리, logistic regression은 이러한 가정으로부터 자유로워 다양한 응용분야의 모형개발에 사용되고 있다. 특히, binary logistic regression은 종속변수가 단지 두개인 경우, 즉 1 또는 0인 경우의 모형에 적용된다. binary logistic regression 모형은 독립변수가 1을 취할 확률을 예측한다. 따라서, 본 연구에서는 종속변수가 1을 취하는 경우는 보행자의 사망확률이 1임을 의미한다. logistic regression 모형의 구조는 식(6)과 같다[8].

$$P(F_i = 1 | X_i) = \frac{\exp[\lambda(X_i, \beta)]}{1 + \exp[\lambda(X_i, \beta)]} \quad (6)$$

- 여기서, F_i : 보행자-차량 충돌사고 i 의 보행자 사망 ($F_i = 1$) 또는 생존($F_i = 0$) 여부를 나타내는 종속변수
- X_i : 보행자 사망에 영향을 미치는 독립변수
- $f(X_i, \beta)$: X_i 와 파라미터 β 로 구성된 함수

보행자 사망 모형개발을 위해 범용 통계패키지인 SPSS를 사용하였다. 독립변수로는 보행자 충돌안전 기준의 근간이 되는 충돌속도 (V_x)를 사용하였다. 따

<표 3> logistic regression 분석 결과

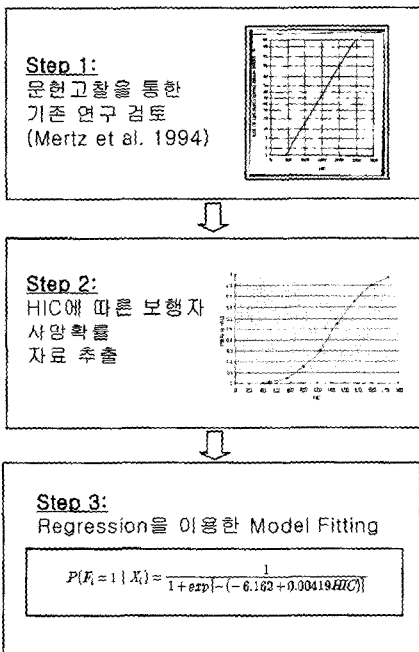
Model		
$P(F_i = 1 X_i) = \frac{1}{1 + \exp[-(-5.433 + 0.095 V_x)]}$		
Statistic	V_x	Constant
Wald Statistic	25.352	27.591
Standard Error	0.019	1.034
β	0.095	-5.433
Significance	0.000	0.000
<ul style="list-style-type: none"> • Correct classification rate: 77.2% • -2 log likelihood: 84.045 • Model Chi-square: 47.526 • Nagellerke R-square: 0.515 		

라서 SPSS를 이용하여 V_x 의 β 와 상수(constant)를 이용한 보행자 사망확률을 예측하는 모형을 개발하였다. 통계적 모형개발 결과를 <표 3>에 정리하였다.

개발된 모형의 β 는 모두 통계적으로 유의하였으며, Chi-square 값 역시 47.526으로 나타나 충돌속도를 기반으로 한 보행자의 사망확률모형은 주어진 자료를 잘 설명하는 것으로 분석되었다. 아울러, 개발된 모형의 보행자 사망사고의 분류능력(classification performance)은 0.5의 소속도(membership)를 cutoff threshold로 적용하였을 때, 77.2%로 비교적 높게 나타났다. 모델에 의한 사망확률은 0(생존)과 1(사망)의 범위에서 다양한 값을 가질 수 있으나, 예측된 사망확률은 이 범위를 벗어날 수 없다. 0~1의 값을 갖는 관계를 규정하기 위해, <그림 3>에서와 같이 logistic regression은 독립변수와 종속변수의 관계가 S자 형태를 가질 것으로 가정한다.

2) HIC 기반의 보행자 생존확률 모형 ($Pr(S | HIC)$)

본 절에서는 수해자 그룹 추정 과정 중 Step 5에서 필요로 하는 HIC 값의 변화에 따른 보행자 사망확률모형을 구축하는 내용을 소개한다. 기존의 관련연구 [9]에서 도식화하여 제시한 HIC 값과 머리상해에 의한 사망확률을 본 연구의 목적을 위해 정식화하는 과정을 수행하였다. 기존 연구 [5]에서 제시한 HIC 값과 사망확률의 mapping 자료를 이용하여 모형 구축을 위한 자료를 구성하고 regression을 이용하여 β 값을 추정하였다. 수행과정을



