

In-vehicle 통합 운전자지원시스템 효과평가 방법론 개발 및 적용

정은비 · 오철* · 정소영

한양대학교 교통·물류공학과

Methodology for Evaluating the Effectiveness of Integrated Advanced Driver Assistant Systems

JEONG, Eunbi · OH, Cheol* · JUNG, Soyoung

Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University at Ansan, Korea

Abstract

Recently, advanced sensors and communication technologies have been widely applied to advanced safety vehicles for reducing traffic accidents and injury severity. To apply the advanced safety vehicle technologies, it is important to quantify safety benefits, which is a fundamental for justifying application. This study proposed a methodology for quantifying the effectiveness of the Advanced Driver Assistant System (ADAS) with the Analytic Hierarchy Process (AHP). When the proposed methodology is applied to 2008-2010 Gyeonggi-province crash data, ADAS would reduce about 10.18% of crashes. In addition, Adaptive Cruise Control, Automatic Emergency Braking System, Lane Departure Warning System and Blind Spot Detection System are expected to reduce about 10.43%, 10.17%, 9.96%, and 10.18%, respectively. The outcomes of this study might support decision making for developing not only vehicular technologies but also relevant safety policies.

교통사고 및 사고로 인한 사상자수 감소를 위해 기존의 자동차에 각종 센서나 통신기술 등의 첨단기술을 융합한 첨단안전자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 첨단안전자동차의 시장진입 및 관련 기술도입을 위해서는 첨단안전자동차 기술의 효과분석을 통한 도입 타당성 평가가 필요하다. 본 연구에서는 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 이용하여 첨단안전자동차 기술 중 사고예방의 기능을 가지는 첨단운전자지원시스템의 효과추정 방법론을 제시하였다. 제시한 효과추정 방법론을 이용하여 적응형순항제어장치(ACC: Adaptive Cruise Control), 자동비상제동장치(AEBS: Automatic Emergency Braking System), 차로이탈경고장치(LDWS: Lane Departure Warning System), 사각지역감시장치(BSDS: Blind Spot Detection System)의 네 가지 시스템을 통합하여 평가하였다. 분석결과, 운전자지원시스템의 효과는 약 10.18%의 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났으며, 적응형순항제어장치는 10.43%, 자동비상제동장치는 10.17%, 차로이탈경고장치는 9.96%, 사각지역감시장치는 10.14%의 사고감소 효과가 있을 것으로 추정되었다. 본 연구의 결과는 추후 첨단안전자동차 시스템 도입시 도입타당성을 제시하는데 기초자료로써 활용이 가능할 것으로 기대된다.

Keywords

Adaptive Cruise Control(ACC), Analytic Hierarchy Process(AHP), Automatic Emergency Braking System(AEBS), Blind Spot Detection System(BSDS), Lane Departure Warning System(LDWS)
적응형순항제어장치, 계층화분석법, 자동비상제동장치, 사각지역감시장치, 차로이탈경고장치

* : Corresponding Author
cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-436-8147

Received 4 November 2013, Accepted 22 July 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

도로, 교통시스템, 자동차공학 등의 다양한 분야에서 교통사고건수 및 사상자수 감소를 위한 각종 연구 및 정책 등 많은 노력의 결과로 1억 주행거리(km)당 교통사고 발생건수가 1993년 143.1건에서 2002년 74.3건으로 10년간 약 47.2% 감소하는 결과를 보였지만, 2002년 이후에는 노력에 비해 1억 주행거리(km)당 교통사고 발생건수의 감소추세가 둔한 실정이다. 이러한 추세에 따라 최근 교통사고 및 사고로 인한 사상자수 감소를 위해 기존의 자동차에 각종 센서나 통신기술 등의 첨단기술을 융합한 첨단안전자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 고가의 자동차에는 이미 상용화되어 보급되고 있다. 첨단안전자동차란 ICT(Information Communication Technology) 인프라 구축을 통해 수동적인 차량제어기술에 전자, 기계, 제어를 접목하여 고도화된 정보수집, 처리 및 제공 등이 가능하도록 하는 지능화된 자동차를 의미한다.

