

첨단경고장치가 사업용 차량 운전자의 운전행태에 미치는 영향 분석

Identifying the effects of advanced warning devices on the driving behaviors of commercial vehicle drivers

박재영 Park, Jae-Young | 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : wodud0318@naver.com)
김도경 Kim, Do-Gyeong | 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 정교수 · 교신저자 (E-mail : dokkang@uos.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aims to analyze how the installation of advanced warning devices affects individual drivers' driving behaviors with operating record data collected from 100 vehicles.

METHODS : With collected data, the changes in individual drivers' driving behaviors, such as Forward Collision Warning (FCW) and Lane Departure Warning (LDW), were investigated with respect to the cumulative distance traveled and driving time. For the analysis, operating record data collected from 100 vehicles for seven months were used.

RESULTS : The results showed that individual drivers' driving behaviors could be categorized into six different types. In addition, most of the drivers showed unstable warning patterns in the initial stage after installation of an advanced warning device. Approximately 40% of vehicles equipped with advanced warning systems were found to have positive effects, indicating that the frequencies of both FCW and LDW had been continuously decreasing after installation of the system.

CONCLUSIONS : The warning device might be helpful for making drivers' driving behaviors safer. Driving behaviors during the initial stage of the system installation, which might be regarded as an adaptation phase, were found to be very unstable compared with normal situations, indicating that adequate education and training should be provided to all the drivers to prevent operator disruption at the initial installation of the system.

Keywords

Driving behaviors, Advanced warning devices, Forward Collision Warning (FCW), Lane Departure Warning (LDW),

Corresponding Author : Kim, Do-Gyeong, Professor
Dept. of Transportation Engineering, The University of Seoul,
163 Seoulsiripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul, 02504, KOREA
Tel : +82.2.6490.2826 Fax : +82.2.6490.2819
E-mail : dokkang@uos.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Dec, 28, 2017 Revised Jan, 02, 2018 Accepted Jan, 29, 2018

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2016년 7월 17일에 발생한 영동고속도로 상행선 봉평터널 입구에서의 버스 추돌사고, 2017년 7월에 발생한 경부고속도로 상행선 양재나들목 인근에서의 버스

추돌사고, 2017년 11월에 발생한 창원터널 부근의 화물차 폭발사고 등의 교통사고는 그 피해정도가 매우 심각하여 많은 사회적 관심을 불러 일으켰다. 이처럼 버스나 트럭과 같은 대형차량이 유발시키는 교통사고는 다른 사고에 비해 사고 피해가 훨씬 더 심각한 대형사고로 이어질 가능성이 매우 높다.

도로교통공단 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)에서 제공하고 있는 2016년 교통사고 통계에 의하면, 사업용 자동차인 버스의 치사율은 2.1%, 화물차의 치사율은 3.6%로 일반 승용차의 치사율인 1.5%에 비해 약 1.4~2.4배 정도 높은 것으로 나타나 버스나 트럭이 유발하는 교통사고의 위험성이 더 크다는 사실을 뒷받침해 주고 있다. 특히, 사회적 관심이 높았던 위의 사고들은 사고원인이 운전자의 졸음 운전으로 밝혀지면서 사업용 자동차에 대한 안전관리 필요성이 더욱 요구되고 있는 실정이다.

국토교통부는 이러한 요구에 대응하기 위해 2016년 8월 치사율이 높고, 대형사고로 확대될 가능성이 큰 버스, 화물 및 사업용 차량의 교통안전 강화를 위해 5개 분야, 15개 과제를 골자로 하는 “사업용 차량 교통안전 강화대책”을 마련하였다. 주요 내용으로는 4시간 이상 연속 운전 시 최소 30분 이상의 휴게시간 보장, 운수업체에 대한 교통안전점검 강화, 첨단안전장치 장착 의무화, 고속도로 졸음쉼터 확충 등이 있다. 이 대책을 기반으로 2016년 9월 한국도로공사, 교통안전공단, 화물자동차운수사업연합회가 공동으로 ‘첨단경고장치 보급을 위한 업무협약’을 체결하였고, 첨단경고장치가 피로 및 졸음 등으로 인해 발생하는 사고를 미연에 방지하여 교통사고 감소에 효과적이지를 평가하기 위한 시범사업을 진행하였다.

