

드라이빙 시뮬레이터를 이용한 차내 보행자 충돌 경고정보시스템 효과평가 방법론 개발 및 적용

장지용¹ · 오철^{2*}

¹ 한양대학교 교통공학과, ² 한양대학교 교통물류공학과

Methodology for Evaluating Effectiveness of In-vehicle Pedestrian Warning Systems Using a Driving Simulator

JANG, Ji Yong¹ · OH, Cheol^{2*}

¹ Department of Transportation Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

² Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

Abstract

The objective of this study is to develop a methodology for evaluating the effectiveness of in-vehicle pedestrian warning systems. Driving Simulator-based experiments were conducted to collect data to represent driver's responsive behavior. The braking frequency, lane change duration, and collision speed were used as measure of effectiveness (MOE) to evaluate the effectiveness. Collision speed data obtained from the simulation experiments were further used to predict pedestrian injury severity. Results demonstrated the effectiveness of warning information systems by reducing the pedestrian injury severity. It is expected that the proposed evaluation methodology and outcomes will be useful in developing various vehicular technologies and relevant policies to enhance pedestrian safety.

본 연구의 목적은 차내 보행자 경고정보 제공유무에 따른 운전자의 반응특성을 분석하고 충돌속도를 이용해 보행자 상해심각도를 산출하여 시스템의 교통안전효과를 평가하는 방법론을 개발하는 것이다. 운전자 반응특성 분석을 위해 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 피험자별 주행특성 자료를 수집하였으며, 시나리오는 보행자-차량 사고유형에 따라 2개의 시나리오로 구성하였다. 분석결과, Mid-block내의 보행자 무단횡단, 길가장자리구역의 보행자 통행 상황에서 경고정보 제공 전·후로 충돌속도는 위험운전자 그룹이 54%, 25% 감소하였고, 일반운전자 그룹은 26%, 33% 감소하였다. 경고정보 제공 전·후의 충돌속도를 이용하여 산출한 보행자 사망확률은 보행자 무단횡단과 길가장자리 구역의 보행자 통행 상황에서 경고정보 제공 전·후로 위험운전자 그룹이 95%, 30% 감소하였고, 일반운전자 그룹은 80%, 89% 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 선정된 운전자 반응특성 평가지표 및 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도를 산출하여 시스템의 효과를 평가하는 방법론은 향후 보행자-차량 간의 사고예방을 위한 기술 또는 시스템의 교통안전효과를 평가하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords

collision speed, driver's reaction behavior, in-vehicle pedestrian warning systems, pedestrian injury severity, safety benefits

충돌속도, 운전자 반응특성, 차내 보행자 충돌 경고정보시스템, 보행자 상해심각도, 교통안전효과

* : Corresponding Author
cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-400-4239

Received 9 September 2013, Accepted 3 March 2014

© Korean Society of Transportation
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

보행자와 차량의 충돌 시, 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도는 충돌속도가 30km/h일 때, 경상확률은 95%, 중상확률은 35%, 사망확률이 10%이고, 충돌속도가 70km/h 이상이 되면 경상 및 중상확률은 100% 초과, 사망확률은 85%를 초과한다(Abele J. et al., 2005). 높은 충돌속도는 보행자와 차량의 충돌 시, 충돌속도에 의한 충돌 에너지가 감쇠 없이 보행자에게 그대로 전이되기 때문이다. 이 과정에서 차량의 운전자가 전방의 보행자를 사전에 인지하여 감속 또는 정지, 차선변경 등 회피행동을 통해 주행속도를 충분히 낮추었다면 보행자 상해심각도는 감소시킬 수 있을 것이다.

차량-보행자사고는 운전자가 전방의 보행자를 인지하지 못한 경우와 보행자 인지시간이 지체되었을 때, 운전자가 감속, 정지 등 적절한 회피행동을 하지 못하고 높은 주행속도로 보행자와 충돌하게 된다. 즉, 운전자에게 전방의 보행자 유무를 사전에 인지하고 감속 또는 정지하는 등의 회피행동을 통해 주행속도를 낮출 수 있는 시간을 확보해주면 보행자사고를 예방하거나 보행자 상해심각도를 감소시키는 방안이 될 수 있다.

운전자에게 전방의 보행자 유무를 사전에 알려주기 위해서는 센서에 의한 전방 보행자 검지기술이 선행되어야 하고, 검지된 보행자의 유무정보를 적절한 경고정보로 변환하여 운전자에게 제공하는 경고정보시스템이 필요하다. 또한 교통안전 향상을 위한 최적의 차내 경고정보시스템 구축을 위해서는 경고정보의 내용, 제공방식, 제공유무에 따라 실제 운전자의 반응특성을 분석하고 교통안전 측면의 효과를 평가하는 방법론을 개발하여 시스템의 개발 또는 도입에 따른 효과를 평가하는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 차내 보행자 경고정보 제공유무에 따른 운전자의 반응특성을 분석하고 충돌속도를 이용해 보행자 상해심각도를 산출하여 차내 보행자 경고정보시스템의 교통안전효과 평가방법론을 개발하는 것이다.

보행자 경고정보 콘텐츠 설계는 경고정보 콘텐츠 설계관련 선행연구의 분석결과를 이용하여 경고정보의 내용, 제공방식을 선정하였고, 운전자 반응특성 자료 수집을 위해 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 4차레 가상주행실험을 수행하였으며 이전 실험에서 나타난 실험한계를 보완하며 진행하였다. 또한 운전자 반응특성을 평가하기 위해 보행자-차량간 상충 시, 운전자가 선택할 수 있는 반응특성을 정지, 감속, 차선변경으로 가정하고 각

반응특성을 평가하는 지표를 선정하였다. 교통안전효과 평가방법론은 선행연구에서 개발한 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도 추정모형을 적용하여 경고정보 제공유무에 따라 충돌속도에 대한 보행자 상해심각도를 산출한 후, 경고정보 제공 전·후의 상해심각도 증감을 비교하여 시스템의 교통안전효과를 평가하고자 하였다.

본 연구에서 선정한 보행자-차량 상충 시, 운전자 반응특성 평가지표 및 교통안전효과 평가방법론은 향후 차내 경고정보시스템 뿐만 아니라 첨단안전차량에 적용되는 안전기술의 교통안전효과를 평가하는 방법론에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

기존 문헌 고찰

본 연구에서는 경고정보 콘텐츠 설계 관련 선행연구 고찰을 통해 교통안전 측면에서 가장 효과적인 경고정보 제공유형, 방식을 선정하였다. 또한 교통안전효과 평가 방법론 관련 선행연구 고찰을 통해 충돌속도를 이용한 보행자 상해심각도 추정모형을 적용하였다.

1. 경고정보 콘텐츠 설계

Song T. J. et al.(2009)은 실시간 경고정보설계에 대한 설문조사를 수행하여 경고정보 콘텐츠에 대한 이용자 선호도를 조사하였다. 분석결과, 차내 단말기를 이용하여 경고정보제공 시, 네비게이션을 이용해 지도+음성방송으로 속도제한 정보를 제공하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 경고정보 제공수단으로는 네비게이션, 음성정보단말기, HUD순으로 선호하는 결과가 나타났다.