첨단안전자동차의 시장진입 및 관련 기술 도입을 위해서는 첨단안전자동차 기술의 효과분석을 통한 도입 타당성 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 운전지원시스템(ADAS: Advanced Driver Assistant System) 중 대표적인 시스템인 차로이탈경고장치(LDWS: Lane Departure Warning System), 사각지역감시장치(BSDS: Blind Spot Detection System), 적응형순항제어장치(ACC: Adaptive Cruise Control), 자동비상제동장치(AEBS: Automatic Emergency Braking System)에 대한 효과분석 기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 운전지원시스템의 효과분석 방법론을 4단계로 구성하여 제시하였다. 첫째, 시스템 장착에 따른 효과분석을 위해 사고유형을 분류하여 분석 자료를 구축하였다. 둘째, 경고정보제공 유무에 따른 운전자의 행태를 반영한 사고회피시간의 변화에 따른 사고유형별 사고감소건수를 추정하였다. 셋째, 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 통해 각 운전지원시스템과 사고유형간의 관계를 도출하였다. 마지막으로, 앞서 도출한 결과를 이용하여 각 운전지원시스템이 사고유형에 미치는 효과를 추정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 첨단안전자동차 기술 소개 및 첨단안전자동차 효과분석 방법론 관련 문헌을 고찰하였으며, 3장에서는 연구방법론을 소개하였다. 4장에서는 연구방법론을 적용하여 운전지원

원시스템에 대한 효과분석을 수행하였으며, 5장에서는 결론을 제시하였다.

기존 문헌 고찰

본 연구에서는 첨단안전자동차 기술의 기능분석 및 첨단안전자동차 효과분석 방법론 관련 기존문헌을 고찰하였다.

1. 첨단안전자동차 기능분석

첨단안전자동차(ASV: Advanced Safety Vehicle)는 수동적인 차량제어기술에서 전자, 기계, 제어를 접목하여 능동적인 차량제어기술을 통해 IT인프라 구축에 의한 고도화된 정보수집, 처리 및 제공 등이 가능하도록 하는 지능화된 자동차를 의미한다. 첨단안전자동차 기술은 사고발생 전에 작동하여 사고를 예방하는 기능과, 사고 발생시 또는 사고발생 후에 작동하여 사고심각도를 감소시키는 기능을 수행한다. 본 연구에서는 사고발생을 예방하는 기능을 수행하는 운전지원시스템(ADAS: Advanced Driver Assistant System)에 대한 기능을 제시하고자 한다.

운전지원시스템은 운전자가 보다 안전하게 도로를 주행할 수 있도록 위험상황에서 경고정보를 제공하거나 차량을 제어하는 시스템으로, 운전자가 돌발 상황에 대한 회피행동을 보다 신속하게 할 수 있도록 지원하여 사고예방 및 사고시 충돌속도를 감소시켜 사고심각도를 감소시키는 기능을 가지고 있다. 본 연구에서는 적응형순항제어장치, 자동비상제동장치, 차로이탈경고장치, 사각지역감시장치에 대한 통합적인 효과분석을 수행하고자 한다.

적응형순항제어장치는 주행차로의 전방에서 동일한 방향으로 이동 중인 자동차를 따라 자동으로 가·감속하며 안전거리를 유지하고 목표속도로 주행하기 위한 장치이다. 자동비상제동장치는 주행차로 전방에 위치한 자동차와의 충돌가능성을 감지하여 운전자에게 경고정보를 제공하며, 운전자의 반응이 없거나 충돌이 불가피하다고 판단되는 경우 충돌완화 및 회피목적으로 자동차의 속도를 자동적으로 감속시키는 시스템이다. 차로이탈경고장치는 운전자의 부주의 또는 졸음운전 등으로 주행 중 차로를 이탈하게 되면 운전자에게 경고를 제공하는 시스템이며, 사각지역감시장치는 사각지대에 위치한 자동차에

대한 정보를 운전자에게 제공하는 장치로, 사각지대에 있는 자동차 등을 인지하지 못하고 차로를 변경하거나 근접하는 자동차로 인해 사고위험이 감지되는 경우 미연에 사고를 방지하기 위한 안전장치이다. 이러한 운전자 지원시스템은 추돌사고, 도로이탈로 인한 단독사고, 전복사고, 차로이탈로 인한 정면충돌사고 등의 사고방지 효과가 있다.

