

■ 論 文 ■

첨단안전차량 효과분석

(보행자보호를 위한 Active Hood Lift System (AHLS)을 중심으로)
Assessing the Safety Benefit of an Advanced Vehicular Technology for Protecting Pedestrian
(Focused on Active Hood Lift System (AHLS))

오 철

(한양대학교 교통시스템공학과 전임강사)

강 연 수

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실 연구위원)

김 범 일

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실 연구원)

김 원 규

(한국항공대학교 항공교통물류학부 교수)

목 차

- | | |
|---------------------|--------|
| I. 서론 | IV. 적용 |
| II. 보행자 보호를 위한 AHLS | V. 결론 |
| III. 방법론 | 참고문헌 |

Key Words : 첨단안전차량, 보행자 안전, Active Hood Lift System, 보행자 사망모형, 효과분석

요 약

본 연구에서는 첨단안전차량기술 중 보행자 보호를 위한 차량기술의 적용에 따른 교통안전 측면의 효과를 계량화 하는 방법론을 개발하였다. 보행자 보호를 위한 Active Hood Lift System (AHLS)의 도입으로 인해 감소하게 될 보행자 사망자수를 계량화하여 교통안전효과를 분석하였다. 이를 위해 실제 보행자-차량 충돌사고 자료와 시뮬레이션 자료를 이용하여 모형을 구축하고 모형의 결과를 통계적으로 분석하는 일련의 절차를 수행하였다. 본 연구에서 개발한 방법론 및 연구 결과는 향후 다양한 첨단차량기술의 효과분석을 위한 참고자료로 유용하게 사용될 것으로 기대된다. 나아가, 본 연구의 결과물은 보행자 보호를 위한 교통안전정책 수립을 위한 의사결정을 지원하는 기초 자료로도 활용될 수 있어 그 의미가 크다.

This study develops a methodology on how to assess the traffic safety benefit of advanced vehicular technology for protecting pedestrian in pedestrian-vehicle collision. Safety benefit is defined here as the reduction of pedestrian fatality by employing advanced vehicular technology. As an application of the proposed methodology, the safety benefit of active hood lift system (AHLS) is assessed. Both actual accident data analysis and simulation experiment are conducted to establish statistical models that are used for estimating the reduction of pedestrian fatality. It is believed that the developed methodology and outcomes would be greatly useful in developing various advanced vehicular technologies and establishing more effective traffic safety policies.

1. 서론

『국가 ITS 기본계획』에서 제시하고 있는 7대 ITS 사용자 서비스 중 차량·도로 첨단화 서비스는 차량과 도로의 첨단화를 통해 교통안전 및 차량운전자 편의를 증진하고, 도로이용효율을 증대하는 서비스 분야로 안전운전지원 및 자동운전지원의 2개 서비스와 14개 단위 서비스로 구성되어 있다¹⁾. 첨단안전차량기술은 보다 효과적이고 실효성 있는 사용자 서비스 실현을 위한 핵심기술로서, 충돌예방 및 교통사고 심각도 감소를 위한 기술의 전개 대상에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 차량을 위한 기술로서 전방차량충돌경고장치, 전방충돌회피지원장치 등이 이에 포함된다. 둘째는 보행자를 위한 기술로서 Active Hood Lift System (AHLS), 외장형 air-bag 등이 좋은 예가 될 수 있다.

2003년 국내 교통사고 사망자 중 보행자-차량 충돌로 인한 사망사고는 전체의 약 40%를 차지하여, OECD 국가 중 보행자 사망 비율이 가장 높게 나타났다²⁾. 따라서 국가 경쟁력 향상 및 사회적 손실을 위해 보행자 보호를 위한 대응책(countermeasures) 마련이 절실하다고 할 수 있다. 아울러 보행자 사망원인의 60%는 보행자 머리 손상에 기인한 것으로 나타나, 보행자-차량 충돌사고 시 보행자 머리를 보호할 수 있는 기술 대안이 준비된다면 그 효과는 대단히 클 것으로 기대된다.

전술한(mentioned) 바와 같이 보행자 머리 상해로 인한 사망 사고의 피해를 고려할 때, 보행자의 머리를 보호하는 차량기술의 필요성은 대단히 높다고 할 수 있다. 이를 반영하여, 건설교통부는 『국가교통핵심기술개발사업』의 일환으로 '보행자 친화적 첨단안전차량 개발' 과제를 2003년도부터 한국교통연구원의 총괄 주관 하에 수행토록 하고 있다. 보행자 안전 제고를 위한 다양한 차량기술 및 안전기준의 개발이 산·학·연 협동연구를 통해 수행되고 있다.