Song T. J. et al.(2009)은 실시간 주행환경에서 전방의 위험상황에 대해 운전자가 효과적으로 반응할 수 있는 교통안전 경고정보 콘텐츠 도출을 위한 연구를 수행하였다. 시나리오별 경고정보 콘텐츠는 시각적 정보(Text, Image)와 청각적 정보(경고음, 음성메시지)를 조합하여 구성하였고, 20대 남성운전자 30명을 대상으로 현장실험을 통해 자료수집 및 분석을 수행하였다. 최적의 경고정보 콘텐츠 설계를 위한 분석지표는 각 시나리오별로 감속도, 긴급영향권에서의 10kph 감속에 소요되는 시간(초), 일반영향권에서의 속도감소량(%)을 선정하여 측정하였다. 분석결과, 긴급영향권에서는 음성메시지+Image+Text와 경고음+Text로 구성된 경고정보가 효과적이었고, 일반영향권에서는 경고음+음성메

시지+Image+ Text로 구성된 경고정보가 가장 효과적 인 것으로 나타났다.

Chang et al.(2009)은 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 도시부 교차로에서 적색신호일 때 교차로로 진입하는 차량에 대해 CWS(Collision warning system)의 유형에 따른 젊은 운전자의 Driving performance 분석을 수행하였다. Driving performance 평가변수로는 반응시간, 속도, 종방향가속도, 사고이벤트(Crash event)를 측정하였다. 분석 결과, Audio Signal(Beep)형태의 ICWS(Intersection Collision Warning System)으로 경고정보를 제공할 때, 운전자의 반응시간이 짧고 교차로 진입속도가 낮으며, 사고율이 감소하는 등 가장 효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 교통안전효과 평가 방법론

Oh C. et al.(2009)은 순서형 로지스틱 회귀분석(Ordered logistic regression, OLR)모형을 이용하여 보행자의 상해심각도를 추정하는 확률모형을 제시하였다. 사고자료를 이용하여 보행자 특성, 도로 및 환경특성, 교통특성, 차량특성의 4가지 그룹으로 독립변수를 분류하고 Abbreviated injury severity(AIS) 카테고리로 구분되는 보행자 상해심각도를 추정하는 모형을 제시하였다. 분석 결과, 독립변수 중에서 충돌속도, 차량의 밀면과 지면까지의 높이(l_2)가 보행자의 상해심각도에 영향을 주는 주요 독립변수로 나타났다. 또한 Brake assistance system(BAS)의 교통안전효과를 추정하는 방법론을 제시하였는데, 충돌속도의 변화에 따른 상해심각도 감소량과 보행자 사망사고 발생건수를 이용하여 총 사고건수 감소량을 추정함으로써 교통안전효과를 산출하고 평가하였다.

Abele J. et al.(2005)은 IVSS(Intelligent vehicle safety system)의 효과평가 연구를 수행하였는데 Safety potential, Socio-economic benefits을 산출하여 교통안전효과를 평가하였다. Abele은 Safety potential 산출을 위해 사고유형별 운전자반응시간, 승용차의 속도를 평가지표로 활용하였다. Abele의 연구보고서 중 인용된 1979년 Enke의 연구결과에 따르면 운전자의 반응시간과 충돌확률간의 관계에 있어 운전자의 반응시간이 0.5초 이하가 될 때, 운전자 또는 차량은 사고를 회피할 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과를 토대로 본 연구에서는 운전자 또는 차량이 아무런 회피행동을 할 수 없는 시점(사고발생 시점을 기준으로 0.5초 전)에서의 차량의 속

도를 차량-보행자 충돌 시의 충돌속도라고 정의하였다.

Abele의 연구에서는 첨단안전차량의 다양한 적용 기술에 대한 시스템 효과평가를 하려는 시도는 있었으나, 이는 경고정보시스템의 특성과는 다소 이질적인 차체 제어 기술에 대한 효과평가가 이루어졌다.

3. 기존 연구와의 차별성

경고정보 콘텐츠 설계와 관련된 기존의 연구에서는 선호도 설문조사를 통해 실제 운전자의 반응특성이 아닌 단순한 선호도만을 분석하여 운전자의 반응특성을 반영하지 못했다. 또한 Song T. J. et al.(2009)의 연구에서는 실제 전방의 돌발상황 발생에 따른 걱정 경고정보 제공지점에서의 경고정보 제공이 아닌 일반영향권과 긴급영향권을 정의한 후, 가상의 상황 하에서 각 영향권에 따라 운전자에게 경고정보를 제공하는 방법으로 실험을 수행하다보니 실제 돌발상황에서 경고정보 제공유무에 따른 운전자의 반응특성을 분석하는데 한계가 있다.

따라서 경고정보시스템에 대한 운전자 반응특성 분석을 위해서는 성별 및 운전경력에 따라 피험자를 선정하고, 가상도로환경을 이용해 돌발상황을 구현하여 유사환경에서의 주행실험을 통해 신뢰있는 운전자 반응특성 자료 수집 및 분석이 요구된다.

본 연구에서는 성별 및 실제 운전경력에 따라 피험자를 선정하고, 가상환경에서 돌발상황을 구현하였으며, 드라이빙 시뮬레이터를 이용해 운전자 반응특성 자료 수집 및 분석을 수행하였다.

또한 기존의 교통안전효과 평가방법론에 관한 선행연구에서는 보행자-차량 충돌 시, 차량의 충돌속도에 따른 보행자의 상해심각도를 산출하고 상해심각도 확률의 증감을 이용하여 첨단안전자동차 기술에 대한 교통안전효과 평가를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 선행연구 결과를 반영하여 충돌속도를 재정의 하였고, 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도 추정 모형을 이용해 보행자 상해심각도를 산출하고 증감 값을 사고자료에 적용하여 교통안전효과를 평가하는 방법론을 제시하였다.

분석방법론

본 연구에서는 차내 보행자 경고정보시스템의 교통안전효과 평가방법론 개발을 위해 Figure 1에 제시한 바

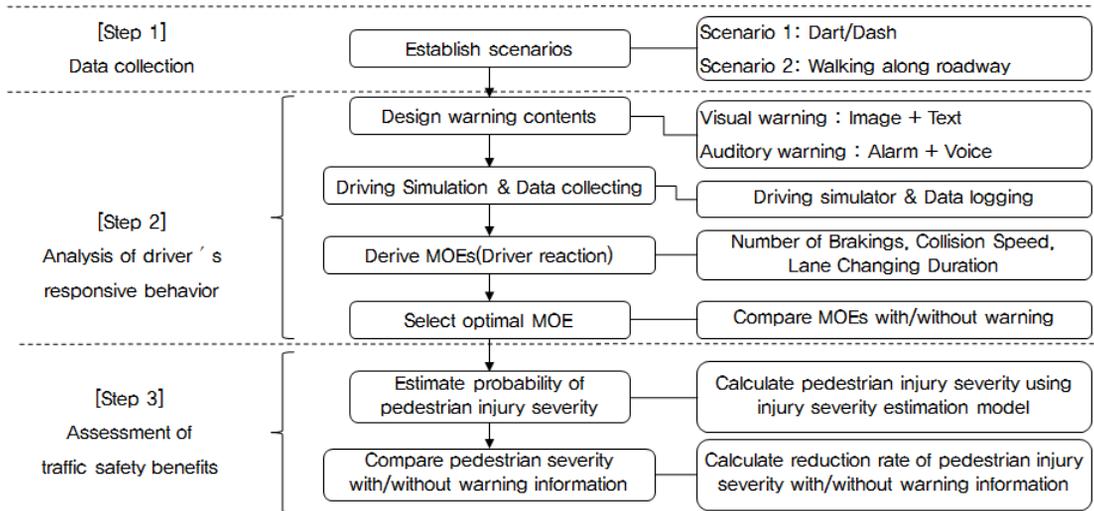


Figure 1. Flowchart

와 같이 운전자 반응특성 분석을 수행하였고, 교통안전 효과 평가를 수행하였다.