2. 첨단안전자동차 효과분석 방법론 관련

Sugimoto and Sauer(2005)는 후미추돌을 방지하기 위한 운전자 지원시스템인 Collision Mitigation Brake System(CMBS)의 효과를 분석하였다. 사고 시나리오자료, 차량모델, 운전자모델을 적용하여 시뮬레이션을 통해 충돌속도, 충돌각, 주행궤적, 위치 등의 결과를 도출하여 시스템의 효과를 평가하였다. Coelingh et al.(2007)은 실제 안전성 측면에서 시뮬레이션 및 물리 실험을 통하여 자동제어시스템이 장착된 충돌경고시스템을 평가하였으며, 시스템의 유무에 따른 충돌시 부상위험 노출정도를 추정하여 분석을 수행하였다. Farmer(2008)는 사각지대 감지·경고 시스템, 충돌경고·완화시스템, 긴급제동시스템, 차로이탈방지시스템, 자동전조등시스템 등 5개의 사고회피기술을 평가하였다. 미국의 National Automotive Sampling System General Estimates System(NASS GES)과 Fatality Analysis Reporting System(FARS)에서 수집한 자료를 이용하였으며, 사각지대 감지·경고 시스템, 긴급제동시스템, 차로이탈방지시스템에 의해 관련사고가 각각 약 26%, 7%, 8% 감소할 것이라는 추정결과를 제시하였다. Kuehn et al.(2009)은 독일의 보험 사고 자료 데이터베이스를 이용하여 Advanced Driver Assistance System(ADAS)의 효과를 계량화하는 연구를 수행하였다. 분석결과 Lane Keeping Assistant System은 2.2%의 사고건수 감소 효과를 보이는 것으로 나타났다. Page et al.(2009)은 TRACE project에서 수행한 19가지의 첨단안전시스템의 효과분석 결과를 제시하였다. 19가지 첨단안전시스템 중 본 연구와 관련이 있는 Lane Keeping Assistant System은 심각한 부상자수의 감소 효과가 5.7%로 나타났으며, 자동비상제동장치의 경우 심각한 부상자를 최대 9.1%까지 감소시킬 것이라고 추정하였다. Ryu et al.(2009)은 주행로이탈예방지시스템(LDWS: Lane Departure Warning System) 구축에

따른 사회경제적 효과를 분석하기 위해 비용-편익분석을 수행하였으며, 주행로이탈예방지기술은 경제성이 있다고 제시하였다. Unsel et al.(2011)은 실제 주행실험과 시뮬레이션 실험을 통해 사전충돌방지시스템(Pre-crash System)에 대한 시스템 성능평가를 위해 운전자의 행동 변화를 제시하였다. 실험결과 사고발생전 운전자 확보시간은 경고정보를 제공하지 않았을 때 평균 1.5초, 경고정보를 제공하였을 때 평균 1.68초로, 경고정보를 제공하는 경우 운전자가 사고를 회피할 수 있는 반응시간을 0.18초 더 확보하는 것으로 나타났다. Lee et al.(2011)은 차로이탈경고장치의 성능에 운전자요인이 미치는 영향을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행한 결과 차량의 속도 및 분산이 증가하면 사고발생 가능성이 높아지며 운전자 반응시간이 1초 이상 지연된다면 사고발생 가능성이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. Jeong and Oh(2013)는 운전자지원시스템의 효과분석 방법론을 제시하였으며, 차로이탈경고장치와 자동비상제동장치에 대한 효과분석 결과를 제시하였다.

3. 기존 연구와의 차별성

기존 첨단안전자동차 시스템의 효과분석 연구는 시뮬레이션 및 비디오분석을 통한 기술적인 측면에서의 안전성 효과평가를 주로 수행하였다. 사고 자료를 이용한 사고감소 효과분석 연구가 진행되었으나, 단일 시스템에 대한 효과분석만을 수행하였으며, 통합적인 시스템에 대한 효과분석이 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 사고 자료를 이용하여 사고유형, 도로유형을 고려한 운전자지원시스템의 사고감소효과를 추정하는 방법론을 제시하였으며, 특히 다양한 첨단안전장치가 장착된 차량에 대한 통합적인 효과평가 방법론을 제시하였다는데 의의가 있다.

연구방법론

본 연구에서는 운전자지원시스템 효과분석을 위해 분석자료 구축, 사고유형별 사고감소건수 추정, 운전자 지원시스템과 사고유형간의 관계 수립, 가중치를 적용한 시스템별 사고감소효과 추정, 크게 네 부분으로 구성하여 분석방법론을 제시하였다. 본 연구에서 제시하고 있는 운전자지원시스템 효과분석 방법론은 Figure 1과 같다.