본 연구는 첨단안전차량기술 중 보행자 보호를 위한 차량기술 분야에 대한 연구를 수행하는 것으로서, AHLS의 적용에 따른 교통안전 측면의 효과를 계량화하는 방법론을 개발하고 실제 자료를 이용하여 적용 예를 제시하는 것이 목적이다.

본 연구에서는 사망자 수의 감소분을 AHLS 적용에 따른 교통안전측면의 효과로서 정의하였다. 효과를 계량화하기 위하여 실제 보행자-차량 충돌사고자료의 수

집 및 분석과 다양한 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 이론적으로는 실제 사고 자료를 활용하여 방법론을 정립하고 예를 제시하는 것이 가장 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 현재의 교통사고 자료 수집 및 관리체계 하에서는 본 연구의 목적에 부합하는 분석을 수행하는데 한계가 있어, 실제 교통사고와 함께 교통사고 분석 및 차량 개발 등에 주로 사용되는 시뮬레이션 기법을 병행 적용하여 이를 보완하였다.

보행자 특성, 차량특성, 도로환경 특성이 포함된 개별 보행자-차량 충돌사고 자료를 수집하여 효과분석 방법론 정립을 위한 통계모형 개발에 활용하였다. 방법론 정립을 위한 시뮬레이션 실험은 실제 교통사고 자료의 분석만으로는 취득이 불가능한 자료 및 모형을 구축하기 위하여 수행되었다. 두 가지 시뮬레이션 모형이 본 연구에서 사용되었다. 첫째는 AHLS를 적용한 경우에 관측되는 머리상해의 변화를 정밀하게 관측하기 위한 유한요소법(FEM, Finite Element Method) 기반의 LS-Dyna3d 시뮬레이션 실험이다. 또 다른 하나는 다양한 차종과 보행자의 충돌사고 시 충돌속도에 따른 머리상해정도(HIC, Head Injury Criterion)의 변화를 나타내는 통계모형 구축을 위한 Madymo 시뮬레이션이다. 이러한 실제 사고 자료와 시뮬레이션을 통해 효과분석을 위한 새로운 방법론을 개발하고, 이를 바탕으로 AHLS 도입에 따른 효과를 계량화하여 제시하였다.

본 연구에서 개발한 방법론 및 연구 결과는 향후 다양한 첨단차량기술의 효과분석을 위한 참고자료로 유용하게 사용될 것으로 기대된다. 나아가, 본 연구의 결과물은 보행자 보호를 위한 교통안전정책 수립을 위한 의사결정 지원하는 기초 자료로도 활용될 수 있어 그 의미가 크다.

논문의 구성은 다음과 같다. AHLS의 기능, 관련 요소기술에 대한 개략적인 소개 내용을 2장에, 본 연구에서 제안한 방법론과 방법론의 적용을 위한 자료 분석 및 모형개발을 각각 3장과 4장에 제시하였다. 마지막으로 연구결과에 관한 논의 및 향후 연구 과제를 5장에 제시하는 것으로 논문을 마무리하였다.

II. 보행자 보호를 위한 AHLS

보행자 보호를 위한 첨단차량기술의 개발을 위해 가장 먼저 선행되어야 할 과제는 보행자와 차량의 충돌 시 보행자가 어떠한 거동을 나타내며, 이에 따라 어느

정도의 상해를 입게 되는지 분석하는 것이다. 일반적으로 이러한 분석을 보행자의 거동해석이라고 한다. 신뢰성 있는 보행자의 거동해석 결과는 차량기술 개발 시스템 개발 전략 및 요구사항 정립을 위한 기초 자료로 사용된다. 국내의 선행연구에 의하면 일반적으로 30~40km/h의 충돌속도로 보행자와 차량의 충돌사고 발생 시 보행자의 머리가 차량의 후드(hood)에 강하게 충격되는 것으로 보고하고 있다(〈그림 1〉 참조).