1. 운전자 반응특성 분석

운전자 반응특성 분석은 차량-보행자간의 상충 시나리오 구성, 차내 경고정보 컨텐츠 설계, 가상주행실험을 통한 운전자 반응특성 자료수집, 운전자 반응특성 평가를 위한 지표 산출, 교통안전효과 평가를 위한 최적 MOE 선정과정을 거쳐 수행되었다.

도로상의 차량과 보행자의 상충유형 분류를 위해 교통사고통계분석시스템(도로교통공단)의 ‘차대사람’사고 유형에 따른 전년대비 사망자수 현황자료를 이용하였다.

도로교통공단의 교통사고통계분석시스템의 2012년 ‘차대사람’ 사망자수 현황 자료에 의하면, 전체 사망자수는 1,977명으로, 이 중 ‘횡단중’ 사고의 사망자수는 1,003명으로 전체의 51%, ‘차도통행중’ 사고의 사망자수는 174명으로 전체의 9%, ‘길가장자리 구역 통행중’ 사고의 사망자수는 94명으로 전체의 5%, ‘보도 통행중 및 기타’ 사고의 사망자수는 706명으로 전체의 35%인 것으로 나타났다. 이 중 사고발생장소가 모호한 ‘차도통행 중’, 차량의 주행선상인 도로에서 발생한 사고라고 할 수 없는 ‘보도통행 중 및 기타’ 사고유형을 제외하면, ‘횡단 중’, ‘길가장자리구역 통행 중’ 사고가 ‘차대사람’사고의 주요 유형인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 차량-보행자의 상충유형에 따

라 다음과 같이 ‘차대 사람’ 사고의 주요 유형이라고 판단되는 ‘횡단 중’, ‘길가장자리구역 통행 중’ 사고유형을 시뮬레이션 시나리오로 구성하였다.

- Mid-block내의 무단횡단(시나리오 1)
- 길가장자리 보행자 통행(시나리오 2)

시나리오 구성 후, 각 시나리오 별 차내 경고정보시스템 구현을 위한 최적의 보행자 경고정보 컨텐츠는 주행로상의 전방에서 도로를 횡단하거나 도로를 따라 통행하는 보행자를 검지하는 검지기술이 개발되었다는 가정설정 후, 경고정보 컨텐츠 설계와 관련된 선행연구의 분석결과 및 첨단차량의 경고정보 제공 기술조사 결과를 활용하여 설계하였다.

보행자 경고정보는 운전자에게 전방의 보행자 존재에 대한 상황정보와 주의, 감속을 요구하는 행동정보를 동시에 제공하도록 설계하였으며, 경고정보 컨텐츠 및 제공방식을 Table 1, Table 2에 제시하였다.

경고정보의 유형은 시각적 정보인 텍스트, 이미지와 청각적 정보인 경고음, 음성메시지를 조합하여 전방의 보행자 출현유형에 따라 각 시나리오별로 텍스트+이미지+경고음+음성메시지를 조합하여 제공하는 것으로 설정하였다. 경고정보가 운전자에게 노출되는 시간인 정보 표시시간은 Table 1에서와 같이 1초로 설정하였고, 텍스트+이미지의 시각적 정보 전환 시간은 0.5초로 설정하였다.

경고정보 텍스트는 “전방보행자주의”, 이미지는 일반

Table 1. Contents of warning information

| Class | Visual warning information | | Auditory warning information | | Triggering Type | Display (sec) | Switch (sec) |
|------------|----------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------|---------------|--------------|
| | Text | Image | Warning Alarm | Voice Message | | | |
| Scenario 1 | Caution ahead pedestrians |  | Speed limit "Beep-Beep" ("띠링-띠링") | Please slow down. There is a pedestrian in front. | Flashing | 1.0 | 0.5 |
| Scenario 2 | |  | | Careful, There is a pedestrian in front. | | | |

Table 2. Warning information provision method

| Class | Warning information |
|----------|--------------------------------|
| Type | Text+Image+Alarm+Voice message |
| Means | HUD(Head-up display) |
| Size | 5×3cm |
| Position | Left-bottom on windshield |

적인 운전자가 이미 해당 이미지의 의미를 충분히 알고 이해할 수 있는 교통안전표지판 중 횡단보도예고표지를 활용하였다. 청각정보의 경우, 경고음은 Tmap 네비게이션에서의 속도제한 경고음("띠링-띠링")으로 선정하였고, 음성메시지는 경고정보 제공목적에 부합하는 메시지를 선정하도록 하되, 경고정보 제공을 위한 이용자 선호도 분석결과를 반영하여 전방의 보행자가 횡단하는 상황정보 및 "감속하세요", "주의하세요"의 행동제어문을 순차적으로 제공하는 순으로 선정하였다.

본 연구에서는 운전자 반응특성 자료 수집을 위해 Figure 2와 같이 간이식 드라이빙 시뮬레이터를 구성하고 가상주행실험을 수행하였다. 드라이빙 시뮬레이터 구축은 58인치 대형 PDP TV 1대와 Driving handle pad 1세트를 이용하여 간이식으로 구성하였고, 운전자의 눈높이는 정지시거 개념에 적용되는 1m에 맞추어 간이식 시뮬레이터를 제작하였다.

또한 가상주행실험을 통해 측정되는 개별 운전자의 반응특성 데이터에 대한 신뢰성 향상을 위해 총 3차례의 사전실험을 수행한 후, 최종실험을 실시하였다. 1차, 2차, 3차의 사전실험을 진행하면서 관측되는 실험환경 및 문제점을 수정 및 보완하였다. 각 실험에서 관측된 문제점 및 개선방안은 다음과 같다.

1차 실험의 목적은 전방의 보행자 경고정보 제공시 운전자의 가감속패턴, 운전자 반응시간(t_{PRT}), 현 주행 속도에서 목표속도까지 감속하는데 소요되는 시간을 측정하여 운전자의 반응특성을 분석하는 것이었다. 1차 실험의 피험자는 가상주행도로에서의 운전자 능숙도(본 연

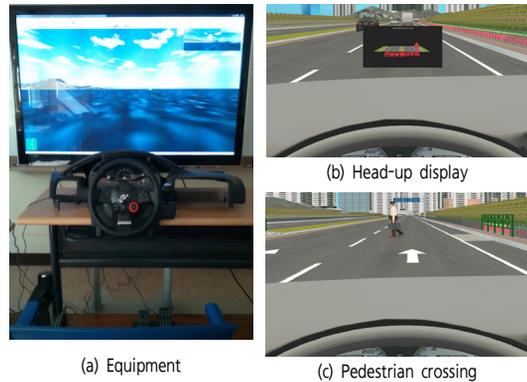


Figure 2. Driving simulator

구에서는 이를 가상도로환경에서의 주행횟수로 정의)에 따라 상, 중, 하 각 1명의 피험자를 대상으로 실험 전 경고정보가 표출되면 감속을 하라는 피험자 교육을 하고 실험을 진행하였다. 그러나 1차 실험에서 경고정보의 시각적 정보 표출시간을 2초, 정보전환시간을 0.5초로 제공하다 보니 피험자에게 제공되는 경고정보가 종료되지 않은 시점에서 피험자가 주행하는 차량이 이미 이벤트 발생(전방의 보행자 횡단 및 길가장자리 보행)지점을 통과해버리는 문제점이 확인되었다. 또한 수집된 자료를 분석한 결과, 경고정보를 제공하지 않을 때 피험자가 전방의 이벤트를 인지한 시점을 명확히 판단하기 어려워 운전자 인지반응시간을 산출하는데 한계가 존재하였다.