생 확률을 산출하고, 식(4)에 의해 사고유형별 시스템 도입에 따른 사고감소 효과를 추정할 수 있다.

$$\Pr_{w(i,j)} = \exp\left(-\frac{TAC_w}{c_{(i,j)}}\right) \tag{2}$$

$$\Pr_{wo(i,j)} = \exp\left(-\frac{TAC_{wo}}{c_{(i,j)}}\right) \tag{3}$$

$$eff_{(i,j)} = 1 - \frac{\Pr_{w(i,j)}}{\Pr_{wo(i,j)}} \tag{4}$$

$$\Delta NA_{(i,j)} = N_{(i,j)} \times eff_{(i,j)} \tag{5}$$

- $\Pr_{w(i,j)}$: 시스템 도입 시 사고발생확률
- $\Pr_{wo(i,j)}$: 시스템 미도입 시 사고발생확률
- TAC_w : 시스템 도입 시 TAC
- TAC_{wo} : 시스템 미도입 시 TAC
- c : Adjustment factor
- $eff_{(i,j)}$: 사고감소효과 추정값
- $\Delta NA_{(i,j)}$: 사고감소건수 추정값
- $N_{(i,j)}$: 도로유형, 사고유형별 사고건수
- i : 도로유형
- j : 사고유형

3. 운전자지원시스템과 사고와의 관계수립

1) 분석개요

운전자지원시스템은 궁극적으로 운전자를 지원하여 사고발생을 예방하는 시스템이지만, 각 시스템별 사고감소 효과를 추정하기 위해서는 운전자지원시스템과 사고유형 간의 관계를 정립할 필요가 있다. 한 가지의 사고유형이라도 여러 가지의 운전자지원시스템의 영향이 작용할 수 있기 때문에 각 사고유형에 운전자지원시스템이 미치는 영향력을 평가하기 위한 정량적인 지표의 산출이 필요하다. 이에 본 연구에서는 계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 통해 운전자지원시스템이 각 사고유형에 미치는 영향력을 정량적으로 평가하기 위한 가중치를 산출하였다.

2) 계층화분석법

계층화분석법(AHP: Analytic Hierarchy Process)

은 두뇌가 단계적 또는 위계적 분석과정을 활용한다는 사실에 착안하여 Thomas L. Saaty가 고안한 계산모델이다(Satty and Erdener, 1979). AHP는 의사결정의 전 과정을 다단계로 나눈 후 이를 단계별로 분석·해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 방법으로, 평가기준이 다수이며 복잡한 경우 이를 계층화하여 쌍대비교를 통해 중요도를 산출한다. AHP기법에서는 Miller(1956)에서 제시한 “인간은 7±2개의 대상을 혼동 없이 동시에 비교가 가능하다”는 실험결과를 기초로 9점 척도를 이용하여 쌍대비교를 실시한다(Miller, 1956).

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n개 요소의 상대적 중요도를 $w_i(i=1,2,\dots,n)$ 라 하면, 가중치를 산출하기 위한 쌍대비교행렬 A는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \tag{6}$$

행렬 A에 평가항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터 w 를 곱하게 되면 식(7)의 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mw_1 \\ mw_2 \\ \vdots \\ mw_n \end{bmatrix} \tag{7}$$

이는 선형대수론에서의 고유치 방법에 의해,

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \tag{8}$$

$$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$$

λ_{\max} : 행렬 A의 최대 고유치

n개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제가 된다. 이 작업은 $|A-\lambda I|=0$ 을 만족시키는 값을 구하는 특성방정식을 푸는 과정이다. AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 가중치(우선순위 벡터:priority vector)를 기하평균법이나 승수법을 사용하여 계산한다. n의 크기가 3 이하인 경우에는 기하평균법을 이용하여 우선순위벡터를 간단하게 구할 수 있으며, 그 결과는 승수법을 이용한 방법과 동일하다. λ_{\max} 는 항상 n보다 크거나 같기 때문에 계산된 λ_{\max} 가 n에

근접하는 값일수록 쌍대비교행렬 A의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다. 이러한 일관성의 정도는 다음과 같이 일관성지수(Consistency Index: CI, 식(9))와 일관성비율(Consistency Ratio: CR, 식(10))을 통하여 구할 수 있다. 일관성비율의 수식에 있는 RI는 난수지수(Random Index)를 의미하며, 임의로 설정한 역수행렬의 평균 일관성지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. 일관성지수를 통해 산출된 일관성비율이 10% 이내에 들 경우, 응답자의 설문조사 수치, 즉 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 할 수 있다.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \tag{9}$$

$$CR = (CI / RI) \times 100\% \tag{10}$$

4. 가중치를 적용한 시스템별 사고감소효과 추정

앞서 산출한 사고유형별 사고감소 건수와 운전자시스템과 사고유형과의 관계수립에서 산출된 가중치를 이용하여 최종적인 운전자지원시스템별 사고감소 효과를 추정할 수 있다. 운전자지원시스템의 사고감소 효과는 사고유형별 사고감소 건수와 사고유형에 따른 운전자지원시스템의 가중치의 곱으로 산출하게 된다.