〈그림 4〉 HIC 기반의 보행자 사망확률 모형 정식화 과정

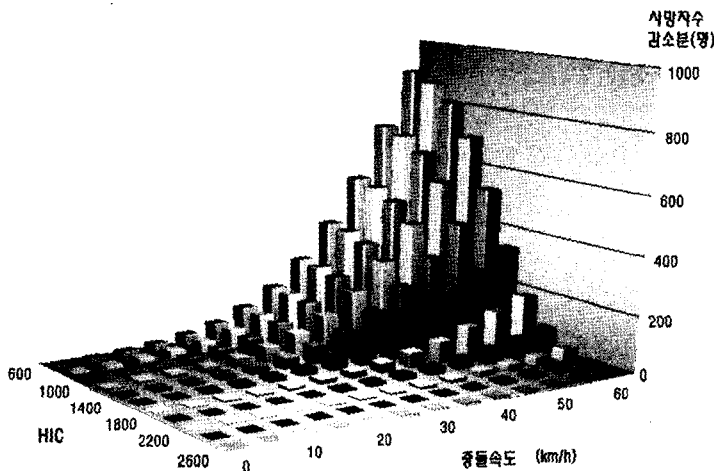
도식화하면 〈그림 4〉와 같다. 따라서 수해자 그룹 추정을 위해 필요한 HIC에 따른 보행자 생존확률은 $Pr(S | HIC) = 1 - Pr(F | HIC)$ 으로 얻어질 수 있다.

3. 적용

국내 보행자 교통사고 통계를 기반으로 수해자 그룹 추정 Step 1 ~ Step 4를 수행하고, 4장에서 개발 및 유도된 모형을 기반으로 보행자 충돌안전기준 도입에 따른 수해자 그룹을 추정하였다.

하나의 실례로서 유럽의 기준인 충돌속도 40kph와 HIC 값 1000을 적용해 본 결과, 감소하게 될 보행자 사망지수는 175명으로 분석되었다. 여기서, T_p , R_H , R_{VT} 는 국내 통계자료 [2]에서 값을 도출하였다. 한편, 본 연구에서 수집한 보행자 사고 자료는 적절한 R_{V_m} 를 도출하기에는 샘플수가 부족한 것으로 판단되어, 미국, 일본, 독일, 영국, 호주 등에서 수집된 사고 자료를 분석한 IHRA 보고서 [10]의 값을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 PED_{fatal}^{est} &= T_p \times R_H \times R_{VT} \times R_{V_m} \times \\
 &\quad Pr(F | V_x \leq 40kph) \times Pr(S | HIC \leq 1000) \\
 &= 2,896 \times 0.713 \times 0.790 \times 0.75 \times \\
 &\quad \left(\frac{1}{1 + \exp[5.433 - 0.095 \times 40]} \right) \times \\
 &\quad \left(1 - \frac{1}{1 + \exp[6.162 - 0.00419 \times 1000]} \right) \\
 &= 2,896 \times 0.713 \times 0.790 \times 0.75 \times 0.163 \times 0.878 \\
 &= 175
 \end{aligned}$$



〈그림 5〉 충돌속도와 HIC 값의 변화에 따른 수해자 그룹의 추정

보행자 충돌안전기준의 충돌속도와 HIC 값에 따라 보행자의 상해정도가 다양하게 나타날 수 있다. 즉, 사망자수 감소효과는 기준을 강화할수록 크게 나타나는데, 충돌속도를 높일수록, HIC 값을 낮출수록 더욱 많은 수의 보행자를 살릴 수 있다. 기준에 적용되는 충돌속도와 HIC 값은 기술의 타당성 및 경제적 타당성을 고려하여 결정되는데, 본 연구에서 제시하는 사망자수 추정방법론은 이러한 타당성을 고려한 국내 환경에 부합되는 보행자 충돌안전기준 개발을 위한 최적의 충돌속도와 HIC 값 설정에 유용하게 사용될 수 있다.

다양한 충돌속도와 HIC 값의 변화에 따른 수해자 그룹의 변화는 <그림 5>와 같다.

IV. 결론

건설교통부는 현재 진행 중인 보행자 충돌안전기준 개발연구의 결과를 반영하여 2006년부터 KNCAP의 일환으로 보행자 머리보호를 위한 충돌안전시험을 시행할 예정이다. 따라서 보행자 보호를 위한 새로운 기준의 도입에 따른 교통안전측면의 실질적인 효과를 계량화하는 작업은 큰 의미를 갖는다.