그리고 1차 실험에서 주행 전 각 피험자에게 "경고정보가 표출되면 감속하라"라는 피험자 교육은 운전자의 학습 효과만 가중시키는 결과를 초래하였다.

2차 실험은 1차 실험의 문제점을 보완하여 피험자 선정 기준 및 인원은 유지하되, 시각적 경고정보의 표출시간을 1초로 단축하였다. 또한, 각 피험자가 주행상태에서 감속 또는 정지를 위해 제동이 필요하다는 것을 인지한 이후 실제 차량이 브레이크에 의해 제동되는 시점이

Table 3. Relationship between experiment factors and learning effects

| Test | Experiment Factors | |
|------|-------------------------|--------------|
| 1st | Number of Participants | 3 persons |
| | Instruction for driving | Yes |
| | Driving sequence | Before-After |
| | Position of Ped* | Initial |
| 2nd | Number of Participants | 3 persons |
| | Instruction for driving | No |
| | Driving sequence | Before-After |
| | Position of Ped. | No change |
| 3rd | Number of Participants | 6 persons |
| | Instruction for driving | No |
| | Driving sequence | Change** |
| | Position of Ped. | No change |

*: Pedestrian crossing(or walking) point

** : Difference in driving sequence

- Before(without warning) and After(with warning)
- After(with warning) and Before(without warning)

명확히 관측되기 때문에 운전자의 인지반응시간과는 반비례 관계인 회피행동에 소요되는 시간, 보행자의 상해 심각도에 직접적인 영향을 주는 충돌속도를 운전자 반응 특성 분석을 위한 새로운 평가지표로 선정하였다. 그리고 1차 실험에서 발생한 운전자의 학습효과를 방지하기 위해 2차 실험에서는 피험자 교육을 하지 않고 실험을 수행하였다.

2차 실험 종료 후 수집된 자료를 분석한 결과, 다음과 같은 문제점이 확인되었다. 첫째, 피험자마다 회피행동에 소요되는 시간이 이론값보다 매우 길게 관측되어 분석결과에 대한 신뢰성을 판단하는데 한계가 있었다. 둘째, 2차 실험까지 경고정보 제공시점은 이벤트 발생전방 150m로 선정하였는데 이 설정은 적정 경고정보 제공지점 선정에 대한 근거가 부족하다고 판단되었다. 셋째, 여전히 운전자의 학습효과가 나타나 실험방식의 변화가 요구되었다.

3차 실험과 사전 실험간의 차이는 경고정보 제공시점을 시나리오별로 전방의 이벤트 발생지점(보행자 횡단지점)을 위험요소로 선정, Positive Guidance(Kim J. H. et, al.(2009))개념을 이용하여 적정 경고정보 제공지점을 산출하여 결정할 것이다. Positive guidance 개념적용은 전방의 보행자 출현상황을 Hazard로 간주하고 보행자 출현지점을 Hazard zone으로 설정하여 Approach zone, Non-recovery zone의 길이를 판단시거, 정지시거 산출을 통해 계산하였다. 이 때 적용하는 주행속도 값은 설계속도가 120-80km/h일 때, 주행속도를 설계속도의 85%, 설계속도가 70-40km/h일 때, 주행속도는 설계속도의

90% 속도를 적용했다(국도해양부, 2009). 또한 운전자의 인지반응시간은 혼잡한 교통상황에서 90%의 운전자가 전방의 장애물을 인지하고 회피할 수 있는 시간 2.5초(국도해양부, 2009)를 적용하였다. 따라서 설계속도 60km/h인 도로상에서 적정 경고정보 제공지점은 보행자 횡단(또는 통행) 지점을 기준으로 86m 이전 지점으로 산출되었다.

둘째, 학습효과와 최소화를 위해 총 6명의 피험자를 2그룹으로 나누어 1그룹(운전경력 상급, 중급, 하급 각 1명)은 이전의 방식인 Before(경고정보 제공 전)-After(경고정보 제공 후) 주행, 나머지 1그룹(운전경력별 각 1명씩 총 3명)은 After-Before 주행방식으로 실험을 진행하였다.

셋째, 피험자 구성기준을 피험자의 가상주행환경 하에서 주행에 대한 능숙도가 아닌, 실제 운전면허 취득 후의 실 운전경력을 초보, 중급, 상급으로 각각 구분하여 각 그룹 당 2명의 피험자(총 6명, 남성 5명, 여성 1명)로 변경하였다. 운전경력의 구분기준은 『도로교통법』에서 제시하는 초보운전자 기준(실 운전경력 1년 미만)을 근거로 1년 미만의 운전경력 보유자는 초급으로, 1년 이상 5년 미만을 중급, 5년 이상을 상급으로 구분하였다.

3차 사전실험 후, 측정된 피험자의 주행특성 자료, 분석결과는 이론과 상식에 근거하여 이상치가 관측되지 않았다. 그러나 운전자 학습효과 배제를 위한 실험방식의 변화는 Before-After 방식이나 After-Before 방식이나 큰 차이가 나타나지 않았다.

3차례에 거친 사전실험을 수행하면서 가상주행실험 시, 피험자의 학습효과에 영향을 미치는 것으로 판단되는 피험자 특성(동일 피험자 유무, 피험자 수), 피험자 교육 유무, 피험자 주행방식, 학습효과 발생 여부를 Table 3에 제시하였다.

3차례의 사전실험 시, 매 실험에서 피험자 특성, 피험자 교육 유무, 피험자 주행방식에 변화를 주었음에도 학습효과가 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 매 실험을 수행할 때, 경고정보 제공 전의 보행자 발생지점과 경고정보 제공 후의 보행자 발생지점을 동일한 지점으로 설정하였기 때문에 일부 피험자에 의해 보행자 발생지점을 예측하고 경고정보가 제공되기 전에 미리 감속을 하는 행태가 나타났다.

따라서 가상주행실험 시, 피험자 특성, 피험자 교육 방법, 피험자 주행방식의 변화를 주는 것에 비해 가상 도로상에서의 시나리오 구현 지점을 임의로 배치하는 것이

Table 4. Experiment participants

| Age | Gender | Driving career |
|---------|----------|------------------|
| 20-29 | Male 4 | L: 1, M: 2, H: 1 |
| | Female 4 | L: 2, M: 2, H: 0 |
| 30-39 | Male 4 | L: 0, M: 1, H: 3 |
| | Female 4 | L: 1, M: 0, H: 3 |
| 40-49 | Male 4 | L: 0, M: 0, H: 4 |
| | Female 3 | L: 0, M: 0, H: 3 |
| over 50 | Male 2 | L: 0, M: 0, H: 2 |
| | Female 2 | L: 0, M: 0, H: 2 |

Note) Driving experience
 L: ≤ 1 year
 M: 1 year < Driving career ≤ 5 years
 H: > 5 years

상대적으로 피험자의 학습효과를 배제하기 위한 방안으로 판단된다.