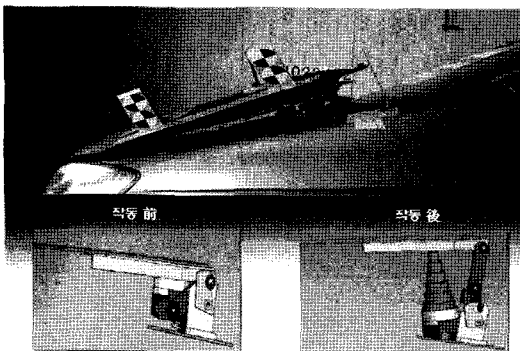
〈그림 1〉 보행자 머리충격 예

보행자 머리가 차량의 후드에 충격이 가해질 때, 머리의 상해정도는 HIC(Head Injury Criterion)로서 식(1)과 같이 계량화되어진다.

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

여기에서 a는 머리에 가해지는 중력가속도의 배수로 표시되는 합성가속도이고, t₁, t₂는 충격 중 15msec이하의 간격을 갖는 임의의 순간을 의미 한다^(3,4).

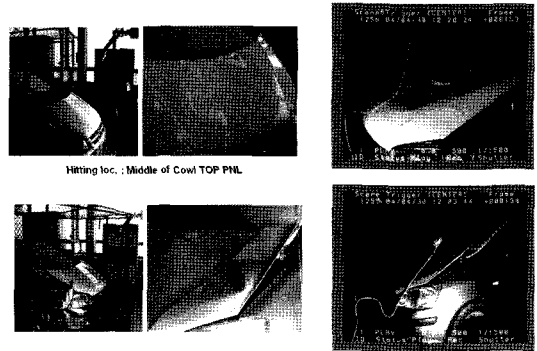
AHLS는 보행자의 머리가 후드에 충격하기 전에 작동하여 차량의 후드를 들어 올려 공간을 확보하고 충격을 흡수하는 첨단차량기술로서, 보행자 검지 모듈, 힌지 및 actuator 모듈, ECU 및 알고리즘 모듈 등으로 구성된다. 공간을 확보하게 되면 후드 아래의 엔진, 배터리 등과 같은 강성 구조물과의 충돌을 예방하거나 충돌에너



〈그림 2〉 AHL의 전개

지를 감소하는 기능을 수행한다. 〈그림 2〉는 AHL의 개발과정에서 시스템이 전개된 후의 상황을 나타낸 것이다.

AHLS의 개발을 위해서는 보행자 및 차량 등 충돌 당시의 다양한 시나리오를 반영한 충분한 사전실험이 수반되어야 한다. 이를 위해 보행자의 머리모형을 이용한 실험실 내 충돌실험이 수행된다. 〈그림 3〉은 머리모형을 이용한 충돌실험의 예를 제시한 것이다.

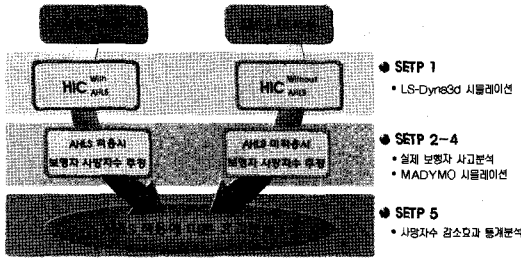


〈그림 3〉 머리모형 충돌실험 예

III. 방법론

본 연구에서는 AHL의 효과를 보행자 사망자수의 감소분으로 정의하였으므로, 효과분석을 위한 방법론의 핵심은 AHL의 도입에 따라 나타나게 될 전체 교통사고로 인한 보행자 사망자 중 보행자의 머리상해 감소로 인해 생존하게 될 사망자수, 즉 잠재적인 보행자 사망자수의 감소량을 추정하는 것이 된다. 이를 위해 보행자-차량 충돌사고 자료 및 시뮬레이션을 이용하여 국내에서 발생한 전체 교통사고 사망자수로부터 AHL로 인해 감소하게 될 사망자수를 산출하는 방법론을 개발하였다. AHL은 보행자와 차량의 충돌 시 보행자 머리에 대한 HIC 값을 감소시켜 주는 것이므로, 결국 HIC의 변화에 따른 사망자수의 변화가 AHL로 인한 효과가 된다. 아울러 HIC는 충돌속도에 직접적인 영향을 받게 되므로 전체 보행자 사망자 수에서 충돌속도와 HIC에 따른 사망자수를 추정하는 것이 방법론의 핵심이 된다. 본 연구에서 제안된 방법론을 도식화하면 〈그림 4〉와 같다.