본 연구는 시범사업 동안 수집된 자료를 활용하여 졸음운전 사고 등 교통안전에 긍정적 효과가 있을 것이라 생각되는 첨단경고장치가 차량에 장착된 후 개별 운전자의 운전행태에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하는 것을 목적으로 한다. 첨단경고장치의 주요 기능은 전방 충돌경고(Forward Collision Warning, FCW) 및 차로이탈경고(Lane Departure Warning, LDW)를 운전자에게 제공함으로써 사고를 방지하는 것이기 때문에, 첨단경고장치의 효과는 설치 전·후의 경고횟수 변화 또는 사고건수의 변화 등으로 평가될 수 있다. 그러나 시범사업 진행 시 첨단경고장치 장착 이전의 관련 자료가 체계적으로 수집되지 못하였기 때문에 첨단경고장치의 효과를 정량적으로 평가하기 위한 사전·사후분석 방법의 적용은 어려운 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 대안적 방법으로 첨단경고장치 장착 이후 약 7개월간의 모니터링을 통해 주행거리 및 시간 변화에 따라 발생하는 위험운전 경고 유형을 분석하여 장착 이후 운전자들의 운전행태가 어떻게 변화하는지를 검토하였으며, 분석결과를 토대로 첨단경고장치의 설치효과를 최대화할 수 있는 방안을 제시하였다.

1.2. 연구 수행 방법론

본 연구는 첨단경고장치 설치 이후 운전자의 운전행태가 어떻게 변화하는지를 분석하여 첨단경고장치와 안전운전과의 관계를 규명하기 위한 목적으로 수행되었으며, 이를 위해 첨단경고장치를 시범적으로 설치한 사업용 화물자동차 100대를 대상으로 수집된 주행기록 데이터를 활용하여 분석하였다.

시스템을 통해 수집되는 데이터에는 해당 차량의 주행거리와 주행시간, 경고 유형별 발생시점 및 위치정보(X, Y좌표) 등이 포함되며, 위와 같은 데이터를 시간과 공간으로 분류하여 분석을 시행하였다. 시간 구분은 시스템 장착 당일을 기준으로 한 장착 후 누적일수를 의미하며, 공간구분은 X, Y좌표를 기준으로 일반도로와 고속도로로 도로유형을 구분한 후 분석을 시행하였다.

분석의 대상인 경고발생의 경우 실제로는 전방 충돌 회피, 차로이탈경고, 사각지대 감시, 후방감시 등 다양한 기능을 제공하고 있으나, 본 연구에서는 안전운전과 가장 밀접한 관계가 있다 판단되는 전방충돌경고(FCW)와 차로이탈경고(LDW)만을 대상으로 분석을 실시하였다. 전체적인 연구진행 과정은 Fig. 1과 같다.

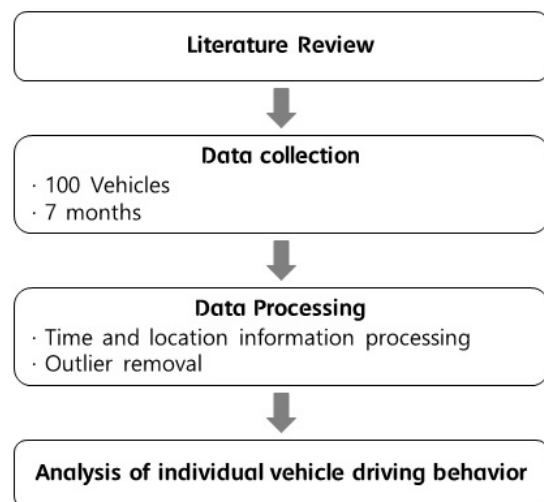


Fig. 1 Research Methods and Procedures

2. 기존 문헌 고찰

Unsel et al.(2011), Coelingh et al.(2007), Sugimoto and Sauer(2005)는 운전자지원시스템의 설치 유무에 따른 효과분석을 시뮬레이션 분석을 통해 실시했는데, 분석결과 사전충돌방지시스템(Collision Mitigation Brake System) 등의 운전자 보조장치 설치하는 사고발생 확률을 낮아지게 만드는 효과가 있는 것으로 보고하