최종실험을 위한 피험자 구성은 3차 사전실험과 동일한 수준에서 성별, 실 운전경력별, 연령대별로 Table 4와 같이 구성하였다. 연령대는 20대부터 50대까지 4개 그룹으로 분류하고 각 연령대 그룹 당 성별 비율을 5:5를 유지하도록 선정하였다. 그러나 피험자 구성에 있어 비용과 연령대, 성별에 대응하는 피험자 수급의 한계로 인해 50대 이상의 피험자의 경우 타 연령대에 비해 50% 감소한 4명의 피험자만을 대상으로 실험을 수행하였고, 40대 여성은 3명의 피험자만으로 실험을 수행하였다.

실험방식은 Before-After 방식을 유지하였다. 또한, 최종 실험에서는 객관적인 운전자 반응특성 자료 수집을 위해 각 피험자에 대하여 주행 전, 도로상의 제한속도(60km/h)를 준수할 것을 요구하는 것 외에는 어떠한 피험자 교육도 수행하지 않았다.

최종실험에서의 경고정보 제공방식은 3차 사전실험과 동일하게 3회 점멸형태로 매 1회당 1초간의 표출시간과 0.5초간의 이미지 전환시간으로 구현하였다.

가상도로환경 구성은 경춘선상의 덕소삼패IC부터 강일IC까지 6.03km 구간과 서울외곽순환선 강일IC부터 하행 1.5km 구간, 미사리와 하남시 일대의 도시부도로 4km를 선정하여 드라이빙 시뮬레이션 소프트웨어인UC-win/Road를 이용해 제작하였다. 또한 교통안전표지판, 도로표지, 주변 건물, 주변 식재 등의 도로환경은 UC-win/Road와 3dsMax 소프트웨어를 이용하여 제작하고 경고정보는 이미지 작업을 통해 제작하였다.

운전자 반응특성 자료수집은 보행자와 차량간의 상충시, 운전자가 취할 것으로 예측되는 행동을 크게 정지, 감속, 차선변경의 세 가지로 분류하여 가정하고 각각의

Table 5. Measures of effectiveness

| Driver's evasive maneuver | Measures of effectiveness |
|---------------------------|---------------------------|
| Stop | Number of brakings |
| Deceleration | Collision speed |
| Lane changing | LC duration |

행동특성을 평가하기 위한 지표를 Table 5와 같이 선정하여 측정하였다. 본 연구에서 각 평가지표의 정의는 다음과 같다.

- Number of brakings
 : 주행차량이 경고정보 제공지점을 통과한 후, 피험자가 감속을 위해 제동을 하고 주행차량의 브레이크가 최초 작동된 시점부터 보행자와 차량이 상충하는 지점까지 주행하는 동안 주행차량의 브레이크가 작동된 횟수의 합
- Collision speed
 : 보행자와 차량이 상충하는 시점을 기준으로 0.5초 이전 시점에서의 주행차량의 순간속도
- Lane changing Duration(LC duration)
 : 주행차량이 경고정보 제공지점을 통과한 후, 피험자가 차로변경을 실시하였을 때, 실험차량의 차로변경 시점부터 보행자-차량의 상충지점을 통과하기까지 소요되는 시간으로, 본 연구에서는 차로변경 소요시간이 길수록 운전자가 사전에 전방의 보행자 출현상황을 인지하고 그에 따른 회피행동을 더 빨리 수행한 것으로 판단하였음

각 피험자별 주행특성 자료는 초당 20-22개의 시간, 속도, 종방향가속도 등의 값이 임의시간 간격으로 기록된다. 따라서 시나리오별 피험자별 경고정보 제공유무에 따른 주행특성 평가지표의 변화를 비교분석하기 위해서는 프로그래밍을 통해 1초단위의 주행특성 값으로 단위를 맞추고 해당 보정값을 산출하는 자료가공 과정이 필요하다. 따라서 보정된 시간, 속도 등을 이용하여 운전자의 반응특성 분석을 위한 평가지표 값을 산출하였다. 그리고 통계적 검증법(t-검정)을 이용하여 경고정보 제공 전·후로 운전자 반응특성 평가지표의 변화를 제시하였다.

운전자 반응특성 평가를 위한 최적 지표는 교통안전 효과 평가방법론에 관한 선행연구 고찰 후, Oh C. et al.(2009)의 연구에서 제시한 차량의 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도 추정모형을 활용하기 위해 충돌속도로 선정하였고, 상해심각도 산출을 위해 필요한 또 다른 변수인 차량의 밑면과 지면까지의 높이는 선행연구와 동일

하게 0.3m로 가정하였다.

또한 본 연구에서는 Abele J. et al.(2005)의 연구 고찰에서 운전자가 전방의 돌발상황에 대해 회피행동이 불가능한 반응시간 일 때의 속도를 충돌속도로 정의하였으므로 각 피험자별 수집된 주행 자료에서 보행자와 차량이 충돌하는 지점에 도착하는 시점을 기준으로 0.5초 이전의 순간속도를 충돌속도로 산출하였다.

2. 교통안전효과 평가방법론

본 연구에서는 Oh C. et al.(2009)이 제시한 충돌속도에 따른 보행자 상해심각도 추정모형을 이용하여 경고정보 제공유무에 따라 충돌속도의 변화에 대한 보행자의 상해심각도 감소효과를 비교하여 차내 보행자 경고정보 시스템의 교통안전효과를 평가하고자 한다. 모형적용을 위해 충돌속도는 보행자와 차량간의 상충(충돌)이 발생하기 0.5초 직전의 속도로 정의하고 시뮬레이션 차량과 지면간의 높이를 0.3m로 가정하였다. 충돌속도를 이용해 보행자의 상해심각도(경상, 중상, 사망확률)를 추정하는 방법은 다음과 같다.(Oh C. et al.(2009))

$$P_{(i)}(Slight\ Injury|X) = \frac{\exp^{[6.794 - 0.166v_i - 7.575l_2]}}{1 + \exp^{[6.794 - 0.166v_i - 7.575l_2]}}$$

$$P_{(i)}(Severe\ Injury|X) = \frac{\exp^{[11.341 - 0.166v_i - 7.575l_2]}}{1 + \exp^{[11.341 - 0.166v_i - 7.575l_2]}} - \frac{\exp^{[6.794 - 0.166v_i - 7.575l_2]}}{1 + \exp^{[6.794 - 0.166v_i - 7.575l_2]}}$$

$$P_{(i)}(Fatal|X) = 1 - P_{(i)}(Severe\ Injury|X) - P_{(i)}(Slight\ Injury|X)$$

여기서,

i : 사고유형(시나리오)

v_i : 충돌속도(km/h)

l_2 : 지면으로부터 차량의 밑면까지의 높이(m)

산출된 보행자 상해심각도를 이용하여 경고정보 제공유무에 따라 확률의 증감을 산출하여 교통안전효과를 평가하였다. 계산과정은 다음과 같다.

$$eff_{total(i,j)} = 1 - \frac{P_{w(i,j)}}{P_{wo(i,j)}}$$

$$\Delta NF_{(i)} = NF_{Warning(i)}^{No} \times eff_{total(i,j)}$$

여기서,

i : 사고유형(시나리오)

j : 상해심각도(보행자 사망)

$eff_{total(i,j)}$: 교통안전효과

$P_{w(i,j)}$: 경고정보 제공시 상해심각도

$P_{wo(i,j)}$: 경고정보 미 제공시 상해심각도

$\Delta NF_{(i)}$: 시스템에 의한 사고유형별 보행자 사망자수 감소 효과

$NF_{Warning(i)}^{No}$: 시스템 도입 전, 사고유형별 보행자 사망자수

또한, 본 연구에서는 경고정보 유무에 따른 보행자 상해심각도(사망)의 변화를 교통안전효과로 하여 실제 '차대사람'사고의 보행자 사망자수(도로교통공단 교통사고통계분석시스템상의 2012년 기준 자료 활용)에 적용한 결과를 제시하였다. 보행자 사망확률의 감소는 기준년도의 사고유형별 보행자 사망자수 감소를 의미한다.