본 연구에서는 실제 사고자료 분석의 한계를 극복하고자, LS-Dyna3d와 Madymo를 이용한 시뮬레이션 실험을 수행하여 방법론을 적용하였다. LS-Dyna3d의 경우 Madymo 보다 정확하고 자세한 자료를 얻을 수 있으나, 차량 모델링과 해석시간이 길어 연구기간과 예



〈그림 4〉 제안된 방법론에 의한 분석 절차

산의 한계로 많은 실험을 수행하는 것이 불가능하였다. 이를 극복하기 위해 머리의 충격이 가해지는 차량의 후드와 후드 아래의 강성구조물의 영향으로 인한 정확한 HIC 값은 LS-Dyna3d를 이용하여 산출하였다. 반면에 다양한 차종과의 충돌 시 보행자의 거동에 따른 HIC 값을 얻기 위한 비교적 거시적인 실험을 위해서는 Madymo를 이용하였음을 밝혀 둔다.

1) (Step1) AHLS 적용 시 보행자 머리에 대한 HIC의 변화 산출

AHLS를 적용한 경우와 AHLS를 적용하지 않은 경우에 대한 HIC 값 산출을 위해 LS-Dyna3d를 이용한 시뮬레이션을 수행한다. Ls-Dyna3d는 유한요소법(finite element analysis)에 기초하고 있다. 각 물체의 물성치, 즉 탄성계수, 밀도 같은 물성치를 데이터로 입력해야 한다. Ls-Dyna3d는 물체가 접촉했을 때 변형하는 모습을 표현할 수 있는 장점이 있어 자동차의 설계 및 각종 충돌에 의한 차량 구조물의 변화를 정밀 해석하는데 널리 사용되고 있다.

2) (Step2) 충돌속도(V_x)에 따른 보행자 사망($F_{보행자}$) 모형 개발: ($F_{보행자} = f(V_x)$)

HIC 값의 변화가 보행자 사망자수를 어떻게 변화시키는가를 계량적으로 분석할 수 있는 모형이 필요하다. 이 경우 실제 사고자료로는 HIC 값을 직접 얻을 수 없으므로 수집된 실제 교통사고 자료로부터 추출된 충돌속도 자료를 이용하여 충돌속도에 따른 보행자 사망 모형을 개발한다.

3) (Step3) 충돌속도에 따른 HIC모형 개발: ($HIC = g(V_x)$)

시뮬레이션 자료를 이용하여 충돌속도와 HIC의 관계 모형을 개발한다. 본 연구에서는 TNO Automotive에

서 제공하는 동역학 시뮬레이션 프로그램인 Madymo의 차량모델과 보행자 더미(dummy)모델을 사용하여 모의 실험을 수행한다. Madymo는 수학적 동적 모델로 다물체 동역학(multi-body dynamics)에 바탕을 두고 있다. 다물체 동역학을 이용하여 계산을 하므로 해석시간을 줄여 쉽게 보행자의 거동을 확인할 수 있다. 다만, 두 물체가 충돌했을 때 타원체는 변형이 안 되는 단점이 있어서 두 물체 사이 변형-접촉력 관계를 미리 데이터로 입력해줘야 하며, 이때 변형, 접촉력은 두 물체 사이 overlap 거리를 계산해서 입력된 변형-접촉력 관계로부터 계산된다.

4) (Step4) HIC에 따른 보행자 사망모형 개발:

$$(F_{보행자} = h(HIC))$$

Step3에서 개발한 모형을 이용하여 Step2에서 개발한 충돌속도에 따른 보행자 사망모형을 HIC에 따른 보행자 사망모형으로 전환한다.

5) (Step5) AHLS 적용에 따른 효과분석

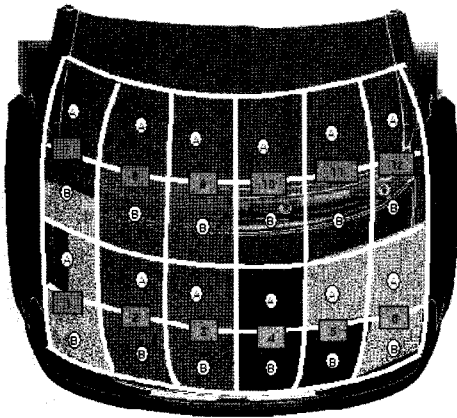
AHLS를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대한 보행자 사망자수를 추정하고, 추정된 사망자 수 감소분의 차이를 산출하여 AHLS에 대한 교통안전 측면의 효과를 분석한다.