보행자 보호를 위한 충돌안전기준에서 설정한 HIC 값에 대한 요구조건을 충족시키기 위해 차량제작사는 새로운 기술을 장착한 차량을 개발해야 한다. 현재 국내의 자동차 제작사에서 개발 중인 active hood lift system, outside airbag 등이 좋은 예이다. 현재 일반적인 승용차의 경우 보행자의 머리가 본넷에 충돌할 때 HIC 값이 1000이하인 경우가 전체 본넷 영역의 약 33%인 것으로 보고된 바 있다 [2]. 그러나, active hood lift system을 적용한 경우 HIC 1000 이하인 본넷 영역의 비율을 70%까지 달성할 수 있는 것으로 보고되고 있다 [1]. 따라서 보행자 보호를 위한 충돌안전기준을 NCAP에 적용하면 보행자 보호를 위한 첨단차량 개발을 유도하고, 이는 궁극적으로 보행자 안전을 증진시킬 수 있는 환경을 조성하게 된다.

본 연구결과의 주요 공헌은 국내 교통환경 특성을 반영하는 보행자-차량 사고 자료를 수집하고 재현하여 충돌속도를 도출한 후, 이를 이용하여 사망자수 감소분 추정에 적용한 것이라 할 수 있다.

binary logistic regression을 이용하여 통계적으로 유의한 모형을 개발하여 충돌속도의 변화에 따른 보

행자의 사망여부를 확률값으로 얻을 수 있도록 하였다. 이미 보행자 충돌안전기준에 대한 선행 연구를 끝마친 유럽이나 일본의 관련 문헌에서도 본 연구에서와 같이 체계적으로 기준에 사용되는 변수의 변화에 따른 수해자 그룹을 추정하는 방법론을 제시한 바는 없다. 따라서 본 연구가 지니는 의미는 크다고 할 수 있다. 그러나 HIC 기반의 보행자 생존확률 모형과 충돌속도 비율 설정을 위해 국외의 자료를 사용한 것은 국내 사고 자료 수집의 제한으로 인한 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 아울러 사고발생 직후 정밀한 사고조사의 미흡 및 사고재현 과정상의 한계로 추정된 개별 보행자 사고의 충돌속도는 일부 과대 또는 과소 추정이 되었을 가능성이 있음을 밝혀둔다.

향후 보다 신뢰성 있고 정확한 보행자 사망확률모형의 개발을 위해서는 광범위한 자료 수집을 통해 모형을 일반화해야 한다. 특히, 보행자 사고를 포함한 다양한 형태의 교통사고 자료를 효율적으로 관리할 수 있는 법적, 제도적 뒷받침이 본 연구와 같이 교통사고 자료를 분석하여 기술적, 정책적 교통안전 증진방안 도출하려는 연구의 필수적인 선행 요건일 것이다. 본 연구의 결과물은 향후 국내 실정에 맞는 보행자 충돌안전기준의 제정 및 보행자 보호를 위한 다양한 첨단기술 개발을 위한 기초 자료로서 활용도가 대단히 클 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 교통개발연구원 (2005), "보행자 친화적 첨단안전 차량 개발(II)" 2차년도 연차보고서(안).
2. 경찰청 (2004), "교통사고통계분석".
3. European Enhanced Vehicle-Safety Committee (1997), "Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars".
4. Commission of the European Communities (2003), "Relating to the protection of the Pedestrians and Other Vulnerable Road Users in the Event of a collision with a Motor Vehicle".
5. Schmidt, D. N. and D. A. Nagel(1971), "Pedestrian Impact Case Study", Proceeding of 15th Conference Association for Automotive

Medicine.

6. Stcherbatcheff, G. et al.(1975), "Simulation of Collisions Between Pedestrians and Vehicles using Adult and Child Dummies", SAE paper No. 751167.
7. Collins, J. C. and J. L. Morris (1970), "Highway Collision Analysis", Thomas Publishing.
8. Joseph, F. H. et al.(2003), "Multivariate Data Analysis", Pearson Education.
9. Mertz, H.J., P. Prasad and A. L. Irwin (2997), "Injury Risk Curve for Children and Adults in Frontal and Rear Collisions", SAE paper no. 973318.
10. IHRA(2001), "International Harmonized Research Activities: Pedestrian Safety Working Group 2001 Report".

✉ 주 작성자 : 오 철

✉ 논문투고일 : 2005. 3. 21

논문심사일 : 2005. 4. 18 (1차)

2005. 5. 18 (2차)

2005. 6. 7 (3차)

심사판정일 : 2005. 6. 7

✉ 반론접수기한 : 2005. 10. 31