운전자 반응특성 평가지표 선정 및 교통안전효과 평가방법론 적용결과를 분석결과에 제시하였다.

분석결과

시나리오별 경고정보 제공 전·후의 충돌속도 측정결과를 Table 6에, 운전자 반응특성 평가지표 분석결과를 Table 7, Table 8에 제시하였다.

또한, 시나리오별 경고정보 제공 전·후로 충돌속도를 포함한 운전자 반응특성 평가지표 분석결과를 위험운전자와 일반운전자로 구분하여 제시하였다.

본 연구에서 위험운전자와 일반운전자의 구분 기준은 경고정보를 제공할 때의 충돌속도를 기준으로 하되, 충

Table 6. Statistics of collision speed by scenarios

| (Unit: km/h) | | | | |
|--------------|---------|---------|-------|------|
| Class | Warning | Average | Std. | CV |
| Scenario 1 | Without | 38.92 | 23.65 | 0.61 |
| | With | 28.95 | 21.77 | 0.75 |
| Scenario 1* | Without | 79.49 | 6.49 | 0.08 |
| | With | 36.47 | 32.80 | 0.90 |
| Scenario 2 | Without | 57.74 | 18.54 | 0.32 |
| | With | 38.76 | 14.62 | 0.38 |
| Scenario 2* | Without | 78.79 | 8.37 | 0.11 |
| | With | 59.43 | 19.50 | 0.33 |

Note) * : Aggressive driver

No color : Non-aggressive driver

CV : Coefficient of variation

Table 7. Results of MOEs - Aggressive drivers

| Variable (Unit) | Group Statistics | | | | | T-test for Equality of Means | | | | |
|------------------------|------------------|----|-------|-----------|-----------------|------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------------------|
| | Warning | N | Mean | Std. Dev. | Std. Error Mean | t | df | ρ | Mean Difference | Std. Error Difference |
| Scenario 1 | | | | | | | | | | |
| # of brakings (times) | without | 10 | 0.10 | 0.32 | 0.10 | -4.38 | 10.01 | 0.00 | -1.90 | 0.43 |
| | with | 10 | 2.00 | 1.33 | 0.42 | | | | | |
| LC duration (sec) | without | 10 | 0.28 | 0.89 | 0.28 | -0.96 | 18.00 | 0.35 | -1.88 | 1.95 |
| | with | 10 | 2.16 | 6.12 | 1.93 | | | | | |
| Collision speed (km/h) | without | 10 | 79.49 | 6.49 | 2.05 | 4.07 | 9.70 | 0.00 | 43.01 | 10.57 |
| | with | 10 | 36.47 | 32.80 | 10.37 | | | | | |
| Scenario 2 | | | | | | | | | | |
| # of brakings (times) | without | 10 | 0.20 | 0.42 | 0.13 | -3.18 | 18.00 | 0.01 | -0.60 | 0.19 |
| | with | 10 | 0.80 | 0.42 | 0.13 | | | | | |
| LC duration (sec) | without | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - | - | - | - |
| | with | 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - | - | - | - |
| Collision speed (km/h) | without | 10 | 78.79 | 8.37 | 2.65 | 2.89 | 18.00 | 0.01 | 19.36 | 6.71 |
| | with | 10 | 59.43 | 19.50 | 6.17 | | | | | |

Table 8. Results of MOEs - Non - Aggressive drivers

| Variable (Unit) | Group Statistics | | | | | T-test for Equality of Means | | | | |
|------------------------|------------------|----|-------|-----------|-----------------|------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------------------|
| | Warning | N | Mean | Std. Dev. | Std. Error Mean | t | df | ρ | Mean Difference | Std. Error Difference |
| Scenario 1 | | | | | | | | | | |
| # of brakings (times) | without | 17 | 1.29 | 1.05 | 0.25 | -1.38 | 32.00 | 0.18 | -0.53 | 0.38 |
| | with | 17 | 1.82 | 1.19 | 0.29 | | | | | |
| LC duration (sec) | without | 17 | 2.10 | 6.37 | 1.55 | 0.15 | 32.00 | 0.88 | 0.34 | 2.23 |
| | with | 17 | 1.77 | 6.62 | 1.61 | | | | | |
| Collision speed (km/h) | without | 17 | 38.92 | 23.65 | 5.74 | 1.28 | 32.00 | 0.21 | 9.97 | 7.80 |
| | with | 17 | 28.95 | 21.77 | 5.28 | | | | | |
| Scenario 2 | | | | | | | | | | |
| # of brakings (times) | without | 17 | 0.53 | 0.62 | 0.15 | -2.22 | 31.99 | 0.03 | -0.47 | 0.21 |
| | with | 17 | 1.00 | 0.61 | 0.15 | | | | | |
| LC duration (sec) | without | 17 | 0.43 | 0.92 | 0.22 | 1.00 | 32.00 | 0.33 | 0.26 | 0.26 |
| | with | 17 | 0.18 | 0.53 | 0.13 | | | | | |
| Collision speed (km/h) | without | 17 | 57.74 | 18.54 | 4.50 | 3.32 | 32.00 | 0.00 | 18.98 | 5.73 |
| | with | 17 | 38.76 | 14.62 | 3.55 | | | | | |

돌속도가 제한속도에서 10km/h를 더한 속도, 즉 70km/h이상일 경우 과속으로 인한 위험운전자로, 미만일 경우 일반 운전자로 구분하는 것을 가정하고 운전자 그룹별 결과를 산출하였다. 산출결과, Table 6에 제시된 바와 같이 시나리오 1, 2에 대해 보행자 상해심각도와 관계된 충돌속도의 평균이 일반운전자보다 위험운전자 그룹이 더 높고, 사고개연성과 관계된 충돌속도의 표준편차가 위험운전자 그룹이 더 큰 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 가정한 충돌속도 기반의 위험운전자 및 일반운전자 그룹 구분기준은 합리적인 것으로 판단된다.

Table 6에서와 같이 경고정보 제공 전·후로 시나리오별 위험운전자, 일반운전자 모두 충돌속도가 경고정보

를 제공할 때가 제공하지 않을 때보다 낮게 나타났다. 운전자가 경고정보를 통해 사전에 전방의 보행자의 존재를 인지하고 감속, 정지 또는 회피 등의 행동을 하기 위해 주행속도를 낮춘 것이라 판단된다. 또한 충돌속도의 평균을 비교하면, 시나리오 1에서 일반운전자 그룹의 충돌속도는 평균적으로 경고정보 제공하기 전 38.92km/h에서 28.95km/h로 26% 감소한 반면, 위험운전자 그룹은 79.49km/h에서 36.47km/h로 54% 감소했다.