IV. 적용

1) (Step1) AHLS 적용 시 보행자 머리에 대한 HIC의 변화 산출

방법론 적용을 위한 첫 번째 과제는 보행자-차량 충돌사고 시 보행자의 머리가 후드에 떨어지는 충격력에 의한 머리 상해정도(HIC)를 분석하는 것이다. 이를 위해 차량의 후드를 분할하고, 머리모형을 이용하여 AHLS를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대한 타격 시뮬레이션 실험을 LS-Dyna3d를 이용하여 수행하였다. 〈그림 5〉에 도시화한 바와 같이 후드를 12개 영역으로 분할하여 머리모형을 이용한 충격실험을 수행하였다. 시뮬레이션 및 관련 용어에 대한 보다 상세한 기술적인 설명은 참고문헌²⁾에서 얻을 수 있다.

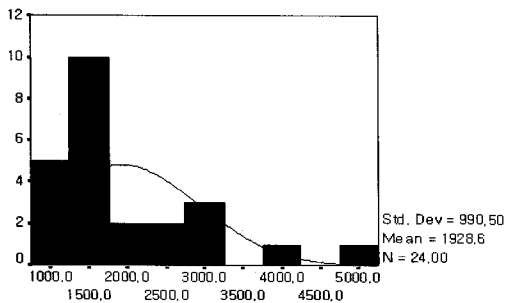
시뮬레이션을 통해 산출된 HIC값의 기술통계량을 〈표 1〉에, HIC 값의 분포를 〈그림 6〉에 각각 제시하



〈그림 5〉 HIC 분석을 위한 차량 후드의 분할

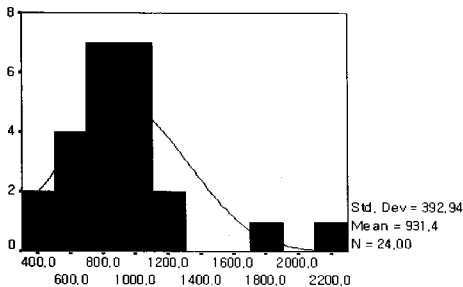
〈표 1〉 LS-Dyna3d 시뮬레이션 결과

	N	Min.	Max.	Mean	Std. Deviation
Without AHLS	24	910.0	4826.0	1928.6	990.5
With AHLS	24	323.0	2190.0	931.4	392.9



without AHLS

(a) AHLS 미적용시



with AHLS

(b) AHLS 적용시

〈그림 6〉 HIC 분포

었다. 후드의 충격위치에 따라 HIC 값이 다양하게 변화하였으며, AHLS를 적용한 경우 HIC 값의 감소가 현저하게 나타났다.

2) (Step2) 충돌속도(V_x)에 따른 보행자 사망

($F_{\text{보행자}}$) 모형 개발: ($F_{\text{보행자}} = f(V_x)$)

보행자 사망모형은 보행자-차량 충돌 시 충돌속도를 추정하고 이를 이용하여 보행자의 사망여부를 예측하는 통계모형을 의미한다. 충돌속도는 각각의 개별 사고 자료로부터 유추해 얻어지는데, 차량의 제동흔적, 보행자의 상해정도, 순차적인 보행자와 차량의 충돌위치 (1차 충돌: 다리-범퍼, 2차 충돌: 머리-후드 등), 목격자 및 운전자 조사 등을 실시한 후 사고재현을 통해 추정해야 한다. 보행자-차량 충돌사고 자료의 수집을 위해 국립 과학수사연구소와 한양대학교 사고분석센터의 사고분석 전문가에게 의뢰하여 본 연구에서 사용될 수 있는 신뢰성 있는 자료를 수집 하였다. 보행자-차량 충돌사고 자료는 2005년 7월 1일부터 2005년 2월 28일 까지 수집된 총 101 건의 수집된 자료로부터 사고 당시 차량의 충돌속도를 추정하였다.

본 연구에서는 전체 보행자 사망자수로부터 충돌속도에 따른 사망자수를 추정하기 위해 식(2)와 같이 보행자 사망자수 추정 문제를 정식화하였다. 전체 보행자 사망자수로부터 충돌속도에 따른 보행자의 사망자수를 추정하기 위해서는 우선 충돌속도(V_x)에 따른 보행자의 사망여부를 결정할 수 있는 확률모형($\Pr(F | V_x)$) 이 필요하다. 본 연구에서는 수집한 개별 보행자-차량 충돌사고 자료에서 추출한 충돌속도 자료를 독립변수로, 보행자의 사망여부를 종속변수로 하는 보행자 사망 확률모형을 로지스틱 회귀분석 기법을 적용하여 개발하였다. 아울러 식(2)의 T_p , R_H , R_{VT}^{AHLs} 는 2003년 국내 교통사고 통계자료⁵⁾에서 값을 도출하였다. 한편, 본 연구에서 수집한 보행자 사고 자료는 적절한 R_{V_m} 을 도출하기에는 샘플수가 부족한 것으로 판단되어, 미국, 일본, 독일, 영국, 호주 등에서 수집된 사고 자료를 분석한 값⁶⁾을 적용하였다.