고 있다. Kuehn et al.(2009)은 보험사 데이터를 활용하여 첨단경고장치 장착차량의 사고감소효과를 정량적으로 분석하였는데, 분석결과 차로이탈방지 시스템을 장착한 차량은 약 2.2%의 사고감소 효과가 있는 것으로 분석되었다. Lee et al.(2011)의 연구에서는 차로이탈방지장치의 성능이 운전자에 어떤 영향을 미치는지를 분석하였는데, 분석 결과 운전자의 반응시간 증가가 사고발생 가능성을 급격하게 증가시키는 것으로 나타나 해당 시스템이 교통안전에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났으며, Jeong and Oh(2013)는 실제 사고 자료를 이용하여 사고유형 및 도로유형별 운전자지원시스템의 사고감소효과를 추정하는 방법론을 제시하였으며, 운전자지원시스템 각각의 사고감소 효과와 모든 장치의 사고감소 효과를 각각 제시하였다.

이밖에 첨단경고장치 개발 및 생산 분야의 대표적 기업인 Mobileye에서는 자사 제품의 우수성을 제시하고자 다양한 기업을 대상으로 첨단경고장치 설치 전·후 효과분석을 위한 파일럿 테스트(Pilot Test)를 시행하였다. 먼저 폴란드 및 코스타리카의 Coca Cola 영업 사원 차량을 대상으로 시스템을 장착하고, 19주 동안 운전자의 운전습관 변화를 관측한 결과, 테스트를 시작한 첫 달 동안 전방충돌 및 차로이탈 등의 경고 건수가 크게 감소하고 이후 안정화 되는 추세를 나타내는 것으로 검토되었다. 또한 Nestle의 영업차량을 대상으로 총 25대의 차량에 첨단경고장치를 장착하고 사전 2주, 사후 9주 동안 장착 전후 경고발생 현황을 분석한 결과 주행거리 100km당 전방충돌경고(FCW) 횟수는 약 7.1%, 주행거리 100km당 차로이탈경고(LDW) 횟수는 약 6.4% 정도 감소하는 것으로 나타나 첨단경고장치 설치 이후 운전자의 위험운전 횟수는 감소하는 것으로 보고하고 있다.

마지막으로 호주에서 총 9대 차량을 대상으로 11주(사전 3주, 사후 8주) 동안 수행한 시범사업에서도 위와 유사하게 사전기간 3주간의 주행거리 100km당 평균 경고발생 건수의 경우 FCW 1.2건, LDW 6.9건으로 나타난 반면, 사후기간인 8주 동안에는 주행거리 100km 당 평균 경고발생 건수가 FCW 1.0건, LDW 2.7건으로 나타나 모든 유형의 경고가 감소하는 것으로 검토되었다.

이처럼 기존 운전자지원시스템의 효과분석과 관련한 대부분의 연구에서는 시스템의 설치 이후 경고발생 횟수가 감소한다는 것을 시뮬레이션 분석 또는 실차실험 등을 통해 증명해 보이고 있다. 그러나 대부분의 연구는 운전자지원시스템의 효과를 개별 차량별로 분석하기 보다는 분석에 활용된 전체 차량의 자료를 집계(aggregate)한

결과를 이용하여 분석을 시행되었다. 그 결과 해당 장치의 설치 이후 모든 운전자의 운전행태가 실질적으로 긍정적인 변화를 나타냈는지 파악하는 데에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 안전운행과 관련한 운전자의 주행패턴이 어떻게 변화하는지를 검토하기 위해 운전자가 첨단경고장치를 장착한 시점으로부터의 주행거리 및 시간 경과에 따른 개별차량의 경고발생 데이터를 활용하여 개별운전자의 주행행태 변화를 심도있게 검토하고자 한다.