운전자지원시스템 효과분석

1. 분석자료 구축

본 연구에서는 운전자지원시스템의 사고감소 효과분석을 위해 2008-2010년 경기도 교통사고 자료를 이용하였다. 분석기간 내에 경기도에서는 127,561건의 교통사고가 발생하였으며, 전체 교통사고 건수 중 운전자지원시스템을 설치 할 수 있는 승용차, 승합차, 화물차와 관련된 사고 115,911건을 추출하였다. 또한 차대차, 차량단독 사고 외의 차대사람 사고, 기타 사고 등 33,524건의 사고를 분석대상에서 제외하였다.

연구의 목적과 관련 없는 사고 및 사고유형을 알 수 없는 기타사고를 제외한 82,387건의 사고 중 사고유형별, 도로유형별로 분류하여 사고발생확률을 산출하기 위한 기초자료를 구축하였다. 사고유형은 추돌사고, 정면충돌사고, 측면직각충돌사고, 도로이탈사고, 공작물추돌사고, 전도전복사고, 주차차량추돌사고, 7가지로 구분하

Table 1. Crash frequency by road and crash type

Crash type	Road type			Total
	1	2	3	
Rear-end	1,942	15,620	13,892	31,454
Head-on	57	3,015	2,898	5,970
Angle collision	916	19,939	21,689	42,544
Run-off-the road	14	153	116	283
Fixed-object collision	124	1,045	693	1,862
Rollover	25	127	98	250
Parked-vehicle collision	1	11	12	24
Total	3,079	39,910	39,398	82,387

1: Expressway, 2: National highway, 3: Rural road/arterial

Table 2. TAC with/without ADAS

	Average	Variance
With warning	1.68s	0.23
Without warning	1.50s	0.25

였으며, 도로유형은 고속국도(Expressway), 일반국도 및 지방도(National highway), 시·군도 및 특별시도(Rural road/arterial)로 구분하였다. Table 1에 사고유형 및 도로유형별 사고건수를 제시하였다.

2. 사고유형별 사고감소건수 추정

Exponential Decay Function을 통해 사고유형별 사고감소건수를 추정하기 위해서는 운전자지원시스템 도입 유무에 따른 사고회피시간 및 곡률보정계수를 도출해야 한다.

본 연구에서는 운전자지원시스템 도입 유무에 따른 사고회피시간을 산출하기 위해 기존 연구 결과를 적용하여 분석을 수행하였다. 운전자지원시스템의 경고제공에 의한 추가적인 사고회피시간은 Table 2에서 제시하고 있는 기존 연구결과에서 도출된 값을 적용하였다(Unselt et al., 2011).

곡률보정계수는 Figure 2와 같이 값이 커질수록 사고발생확률이 높아지는 특성을 가지고 있기 때문에, 본 연구에서는 각 사고유형에 대하여 사고유형별 교통사고 건수를 도로유형별 도로연장으로 나누어 산출한 사고건수/km에 대한 상대적인 비율을 곡률 보정계수로 적용하였다. 즉, 1km당 사고건수가 많은 도로가 사고발생확률이 높기 때문에 높은 곡률보정계수를 적용하게 된다. Table 3에 사고유형에 따른 도로유형별 곡률보정계수를 제시하였다.