시나리오 2에서 일반운전자 그룹의 충돌속도는 평균적으로 경고정보 제공하기 전 57.74km/h에서 38.76km/h로 33% 감소한 반면, 위험운전자 그룹은 78.79km/h에서 59.43km/h로 25% 감소했다. 시나리오 1(Mid-block 내 무단횡단)의 경우, 일반운전자 그룹은 경고정보 제공

전·후로 충돌속도가 높지 않아 안전한 주행패턴을 보이는 것으로 판단된다. 그러나 위험운전자 그룹은 경고정보 제공 전 충돌속도가 일반운전자 그룹에 비해 2배가 높아 동일하게 경고정보를 제공받았을 때 급감속의 주행패턴을 보이는 것으로 판단된다.

반면, 시나리오 2(길가장자리구역 통행 중)에서는 경고정보 제공 전·후로 시나리오 1과 달리 일반운전자 그룹의 충돌속도 감소폭이 더 크다. 이는 위험운전자보다 안전한 주행패턴을 보이는 일반운전자 그룹이 경고정보를 제공받고, 감속을 통해 보행자와의 충돌을 안전하게 회피하려는 행태에서 유도된 결과라고 판단된다.

Table 7에서 시나리오 1의 경우, 위험운전자 그룹의 제동횟수, 충돌속도는 경고정보 제공 전·후로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 경고정보 제공 전·후로 제동횟수는 0.1회에서 2회로 증가, 충돌속도는 79.49km/h에서 36.47km/h로 감소하였고, 충돌속도에 따른 보행자 사망확률은 98%에서 5%로 95% 감소하는 것으로 나타났다.

또한 시나리오 2에서도 위험운전자 그룹의 제동횟수, 충돌속도는 경고정보 제공 전·후로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 경고정보 제공 전·후로 제동횟수는 0.2회에서 0.8회로 증가하여 시나리오 1에 비해 상대적으로 증가폭이 작게 나타났고, 충돌속도는 78.79km/h에서 59.43km/h로 감소하였으며, 충돌속도에 따른 보행자 사망확률은 98%에서 69%로 30% 감소하는 것으로 나타났다. 차로변경 시간은 10명의 위험운전자 모두 경고정보 제공 전·후로 차로변경을 하지 않아 통계적 유의성 판단결과가 산출되지 않았다.

위험운전자 그룹은 시나리오 1, 2에서 각각 제동횟수는 증가하고 충돌속도는 감소하여 경고정보 제공으로 인해 보행자 사망확률을 낮추는 것으로 나타났으나, 시나리오 1이 시나리오 2에 비해 경고정보 제공효과가 더 큰 것으로 나타났다.

Table 8에서 시나리오 1의 경우, 일반운전자 그룹의 제동횟수, 차로변경 소요시간, 충돌속도는 경고정보 제공 전·후로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 경고정보 제공 전·후로 제동횟수는 1.3회에서 1.8회로 증가, 충돌속도는 38.92km/h에서 28.95km/h로 감소하였고, 충돌속도에 따른 보행자 사망확률은 7%에서 1%로 80% 감소하는 것으로 나타났다. 시나리오 1에서 일반운전자는 경고정보 제공 전·후로 제동횟수, 충돌속

도가 각각 소폭 증가하고 감소하였으나 위험운전자에 비해 경고정보 제공 전의 충돌속도가 약 1/2배 낮은 것으로 보아, 안전한 주행행태로 인해 경고정보 제공효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

시나리오 2에서 일반운전자 그룹의 제동횟수, 충돌속도는 경고정보 제공 전·후로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 차로변경 시간은 경고정보 제공 유무에 따라 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 경고정보 제공 전·후로 제동횟수는 0.5회에서 1회로 증가하여 시나리오 1에 비해 상대적으로 증가폭이 작게 나타났고, 충돌속도는 57.74km/h에서 38.76km/h로 감소하였으며, 충돌속도에 따른 보행자 사망확률은 63%에서 7%로 89% 감소하는 것으로 나타났다. 위험운전자 그룹과 달리 일반운전자 그룹은 경고정보 제공에 따른 효과가 보행자가 길가장자리 구역을 통행 중일 때 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 위험운전자와 일반운전자 그룹간의 주행행태 차이로 판단되며 소폭 감속하여 주행하는 위험운전자 그룹과 달리, 감속 또는 차로변경을 하여 보행자를 안전하게 회피하려는 일반운전자 그룹의 주행행태에서 기인한 결과로 판단된다.

시나리오 1에서 경고정보 제공 후, 일반운전자 그룹의 충돌속도에 따른 보행자 사망확률은 다음과 같이 산출하였으며, 경고정보 제공 전의 충돌속도에 따른 보행자 사망확률 계산과정도 동일하다.

$$P_{(i)}(Slight\ Injury|X) = \frac{\exp^{[6.794 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}}{1 + \exp^{[6.794 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}} = 0.13$$

$$P_{(i)}(Severe\ Injury|X) = \frac{\exp^{[11.341 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}}{1 + \exp^{[11.341 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}} - \frac{\exp^{[6.794 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}}{1 + \exp^{[6.794 - (0.166 \times 38.76) - (7.575 \times 0.3)]}} = 0.80$$

$$P_{(i)}(Fatal|X) = 1 - P_{(i)}(Severe\ Injury|X) - P_{(i)}(Slight\ Injury|X) = 0.07$$

여기서,
 i : 사고유형(시나리오), v_i : 충돌속도(km/h)
 l_2 : 지면으로부터 차량의 밑면까지의 높이(m)

또한 충돌속도 감소에 따른 보행자 사망확률 감소, 즉 교통안전효과는 아래의 식에 의해 계산되었다.

$$\begin{aligned}
 eff_{total(i,j)} &= 1 - \frac{P_{w(i,j)}}{P_{wo(i,j)}} \\
 &= 1 - \frac{0.07}{0.63} = 0.89
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta NF_{(i)} &= NF_{Warning(i)}^{No} \times eff_{total(i,j)} \\
 &= 94 \times 0.89 = 84
 \end{aligned}$$

여기서,

i : 사고유형(시나리오), j : 상해심각도(보행자 사망)

$eff_{total(i,j)}$: 교통안전효과

$P_{w(i,j)}$: 경고정보 제공시 상해심각도

$P_{wo(i,j)}$: 경고정보 미 제공시 상해심각도

$\Delta NF_{(i)}$: 시스템에 의한 사고유형별 보행자 사망자수 감소 효과

$NF_{Warning(i)}^{No}$: 시스템 도입 전, 사고유형별 보행자 사망자수

본 연구의 분석결과를 종합하여 볼 때, 차내 보행자 경고정보시스템의 도입은 Mid-block내 횡단보도상의 무단 횡단, 길가장자리구역의 보행자 횡단 시, 운전자가 전방의 보행자를 인지하지 못하거나 인지하는 시간이 늦어질 가능성이 있는 상황에서 경고정보를 제공함으로써 운전자로 하여금 사전에 제동 또는 감속, 차로변경 등의 회피 행동을 유도하여 충돌속도를 낮출 수 있는 것으로 판단된다. 또한, 위험운전자 그룹이 일반운전자 그룹에 비해 경고정보 제공에 따른 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

이러한 충돌속도의 감소는 보행자 사망확률을 시나리오 1, 2에서 위험운전자 그룹은 95%, 30% 감소, 일반운전자 그룹은 80%, 89% 감소시키는 것으로 도출되었다.

또한 산출된 교통안전효과(Table 9)를 2012년 기준의 보행자 횡단유형에 따른 보행자 사망자수에 적용

한 결과, 위험운전자 그룹에서는 983명, 일반운전자 그룹에서는 884명의 보행자 사망자수 감소효과가 나타났다.