3. 데이터 수집 및 가공

3.1. 데이터 수집 현황

개별차량의 주행행태 분석을 위해 2016년 11월 25일부터 2017년 6월 30일까지 약 7개월간 첨단경고장치를 장착한 100대의 사업용 화물자동차의 주행데이터를 수집하여 활용하였다. 100대의 차량 중 첨단경고장치가 최초로 장착된 차량의 경우에는 장착일로부터 최대 216일의 누적 주행데이터가 수집 가능한 반면, 마지막으로 장착된 차량은 최대 127일 동안의 주행데이터 수집이 가능하다¹⁾. 주행데이터 수집 및 정리과정을 통해 첨단경고장치 장착 차량의 운행실적을 검토한 결과, 최종 분석용 자료에는 Table 1과 같이 총 94대 차량으로부터 수집된 15,034일의 운행실적 데이터가 포함되었다. 나머지 6대 차량에 대한 운행실적 자료는 수집되지 않아 제외하였다.

Table 1. Description on the Composition of Vehicles by Cumulative Operating Days

Driving days (days)	Number of vehicles	Ratio	Cumulative rate	Driving days (days)	Number of vehicles	Ratio	Cumulative rate
0~10	1	1.1%	1.1%	130~140	5	5.3%	28.7%
10~20	2	2.1%	3.2%	140~150	5	5.3%	34.0%
30~40	1	1.1%	4.3%	150~160	4	4.3%	38.3%
50~60	1	1.1%	5.3%	160~170	9	9.6%	47.9%
60~70	1	1.1%	6.4%	170~180	6	6.4%	54.3%
70~80	1	1.1%	7.5%	180~190	13	13.8%	68.1%
80~90	1	1.1%	8.5%	190~200	13	13.8%	81.9%
90~100	5	5.3%	13.8%	200~210	12	12.8%	94.7%
100~110	2	2.1%	16.0%	210~220	5	5.3%	100.0%
110~120	2	2.1%	18.1%	Total	94	100%	-
120~130	5	5.3%	23.4%				

1) 시범사업을 통한 첨단경고장치의 설치는 총 4개월에 걸쳐 진행되었는데, 2016년 11월 26일에 최초 장착을 시작으로 2017년 2월 23일에 마지막으로 설치를 완료하였다.

3.2. 분석 데이터 구성

첨단경고장치를 통해 수집된 데이터는 Table 2와 같이 총 10개의 데이터 필드로 재정리되었다.

Table 2. Description of a Dataset Used in the Analysis

Attribute	Data type	Description
CAR_ID	CHAR(10)	Vehicle identification number
DATE	CHAR(8)	EVENT Occurrence date(YYYYMMDD)
DATE_SEQ	INTEGER	The occurrence date consecutive
HIGHWAY_FLAG	INTEGER	Roadway classification indicator (0:General Road, 1:Expressway, 2:sum total)
TRV_LENGTH	INTEGER	Driving distance(km)
TRV_TIME_ORI	INTEGER	Driving time(min):Including stopped time(no change in distance)
TRV_TIME	INTEGER	Driving time(min):Without stopped time
FCW	INTEGER	Number of Forward Collision Warning(FCW) alarmed
LDW	INTEGER	Number of Lane Departure Warning(LDW) alarmed
ERR_CHK	INTEGER	If warning data is recorded but no operation data exist(0:No error, 1:error)

CAR_ID는 첨단경고장치가 설치된 차량을 구분하기 위한 고유 식별번호로 10자리 문자로 이루어져 있으며, DATE는 경고가 발생한 시점을 의미하는 것으로 년/월/일의 8자리 문자로 표시된다.

DATE_SEQ는 3.1에서 설명한 바와 같이 최초 장착 일로부터의 시간경과를 1일 단위로 분류한 것을 의미한다. HIGHWAY_FLAG는 도로별 경고발생 특성을 검토하기 위한 항목으로 고속도로와 일반도로, 전체도로로 구분되도록 작성하였다.