$$PED_{fatal}^{est} = T_p \times R_H \times R_{VT}^{AHLs} \times R_{V_m} \times \Pr(F | V_x) \quad (2)$$

여기서,

PED_{fatal}^{est} : 충돌속도에 따른 보행자 사망자수

- T_p : 전체 보행자 사망자수(2,896)
- R_{HH} : 보행자 사망자 중 머리상해 비율
(0.713)
- R_{VT}^{AHLs} : 분석 대상 차량 비율(AHLS 장착 대상 차종, 승용차인 경우 0.705)
- R_{V_x} : 전체 보행자 충돌사고 중 충돌속도가 V_x 이하인 비율 (0.750)
- $P(F|V_x)$: 충돌속도가 V_x 일 경우 보행자 사망확률

보행자 사망 모형개발을 위해 범용 통계패키지인 SPSS를 사용하였으며, 모형개발 결과를 <표 2>에 정리하였다. 개발된 모형의 상수 및 변수의 계수는 통계적으로 유의하였으며, Chi-square 값 역시 47.526으로 나타나 충돌속도를 기반으로 한 보행자의 사망확률 모형은 주어진 자료를 잘 설명하는 것으로 분석되었다. 개발된 모형은 식(3)과 같다.

$$P(F|V_x) = \frac{1}{1 + \exp[-(-5.433 + 0.095 V_x)]} \quad (3)$$

<표 2> 로지스틱 회귀분석 결과

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

• Correct classification rate: 77.2%
 • -2 log likelihood: 84.045
 • Model Chi-square: 47.526
 • Nagellerke R-square: 0.515

3) (Step3) 충돌속도에 따른 HIC모형 개발: ($HIC = g(V_x)$)

TNO에서 제공하는 6세 어린이와 성인 보행자 모형을 이용하여 국내에서 양산 되는 6개 차종(승용차, 1box, 및 SUV 각 2종)에 대해 충돌속도를 10km/h에서 100km/h까지 10km/h 단위로 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

회귀분석 기법을 이용하여 충돌속도를 독립변수로 HIC를 종속변수로 하는 통계모형을 power 함수식과 지수 함수식을 적용하여 모형을 개발하였다. t 값, 유의수준, 결정계수 값들을 종합적으로 고려할 때, 식(4)에 제시한 지수함수식을 적용한 모형이 통계적으로 보다 유의한 것으로 나타났다. 회귀분석 결과를 <표 3>에 제

시하였다.

$$HIC = 15.107 \times e^{0.055 V_x} \quad (4)$$

<표 3> 회귀분석 결과

모형	b	t	Sig.	R_s	adj. R^2
Power모형 [$HIC = b_0 V_x^{b_1}$]	$b_1 = 2.284$	14.324	0.000	0.634	0.631
	$b_0 = 0.053$	1.618	0.108		
지수모형 [$HIC = b_0 \exp(b_1 V_x)$]	$b_1 = 0.055$	14.421	0.000	0.637	0.634
	$b_0 = 15.107$	4.192	0.000		

4) (Step4) HIC에 따른 보행자 사망모형 개발:

$$(F_{\text{보행자}} = h(HIC))$$

식(4)를 식(3)에 대입하여 식(5)와 같이 HIC에 따른 보행자 사망확률모형을 유도할 수 있다.

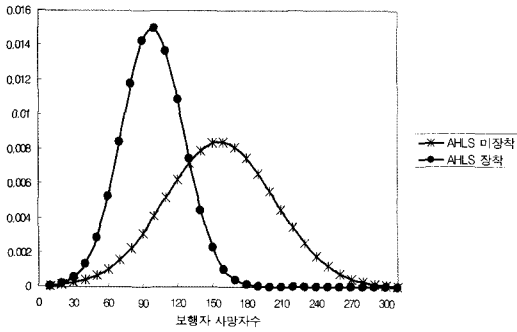
$$P(F|HIC) = \frac{1}{1 + \exp[5.433 - 1.727(\log(\frac{HIC}{15.107}))]} \quad (5)$$

5) (Step5) AHLS 적용에 따른 효과분석

Step1의 LS-Dyna3d 시뮬레이션을 통해 얻어진 HIC 값을 식(5)에 입력하여 HIC에 따른 보행자 사망 확률모형을 산출하고 식(2)를 통해 최종적으로 얻게 될 HIC에 따른 보행자 사망자수를 추정한다. AHLS를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 각각에 대해 추정된 보행자 사망자수의 차이를 분석한다.