사고유형에 따른 도로유형별 곡률보정계수 결과를 살펴보면, 도로유형별 사고특성을 확인할 수 있다. 정면충

Table 3. Adjustment factors by road and crash type

Crash type	Road type	Road type		
		1	2	3
Rear-end	c	2.334	2.100	1.000
	case/km	3.939	3.544	1.688
Head-on	c	1.000	5.917	3.045
	case/km	0.116	0.684	0.352
Angle collision	c	1.000	2.435	1.418
	case/km	1.858	4.524	2.635
Run-off-the road	c	2.015	2.464	1.000
	case/km	0.028	0.035	0.014
Fixed-object collision	c	2.988	2.817	1.000
	case/km	0.252	0.237	0.084
Rollover	c	4.260	2.421	1.000
	case/km	0.051	0.029	0.012
Parked-vehicle collision	c	1.391	1.712	1.000
	case/km	0.002	0.003	0.002

1: Expressway, 2: National highway, 3: Rural road/arterial

돌 사고의 경우 고속도로에서는 중앙분리대에 의해 발생 건수가 다른 도로에 비해 적기 때문에 1.00의 값을 가지게 되며, 일반국도 및 시군도에서 가장 많은 정면충돌사고가 발생하게 된다. 또한 전도전복사고의 경우 고속도로가 고속주행의 특성이 있기 때문에 가장 높은 곡률보정계수의 값을 가지게 된다.

Table 2와 Table 3에서 도출한 사고회피시간과 곡률보정계수를 식(2)-식(5)에 적용하여 사고유형별 사고 감소 효과를 추정한 결과를 Table 4에 제시하였다.

3. 운전지원시스템과 사고유형 관계수립

앞서 산출한 사고유형 및 도로유형별 사고감소건수는 운전지원시스템에 의해 경고정보를 제공받을 경우 감소할 수 있는 사고건수를 추정한 결과이다. 이러한 경우 각 운전지원시스템의 효과를 평가하기가 어렵기 때문

Table 4. Estimation of the number of crash reduction by road and crash type

Crash type	Road type	Road type			Effects	
		1	2	3	(case)	(%)
Rear-end		144	1,283	2,288	3,715	11.8
Head-on		9	90	166	265	4.4
Angle collision		151	1,421	2,586	4,157	9.8
Run-off-the road		1	11	19	31	11.0
Fixed-object collision		7	65	114	186	10.0
Rollover		1	9	16	26	10.4
Parked-vehicle collision		0	1	2	3	12.5

1: Expressway, 2: National highway, 3: Rural road/arterial

에, 본 연구에서는 각 운전지원시스템이 사고유형에 미치는 영향을 AHP기법을 통해 계량화 하였다. 즉, 모든 시스템이 통합되어 있는 첨단안전자동차의 경우 각각의 시스템에 의한 효과를 평가할 수 있어야 하는데, 본 연구에서 제시하는 AHP기법을 통해 첨단안전자동차의 효과를 통합적으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 사고유형별 운전지원시스템의 영향력을 평가하기 위한 가중치 산출을 위해 AHP 설문조사를 실시하였다.

총 32명의 자동차 및 교통전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 일관성지수가 0.1이하인 설문자의 응답을 대상으로 가중치를 산정하였다. 가중치 선정대상 설문자는 추돌사고 13명, 측면직각충돌사고 14명, 공작물 추돌사고 22명, 정면충돌사고, 도로이탈사고, 전도전복사고, 주차차량추돌사고는 20명으로 나타났다. Figure 3에 AHP 가중치 산정을 위한 설문조사 예를 제시하였으며, Table 5에 네 가지의 운전지원시스템(적응형순항제어장치, 자동비상제동장치, 차로이탈경고장치, 사각지역감시장치)이 각 사고유형에 미치는 가중치 조사결과를 제시하였다. 이 때, 사각지역감시장치의 경우 정면충돌사고, 공작물추돌사고, 도로이탈사고에 영향을 미치

Contents	9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6 3:7 2:8 1:9																Contents	
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8		9
ACC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AEBS
ACC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	LDWS
ACC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BSDS
AEBS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	LDWS
AEBS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BSDS
LDWS	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BSDS

Figure 3. Example of AHP questionnaire

Table 5. Weight b/w ADAS and crash type

Crash type \ ADAS	ACC	AEBS	LDWS	BSDS
Rear-end	0.307	0.414	0.196	0.084
Head-on	0.234	0.466	0.300	0.000
Angle collision	0.169	0.316	0.232	0.283
Run-off-the road	0.160	0.198	0.642	0.000
Fixed-object collision	0.219	0.424	0.357	0.000
Rollover	0.235	0.256	0.341	0.168
Parked-vehicle collision	0.152	0.273	0.180	0.395

Table 6. Estimated crash reduction by ADAS

Crash type \ ADAS	ACC	AEBS	LDWS	BSDS	total
Rear-end	1,141	1,537	727	311	3,715
Head-on	62	123	80	0	265
Angle collision	703	1,313	966	1,175	4,157
Run-off-the road	5	6	20	0	31
Fixed-object collision	41	79	66	0	186
Rollover	6	7	9	4	26
Parked-vehicle collision	0	1	1	1	3
Effects (cases)	1,958	3,066	1,869	1,491	8,383
(%)	10.43	10.17	9.96	10.14	10.18

지 않는 사고이기 때문에 해당 사고유형에서는 사각지역 감시장치의 가중치를 0으로 설정하여 분석을 수행하였다.