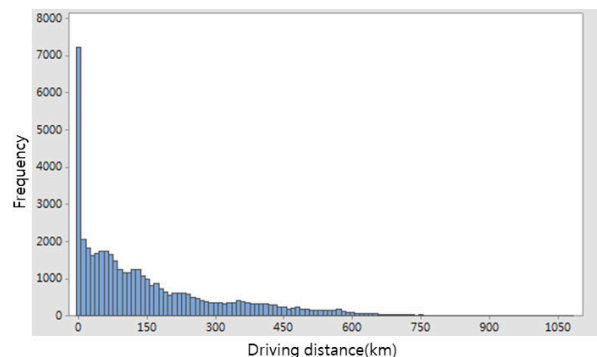
주행거리(TRV_LENGTH)는 차량별 1일 주행거리를 의미하는데, 원시 데이터는 첨단경고장치가 장착된 시점부터 데이터 수집 종료일까지의 전체 누적주행거리를 기록하고 있기 때문에 차량별 1일 주행거리 산출을 위해 원시 데이터 가공작업을 실시하였다. 우선 해당 데이터를 기록된 날짜 순으로 정렬한 후 총 누적주행거리에서 이전 누적주행거리의 차를 산출함으로써 차량별 1일 주행거리를 구할 수 있다. 주행시간은 주행거리 산출방법과 동일하게 수집된 데이터를 DATE로 구분하여 합산 후 산출하였다. 주행시간의 경우 차량의 위치가 변하지 않는 상태(상하차 또는 휴식 등)에서 주행시간이 누적되는 경우가 발생하는데, 위와 같은 경우는 실제 운전행위가 발생하지 않은 것이라 판단되기 때문에 정지시

간 포함여부에 따른 분석을 위해 TRV_TIME_ORI(정지시간 포함)과 TRV_TIME(정지시간 제외)으로 구분하여 자료를 구축하였다. FCW와 LDW는 전방충돌경고 및 차로이탈경고 발생횟수를 의미하는데, 역시 주행시간과 거리에 따른 발생횟수를 기준으로 구축되었다. 마지막으로 ERR_CHK는 오류데이터를 검토하기 위한 항목으로 경고데이터가 기록되어 있으나 누적주행거리나 주행시간이 없는 경우 오류데이터로 분류하여 표시하였고, 관제데이터에 누적주행거리 또는 위치좌표가 없는 경우는 분석용 자료에서 데이터를 삭제하였다.

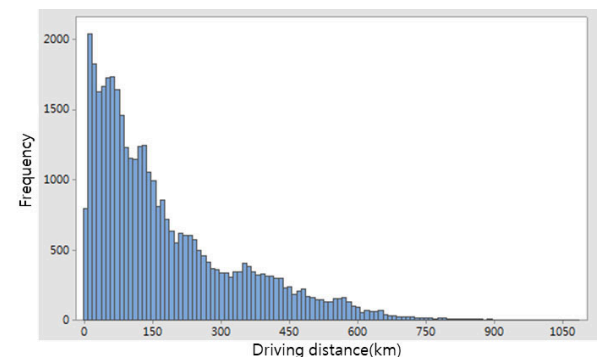
3.3. 데이터 가공 및 이상치 제거

분석에 앞서 수집된 데이터에 대한 적정성 검토를 수행하였다. 수집데이터 중 일부 자료는 특정일에 주행시간 및 주행거리가 과도하게 길거나 혹은 반대로 짧게 나타나는 현상이 발생하였는데, 이러한 데이터가 적절하게 제거되지 않고 실제 분석에 포함될 경우에는 왜곡된 결과가 도출될 수도 있다. 따라서 실제 분석과정에서는 이와 같은 데이터를 삭제한 후 분석을 시행하는 것이 타당하다고 생각되어, 이를 위한 이상치 제거과정을 시행하였다.