후드의 타격위치에 따라 다양한 HIC 값을 얻게 되므로 Step 1에서 얻어진 다양한 HIC 값을 식(5)에 모두 입력하면 AHLS를 적용한 경우와 AHLS를 적용하지 않은 경우의 사망자수의 분포를 얻을 수 있게 된다. 이러한 경우, 단순히 Step 1에서 얻어진 HIC 값의 평균을 적용하여 AHLS의 효과를 점추정(point estimation)할 수 있을 뿐만 아니라 사망자 감소효과를 신뢰구간을 고려한 구간추정이 가능해진다. 본 연구에서는 HIC의 변화에 따라 추정된 사망자수의 분포를 정규분포로 가정하여 AHLS 적용한 경우의 효과 즉, 사망자수 감소분의 신뢰구간을 추정하였다. <그림 7>에 정규분포로 가정한 사망자수의 분포를 제시하였다.

AHLS 적용시 감소하게 될 보행자 수 감소분($\Delta_{AHLS} = PED_{AHLS}^{\text{적용}} - PED_{AHLS}^{\text{미적용}}$)에 대한 신뢰구간을 식(6)을 통하여 추정한다.



〈그림 7〉 보행자 사망자수 분포 비교

$$\left[\frac{\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}}{\Delta_{AHLS}} - t_{\alpha/2, \nu} S.E.(\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}) \right] \leq \Delta_{AHLS} \leq \left[\frac{\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}}{\Delta_{AHLS}} + t_{\alpha/2, \nu} S.E.(\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}) \right] \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 추정된 Δ_{AHLS} 의 95% 신뢰구간과 신뢰구간 추정을 위한 관련 통계량⁷⁾ 값은 다음과 같다. 본 연구에서 추정된 사망자 수 감소분의 95% 신뢰구간은 32.8~83.6명인 것으로 나타났다.

- Point Estimate: $(\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}) = 58.2$
- Sample Variance: $S_{AHLS}^{적용^2} = 707.259, S_{AHLS}^{미적용^2} = 2238.337$
- Standard Error: $s.e.(\overline{PED_{AHLS}^{적용}} - \overline{PED_{AHLS}^{미적용}}) = (S_{AHLS}^{적용^2}/R_{AHLS} + S_{AHLS}^{미적용^2}/R_{AHLS})^{1/2} = 848.010$
- Degree of Freedom: $\nu = 28.3 \approx 28$
- Confidence Interval: $32.8 \leq \Delta_{AHLS} \leq 883.6$

연구 결과를 보다 일반화하고 신뢰도를 높이기 위해서는 본 연구에서 설정한 가정 및 한계를 극복하기 위한 노력이 필요하다. 우선 HIC 값 분석을 승용차만을 대상으로 수행하였는데, 더욱 다양한 차량모델을 대상으로 한 시뮬레이션 작업이 수행되어야 할 것이다. 또한 다양한 크기의 보행자 머리모형을 이용한 충격실험도 필요할 것으로 판단된다. 보행자 사망모형의 개발 부분에서는 현재 국내 교통사고 수집 및 기록, 관리체계를 개선하여 교통사고 발생 당시의 교통 및 도로 환경 요인을 보다 세밀하게 재현할 수 있는 충분한 자료가 준비될 수 있도록 해야 할 것이다. Madymo를 이

용한 HIC와 충돌속도의 관계 모형 구축부분 역시 보다 다양한 차량 모형, 보행자 모형을 적용하여 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 높이기 위한 작업이 필수적이다.