따라서 경고정보제공시스템은 상대적으로 안전한 주행태를 보이는 일반운전자보다는 과속운전 등의 위험 운전자에게 더 효과적인 것으로 판단된다.

결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 보행자-차량 충돌 예방을 위한 차내 경고정보시스템의 교통안전효과 평가 방법론을 개발하고자 하였다. 선행연구 고찰을 통해 최적의 경고정보 콘텐츠를 설계하고 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 운전자 반응특성 자료를 수집하였다. 또한, 보행자와 차량간의 상충 시 운전자로 하여금 기대되는 행동특성(정지, 감속, 차선변경)에 대한 평가지표를 산출하여 경고정보 제공유무에 따라 비교하고 경고정보 제공 전·후의 충돌속도를 이용하여 보행자 상해심각도 확률을 산출하였다. 그리고 상해심각도 확률 값의 변화를 이용해 교통안전효과를 산출하여 제시하였다.

분석결과, 운전자가 전방의 보행자를 인지하지 못하거나 인지하는 시간이 지체될 수 있는 상황에서 차내 보행자 경고정보 제공시스템은 충돌속도를 낮추어 보행자 사망확률을 감소시키는 것으로 나타났다. 보행자 사망확률은 시나리오 1, 2에서 위험운전자 그룹에 대해 95%, 30% 감소, 일반운전자 그룹은 80%, 89% 감소하는 것으로 도출되었다.

또한 산출된 교통안전효과를 2012년 기준의 보행자 횡단유형에 따른 보행자 사망자수에 적용한 결과, 위험운전자 그룹에서 983명, 일반운전자 그룹에서 884명의 보행자 사망자수 감소효과가 나타났다. 이와 같은 결과

Table 9. Safety benefits(Reduced number of pedestrian fatalities)

| Class (Unit) | Scenario 1 | | Scenario 2 | |
|---|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| | Aggressive drivers | Non-aggressive drivers | Aggressive drivers | Non-aggressive drivers |
| Fatal without warning, $NF_{Warning(i)}^{No}$ (Persons) | 1,003 | | 94 | |
| Safety benefits with warning, $eff_{total(i,j)}$ (%) | 95.25% | 79.77% | 29.82% | 89.31% |
| System Assessment with warning, $\Delta NF_{(i)}$ (Persons) | ▽955 | ▽800 | ▽28 | ▽84 |

Note) ▽: Reduction of pedestrian death

Reference: Traffic accident statistics, Road Traffic Authority and Driver's License Management Agency, 2012

는 경고정보제공시스템이 과속운전 등의 위험운전자에게 더 효과적인 것으로 판단된다.

본 연구의 한계 및 향후 연구과제는 첫째, 가상주행시험 시, 운전자의 학습 효과 최소화를 위해 3차에 걸친 사전실험을 통해 실험방식에 변화를 주었으나 최종 실험에서 일부 피험자에 대해 학습 효과로 인해 경고정보가 제공되지 않았음에도 불구하고 전방의 상황을 예측하여 미리 감속행동을 하는 것이 관측되었다. 이는 가상도로환경 및 시나리오 구현 시, 동일한 도로상에서 경고정보 제공유무에만 차이를 두었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 향후 운전자의 학습 효과를 최소화하기 위해서는 가상도로환경 및 시나리오 구현 시, 동일한 가상도로 지점이 아닌 임의의 가상도로 지점 및 상황, 이에 해당하는 시나리오를 적정 지점에 구현함으로써 피험자가 전방의 상황을 예측하지 못하게 하여 운전자 학습 효과를 배제하려는 시도가 요구된다.

둘째, 본 연구에서는 교통안전효과 평가 시, 선행연구에서 제시한 충돌속도, 차량과 지면간의 높이를 이용해 보행자 상해심각도를 산출함에 있어 충돌속도는 선행연구 결과를 이용하여 정의하고, 차량과 지면간의 높이는 선행연구에서 제시한 높이를 인용하여 가정하였다. 따라서 향후 차종에 따른 차량과 지면간의 높이를 적용하여 차종 구분에 따라 차내 보행자 충돌 경고정보시스템의 효과를 제시하려는 시도가 요구된다.

셋째, 위험운전자와 일반운전자를 개별 피험자의 충돌속도를 기준으로 제한속도(60km/h)에서 10km/h를 초과한 운전자를 위험운전자로, 미만의 운전자를 일반운전자로 분류하였는데, 향후 운전자 그룹 구분기준에 대한 추가 연구가 요구된다.

넷째, 보행자 사망자수 감소효과 산출 시, 보행자 사망자 수에 대한 인용 자료에서 운전자의 성향에 따른 '차대사람'사고의 구분이 되어 있지 않아 운전자 그룹간에 동일한 보행자 사망자수를 적용하였다. 따라서 향후 운전자 성향에 따른 '차대사람'사고의 보행자 사망자 수를 구분하여 운전자 그룹에 따른 교통안전효과를 제시하려는 시도가 요구된다.

본 연구에서 개발한 경고정보시스템의 교통안전 효과 평가 방법론은 향후 보행자-차량 간의 사고예방을 위한 기술 또는 시스템의 교통안전효과를 평가할 때, 운전자의 반응특성을 반영한 평가지표 선정 및 교통안전효과를 산출하고 평가하는 방법론으로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP)(NRF-2010-0029449).

REFERENCES

- Abele J., Kerlen C., Krueger S. (2005), Exploratory Study on the Potential Socio-economic Impact of the Introduction of Intelligent Safety Systems in Road Vehicles, Socio Economic impact Intelligent Safety Systems.
- Chang S. H., Lin C. H., Hsu C. C., Fung C. P., Hwang J. R. (2009), The Effect of Collision Warning System on the Driving Performance of Young Drivers at Intersections, Trnsport Research Part F 12, Transportation Research Record, 371-380.
- Hiroshi M., Katsuya M. (2008), Differences of Driver's Reaction Times According to Age and Mental Workload, Accident Analysis and Prevention 40, 567-575.
- Kim J. H., Oh C., Oh J. T. (2009), A Methodology for Providing More Reliable Traffic Safety Warning Information based on Positive Guidance Techniques, J. Korean Soc. Transp., 27(2), Korean Society of Transportation, 207-214.
- Merat N., Anttila V., Luoma J. (2005), Comparing the Driving Performance of Average and Older Drivers: The Effect of Surrogate In-vehicle Information Systems, Transportation Research Part F 8, 147-166.
- Oh C., Kang Y. S., Youn Y. (2009), Evaluation of a Brake Assistance System(BAS) Using an injury severity prediction model for pedestrians, International Journal of Automotive Technology, 10(5), 577-582.
- Song T. J., Oh C., Oh J. T. (2009), Analysis of User Preference for Designing Real-Time Warning Information, J. Korean Soc. Transp., 27(4), Korean Society of Transportation, 7-16.

Song T. J., Oh C., Oh J. T., Lee C. W. (2009), Effects of In-vehicle Warning Information on Drivers' Responsive Behavior, J. Korean Soc. Transp., 27(5), Korean Society of Transportation, 63-74.

The Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009), A Guideline for Highway Geometry Design and Facilities (도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙), Republic of Korea(South), 287-300.

✉ 주 작성자 : 장지용

✉ 교신저자 : 오철

✉ 논문투고일 : 2013. 9. 9

✉ 논문심사일 : 2013. 10. 22 (1차)
2014. 3. 3 (2차)

✉ 심사판정일 : 2014. 3. 3

✉ 반론접수기한 : 2014. 8. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필