가중치 산출 결과, 추돌사고, 정면충돌사고, 측면직각 충돌사고, 전도전복사고는 자동비상제동장치에 의한 사고예방 효과에 가장 큰 가중치를 가지며, 공작물추돌사고와 전도전복 사고는 차로이탈경고장치에 의해 사고예방 효과에 가장 큰 가중치를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 사각지역감시장치는 주차차량추돌사고 예방 효과에 가장 큰 가중치를 가지는 것으로 나타났다.

4. 가중치를 적용한 시스템별 사고감소효과 추정

앞서 산출한 사고유형에 따른 사고감소 건수와 운전 지원시스템과 사고유형간 가중치를 적용하여 사고유형별 각 운전지원시스템이 미치는 효과를 추정하였다. Table 6에 최종 사고감소효과 결과를 제시하였다.

운전지원시스템에 따른 사고감소 효과를 추정한 결과, 적응형순항제어장치는 10.43%, 자동비상제동장치는 10.17%, 차로이탈경고장치는 9.96%, 사각지역감시장치는 10.14%의 사고감소 효과가 있을 것으로 추정되었다. 또한 이러한 모든 장치가 장착되면 10.18%의 사고가 예방 될 것으로 추정되었다.

결론

본 연구에서는 계층화분석법을 이용한 첨단 운전지원시스템 효과를 평가하는 방법론을 개발하였다. 개발한 방법론을 운전지원시스템 중 적응형순항제어장치, 자동비상제동장치, 차로이탈경고장치, 사각지역감시장치에 적용하여 사고감소효과를 추정하였다. 분석방법은 사고 자료 분석, 사고감소효과 추정, 운전지원시스템과 사고유형간의 관계수립, 운전지원시스템별 사고감소 효과 추정, 크게 네 부분으로 구성되어 있다.

사고감소 효과를 추정하기 위해 경기도의 2008-2010년 교통사고자료를 이용하였으며, 운전지원시스템 도입에 따른 추가적인 사고회피시간을 이용하여 사고유형별 사고감소 효과를 추정하였다. 계층화분석법을 통해 운전지원시스템이 각 사고유형에 미치는 영향력을 계량화 하는 가중치를 산출하였으며, 사고유형별 사고감소 효과와 가중치를 이용하여 최종적으로 각 운전 지원시스템이 사고감소 효과에 미치는 효과를 추정하였다.

분석결과, 2008-2010년 경기도 교통사고 82,387건 중 운전지원시스템으로 인해 8,383건의 사고가 감소하여, 약 10.18%의 사고감소 효과가 있을 것으로 추정되었다. 각 시스템에 대한 가중치를 적용하여 운전지원시스템별 사고감소 효과를 추정한 결과, 적응형순항제어장치는 10.43%, 자동비상제동장치는 10.17%, 차로이탈경고장치는 9.96%, 사각지역감시장치는 10.14%의 사고감소 효과가 있을 것으로 추정되었다.

본 연구의 결과는 추후 첨단안전자동차 시스템 도입 시 도입타당성을 제시하는데 기초자료로써 활용이 가능할 것이다. 또한, 계층화분석법을 통해 각 시스템별 사고유형에 미치는 영향력을 도출함으로써 효과평가 결과의 과추정을 방지하고, 하나의 시스템의 효과평가가 아닌, 향후 다양한 운전지원시스템이 통합되어 설치되는 첨단안전자동차의 통합 효과평가에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 운전지원시스템 효과분석 방법론은 몇 가지 가정 및 한계점이 존재한다. 첫째, 사고회피시간과 사고발생확률의 관계를 비선형관계로 가정하여 분석을 수행함으로써 거시적인 분석법으로 접근하였다. 또한 방법론 적용에 있어 4가지 운전지원시스템은 모두 사고예방에 직·간접적인 영향을 미친다고 가정하였다.