V. 결론

보행자-차량 충돌사고는 보행자의 사망률이 대단히 높은 교통사고로서, 보행자 사고를 예방하고 심각도를 감소시키기 위한 다양한 대응책(countermeasures)의 개발이 절실하다고 할 수 있다. 보행자 사고 감소를 위해 운전자 및 보행자의 안전교육 프로그램 개발과 시행은 거시적이고 장기적인 관점의 정책적 대안으로 그 가치가 대단히 크다고 할 수 있다. 그러나 교통사고는 운전자 및 보행자의 급작스런 행위가 차량, 도로 및 주변 환경 여건 등과의 부조화로 연결되어 발생하는 임의성이 높은 이벤트로서, 단순히 정책적인 대안만으로는 효과적인 대응에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 또 다른 대안으로서 사고 발생 직전에 이를 예방하거나 사고 발생 직후에 심각도를 줄일 수 있는 첨단 차량기술의 개발 및 적용을 고려해 볼 수 있다.

본 연구에서는 다양한 첨단차량기술 중 보행자 보호를 위한 AHLS의 적용 시 얻게 될 교통안전측면의 효과를 계량화하는 방법론을 처음으로 제시하였다. 이론적으로는 실제 교통사고 자료를 이용하여 효과를 분석하는 가장 바람직한 방법론의 정립을 위한 접근방법이 될 수 있다. 그러나 국내 교통사고 수집 및 관리체계 하에서는 방법론 개발을 위한 충분한 미시적 자료 확보에 한계가 있어, 시뮬레이션 자료를 교통사고 분석 자료와 함께 활용하여 방법론을 정립하였다. 방법론의 핵심은 AHLS를 적용했을 경우와 적용하지 않은 경우 차량의 후드에 보행자의 머리가 충격함으로써 사망하게 되는 보행자 수를 각각 추정하고 비교하여 효과를 분석하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 실제 교통사고 자료로부터 충돌속도에 따른 보행자 사망여부를 확률적으로 나타낼 수 있는 통계모형을 개발하고, Madymo 시뮬레이션을 이용하여 충돌속도와 HIC의 관계식을 유도하였다. 이러한 실제 사고 자료로부터 얻어진 모형과 시뮬레이션 자료를 이용하여 구축된 모형을 활용하여 HIC에 따른 보행자 사망여부를 결정하는 모형을 유도하였다. 구축된 모형에 유한요소법(Finite Element Method)에 기반을 둔 LS-Dyna3d 시뮬레이션을 적용하여 산출한 AHLS를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우

에 대한 HIC 값들을 입력하여 사망자수 감소분을 추정하였다. 추정된 사망자수 감소분 (Δ_{AHLS})의 95% 신뢰구간은 $32.8 \leq \Delta_{AHLS} \leq 83.6$ 인 것으로 분석되었다.

본 연구의 주요 공헌은 첨단안전차량 기술의 효과를 계량화하여 분석할 수 있는 방법론을 처음으로 제시한 것이라 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법론을 보다 일반화시켜 AHLS 이외의 다양한 첨단차량기술의 교통안전효과를 체계적으로 분석할 수 있는 새로운 방법론을 구축하는 추후 연구가 수행되어야 할 것이다. 아울러 본 연구에서는 승용차만을 대상으로 LS-Dyna3d 시뮬레이션 모형을 수행하였으나, 보다 다양한 차종의 FE 모형을 적용하여 시뮬레이션을 수행하고 결과를 보다 일반화시킬 필요가 있음을 밝혀 둔다. 또한 보다 신뢰성 있는 효과분석을 위해서는 보행자 사망확률 모형의 정확도 제고가 필수적이다. 이를 위해서는 실제 보행자 사고의 수집 및 관리체계의 개선을 통해 모형개발의 근간이 되는 교통사고 자료의 신뢰성을 향상시키기 위한 대안 마련이 시급한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), "국가 ITS 기본계획 21".
2. 건설교통부(2005), "보행자 친화적 첨단안전차량 개발".
3. EEVC Working Group 17 Report(1998), "Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars," European Enhanced Vehicle-Safety Committee.
4. Commission of the European Communities (2003), "Directive 2003/102/EC of the European Parliament and of the Council of 17 November 2003 Relating to the protection of the Pedestrians and Other Vulnerable Road Users in the Event of a collision with a Motor Vehicle and Amending Council Directive 70/156/EEC," Commission of the European Communities.
5. 도로교통안전관리공단(2004), "2004년 교통사고통계분석".
6. International Harmonized Research Activities Pedestrian Safety Working Group(2001).
7. William W. Hines and Douglas C. Montgomery. (1990), Probability and Statistics in Engineering and Management Science. John Wiley & Sons.

- ✉ 주 작성자 : 오 철
- ✉ 교신저자 : 오 철
- ✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25
- ✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)
- ✉ 심사판정일 : 2006. 4. 21
- ✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30