이상치라 판단되는 데이터의 대표적인 유형은 고속도



(a) Distribution of Distance Traveled with Outliers

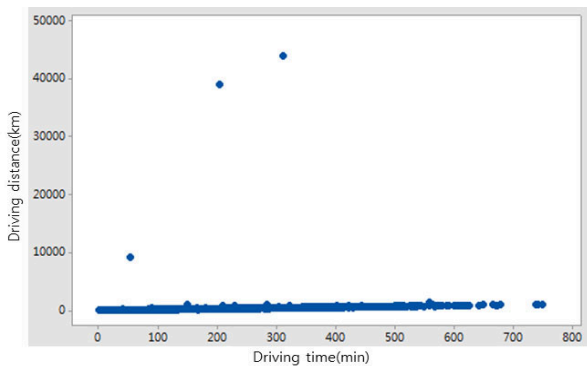


(b) Distribution of Distance Traveled without Outliers

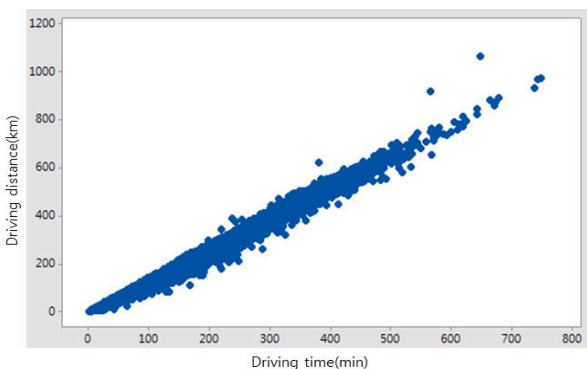
Fig. 2 Distribution of Distance Traveled with and without Outliers

로 또는 일반도로의 주행거리와 주행시간이 “0”으로 실제 해당 도로에서 주행이 이루어지지 않았음에도 데이터에 포함되어 경고 발생 건수를 0으로 계산하는 경우와 주행시간 대비 주행거리가 과도하게 높아 실제 주행 데이터라 판단하기 어려운 경우 등으로 구분된다. 실제 분석에서 1일 총 주행거리 및 주행시간에 “0”이 포함된 데이터로 분석을 진행할 경우 평균 주행거리 및 주행시간 산출시 과소추정 되는 결과를 나타낼 수 있다. 또한 Fig. 2에서 보여지듯이 1일 총 주행거리와 주행시간이 각각 1km와 1분 미만의 데이터는 사업용 화물자동차에서 현실적으로 발생하기 어려운 유형이라 판단되어 분석에서 제외하였다.

이밖에 Fig. 3과 같이 주행시간과 주행거리와의 관계를 그래프로 나타낸 결과 1일 주행거리가 주행시간을 과도하게 초과하는 경우(주행시간 1시간에 주행거리가 120km 이상인 경우) 역시 현실적으로 불가능한 상황이라 판단하여 분석 데이터에서 제거하였다.



(a) Relationship between Travel Time and Distance Traveled with Outliers



(b) Relationship between Travel Time and Distance Traveled without Outliers

Fig. 3 Travel Time–distance Relationship before and after Removal of Outliers

위와 같은 이상치 제거과정을 통해 Table 3과 같이 전체도로 1,070일(총 데이터의 7.1%), 일반도로 1,080

일(총 데이터의 7.2%), 고속도로 4,278일(총 데이터의 28.5%)의 데이터가 제거되었으며, 최종 분석에서는 도로유형별 분석차량 기준 전체도로 89대, 고속도로 77대의 개별차량 데이터가 활용되었다.

Table 3. Summary of the Dataset after Removing Outliers

Classification	Number of outliers by road type		
	General Road	Expressway	Sum total
All data	15,034	15,034	15,034
Distance "0"	398	4,070	398
Time "0"	1	4,069	0
Driving distance less than 1km	1	4,069	0
Driving time less than 1min	1,080	4,276	1,070
Distance over travel time	0	4	0
The final data used	13,954	10,756	13,964

4. 개별차량 주행행태 분석결과

선행 연구에서는 첨단경고장치의 설치효과를 개별 차량당 경고발생 횟수를 주행일수 경과에 따라 일 또는 주 단위로 산출하여 해당 구간에 속하는 차량의 모든 데이터 값을 평균하는 방식을 통해 분석하였다. 이러한 방법은 집단 전체에 대한 효과를 거시적·종합적으로 분석하고 평가하는 데에는 적절하지만, 개별 운전자별 효과 평가와 같은 미시적 분석에 적용하는 것은 한계가 있다. 전체 집단에 대한 효과평가는 집계된 자료를 기반으로 이루어지기 때문에 평가대상 중 실제 과반 이상의 운전자들에게 부정적인 효과가 나타난다 하더라도 전체 결과에서는 긍정적인 효과로 나타날 수도 있다. 따라서, 이런 측면을 적절하게 반영하여 평가하기 위해서는 개별 운전자별로의 평가가 필요하기 때문에 이런 점이 개별 운전자별 효과평가의 필요성 및 의의라 말할 수 있다.