이러한 가정을 기반으로 한 방법론 및 결과에 대한 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 사고감소 효과를 추정하는 과정에서 사고회피시간 적용 시 다양한 연구결과를 적용할 필요가 있다. 또한, 곡률 보정계수를 사고건수 외의 다양한 지표들을 적용하여 곡률 보정계수에 대한 사고발생확률의 민감도를 분석할 필요가 있다. 둘째, 사고회피 시간을 통해 사고발생확률 추정시 Exponential decay function외의 다른 방법론을 적용해 볼 필요가 있다. 셋째, 계층화분석법 조사에 있어 더 많은 샘플수를 확보하여 결과의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 넷째, 다양한 시스템과 사고유형을 접목하여 사고유형과 운전자지원시스템과의 관계를 면밀히 검토할 필요가 있다. 마지막으로, 향후 시스템 도입 시 예상되는 도입비용과 사고감소에 의한 교통안전 편익을 고려한 경제성분석에 따른 타당성 검토 연구가 필요할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Affairs of Korean government (Project No.: 14PTSI-C054118-06).

REFERENCES

- Coelingh E., Jakobsson L., Lind H., Lindman M. (2007), Collision Warning with Auto Brake -A Real-life Safety Perspective, The 20th International Technical Conference on the ESV, 07-0450.
- Farmer C. M. (2008), Crash Avoidance Potential of Five Vehicle Technologies, Insurance Institute for Highway Safety.
- Hu W., Xiao X., Xie D., Tan T. (2004), Traffic Accident Prediction Using 3-D Model-Based Vehicle Tracking, IEEE Vehicular Technology Group. 53 (3), 677-694.
- Jeong E., Oh C. (2013), Methodology for Estimating Safety Benefits of Advanced Driver Assistant Systems, The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, 12(3), 65-77.
- Kim B. (2004), Advanced Safety Vehicle, Transactions of the KSAE of Korean, 26(4), 23-25.
- Kuehn M., Hummel T., Bende J. (2009), Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-Life Accidents, Proceedings of the 21st International Technical Conference on the ESV, 09-0317.
- Lee H. G., Park H. S., Yoo S. M. (2011), LDWS Performance Study Based on Human Factors, Proceedings of the 22st International Technical Conference on the ESV, 11-0147.
- Miller G. A. (1956), The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, Psychological Rev, 63, 81-97, Mar.
- Oh C., Kim T. (2010), Estimation of Rear-End Crash Potential Using Vehicle Trajectory Data, Accid Anal Prev, 42(6), 1888-1893.
- Page Y., Hermitte T., Chauvel C., Elslande P. V., Hill J., Kirk A. et al. (2009), Reconsidering Accident Causation Analysis and Evaluating the Safety Benefits of Technologies: Final Results of the TRACE Project, Proceedings of the 21st International Technical Conference on the ESV, 09-0148.
- Ryu B., Choi J., Bae S. (2009), An Analysis of Economic Evaluation Related to Lane Departure Warning System, The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, 8(5), 85-97.
- Saaty T. L., Erdener E. (1979), A New Approach to Performance Measurement - The Analytic Hierarchy Process, Design Methods and Theories, 13(2), 64-72.
- Statistical Analysis on Traffic Accidents, Korea Road Traffic Authority (2008-2012), Seoul, Korea.
- Sugimoto Y., Sauer C. (2005), Effectiveness Estimation Method for Advanced Driver Assistance System and its Application to Collision Mitigation Brake System, Proceedings of 19th International Technical Conference on the ESV, Washington, 05-0148-O.
- Unsel T., Mayer C., Chin E., Aparicio A., Muniz O.,

Ranovona M. et al. (2011), Assessment of Behavioral Aspects in Integrated Safety Systems (EU FP7 project ASSESS), Proceedings of the 22st International Technical Conference on the ESV, 11-0284.

Yang H., Ozbay K. (2011), Estimation of Traffic Conflict Risk for Merging Vehicles on Highway Merge Section, TRR: Journal of the TRB, 2236, 58-65.

✎ 주 작성자 : 정은비

✎ 교신저자 : 오철

✎ 논문투고일 : 2013. 11. 4

✎ 논문심사일 : 2014. 1. 10 (1차)

2014. 4. 16 (2차)

2014. 5. 28 (3차)

2014. 7. 22 (4차)

✎ 심사판정일 : 2014. 7. 22

✎ 반론접수기한 : 2014. 12. 31

✎ 3인 익명 심사필

✎ 1인 abstract 교정필