개별 운전자별 첨단경고장치의 장착 효과를 검토하기 위해 개별 운전자의 주행 패턴을 첨단경고장치 장착일로부터 누적된 주행거리와 시간을 기준으로 일 단위로 환산한 뒤 주행일수 변화에 따른 경고발생 현황을 분석하는 방식으로 연구가 진행되었다.

분석대상 도로의 경우 운전자가 주행한 모든 유형의 도로를 기준으로 하되 일반도로와 통행특성이 확연하게 구분되는 고속도로를 별도로 구분하여 각각 분석을 시행하였으며, 분석 기준은 주행거리 100km 당, 주행시간 1시간 당 FCW와 LDW 경고발생 값을 활용하되 단순

건수 기준과 누적 건수 기준으로 구분하여 분석을 시행하였다.

4.1. 일별 발생 경고횟수 기반 분석

시범사업 기간 동안의 개별 운전자별 운행실적을 비교해 보면 운전자별로 주행거리, 주행시간, 주행일수가 전부 다르게 나타난다. 이는 장거리를 주행한 운전자일수록, 장시간 운전한 운전자일수록, 그리고 근무일수가 많은 운전자일수록 경고발생 빈도수가 더 높게 나타날 가능성이 있다는 것을 의미하기 때문에, 경고발생 빈도수의 단순 비교는 적절하지 않다. 따라서, 본 분석에서는 개별 운전자의 경고발생 빈도수를 일별로 '주행거리 100km 당'과 '주행시간 1시간 당'으로 변환하여 주행행태의 변화를 검토하였다.

첨단경고장치 장착에 따른 개별 운전자들의 주행행태 변화를 검토하기 위해 차량 ID를 기준으로 산출된 데이터를 일별 주행거리 100km 당과 주행시간 1시간 당 기준을 적용하여 경고발생 빈도수 변화 추이를 검토하였으며, 총 89대 개별차량의 주행거리 및 시간변화에 따른 경고발생 추이는 Fig. 4와 같이 시간이 지남에 따라(주행일수가 증가함에 따라) 점차 감소 또는 증가하거나, 변화가 없는 3가지 유형으로 구분됨을 확인하였다.

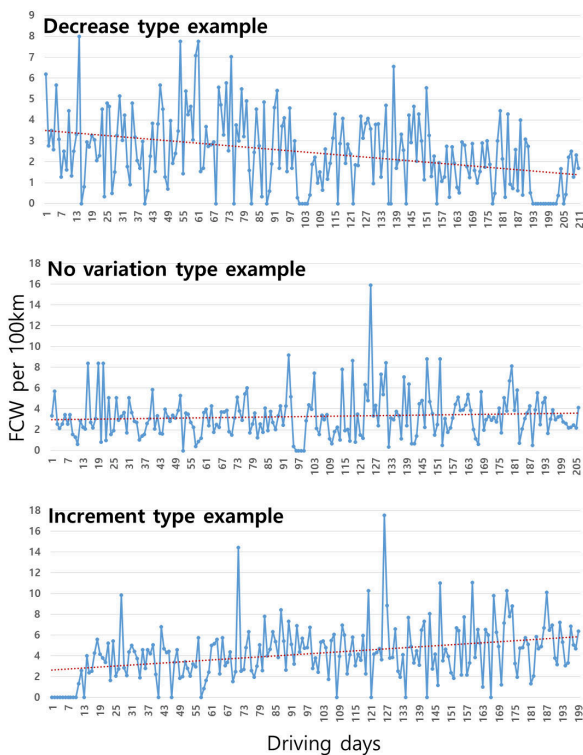


Fig. 4 FCW Per 100km due to Driving Days (Sample of Relation)

이는 개별 운전자마다 첨단경고장치 장착 이후의 운전행태가 일정하지 않고 서로 다르다는 것을 의미하는데, 다시 말하면 집계된 자료 기반의 분석 외에도 비집계된 자료 기반의 분석 역시 의미있는 결과를 도출할 수도 있다는 것을 의미한다.

전체 도로를 대상으로 수집된 총 89대 차량의 운행실적 자료를 기반으로 일별 FCW 및 LDW 발생건수 변화를 검토한 결과, Table 4에 나타난 바와 같이 FCW의 경우 주행거리 100km 당 및 주행시간 1시간 당 발생 빈도수 모두 총 19대(21%)의 차량에서 첨단경고장치 장착 이후 지속적인 감소추세를 발견할 수 있었다. 그러나 이와는 반대로 첨단경고장치 장착 이후 오히려 FCW 발생 빈도수가 증가한 차량은 각각 31대 및 20대로 나타났다.

이와 유사하게 주행거리 100km 당 및 주행시간 1시간 당 LDW 발생건수는 각각 23대(26%)와 21대(24%)의 차량에서 지속적인 감소추세가 나타나고 있어 약 21%의 운전자가 첨단경고장치 장착 이후 안전하고 긍정적인 주행행태를 보이는 것으로 해석된다. 그러나 차로이탈경고 발생 빈도는 전방충돌경고 발생빈도보다 더 많은 차량에서 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 운전자들이 전방 충돌에 비해 차로이탈의 위험성을 상대적으로 낮게 인식하고 있기 때문에 나타나는 결과라고 생각한다.

다음으로는 전체 도로가 아닌 고속도로 주행실적만을 대상으로 추출한 자료를 이용하여 분석을 실시하였는데, 그 이유는 다음과 같다. 일반도로는 고속도로에 비해 신호등으로 인한 감·가속 및 빈번한 차로변경 등으로 인해 교통류가 불안정한 경우가 많아 위험운전 경고가 발생할 가능성이 높은 것으로 예상된다. 그에 반해 고속도로의 교통류 상태는 일반도로에 비해 훨씬 더 안정적이기 때문에 FCW 및 LDW 발생빈도수에 영향을 미치는 외부요인이 상대적으로 감소하며, 따라서 개별 운전자의 주행행태 변화 추이를 보다 더 정확하게 검토할 수 있을 것으로 판단했기 때문이다.

고속도로의 주행실적을 보유한 총 77대의 차량을 대상으로 동일한 분석을 실시한 결과 Table 4에 제시된 것처럼 전체도로를 대상으로 실시한 분석결과와 유사한 결과가 도출되었다. 단, 주행거리 100km 당 FCW 발생 횟수의 경우 감소추세를 나타내는 차량이 12대(16%), 1시간 당 FCW 발생 횟수의 감소추세를 나타내는 차량은 16대(21%)로 전체도로에 비해 다소 낮은 값이 산출되었으며, LDW 발생횟수 역시 100km 당 기준의 경우 19대(25%), 1시간 당 기준의 경우 18대(23%) 차량이 감소추세를 나타내는 것으로 분석되어 도로유형구분에 따른

주행행태 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 한 가지 흥미로운 결과로는 FCW 및 LDW 발생빈도수에 변화가 없는 비율이 고속도로에서 더 높은 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 고속도로에서는 외부요인에 의한 영향이 상대적으로 적기 때문에 나타나는 결과라 생각한다.

Table 4. Driving Behavior Change (Simple Occurrence Count)

Type classification		Number of vehicles(ratio)		
		Decrease	Increase	No variation
All roadway	FCW per 100km	19(21%)	31(35%)	39(44%)
	FCW per hour	19(21%)	20(22%)	50(56%)
	LDW per 100km	23(26%)	41(46%)	25(28%)
	LDW per hour	21(24%)	31(35%)	37(42%)
Expressway	FCW per 100km	12(16%)	11(14%)	54(70%)
	FCW per hour	16(21%)	13(17%)	48(62%)
	LDW per 100km	19(25%)	32(42%)	26(34%)
	LDW per hour	18(23%)	30(39%)	29(38%)

4.2. 누적 데이터 기준

다음으로는 개별 차량의 주행행태를 보다 상세하게 관찰하기 위해 차량별 주행거리와 주행시간, 경고발생 횟수를 누적하여 차량별 누적거리와 누적주행시간의 변화에 따른 경고발생 변화 추이를 검토하였다.

4.1절에 기술한 개별차량의 일별 차량 주행거리 및 주행시간 기반의 분석은 단순히 점차 감소, 점차 증가 및 변화 없음의 3가지 유형으로만 분석이 가능하기 때문에 개별 운전자의 주행행태 변화를 상세하게 파악하는데 한계가 있다. 따라서, 보다 상세한 분석을 위해 차량별 주행거리와 주행시간, 경고발생 횟수를 첨단경고장치 장착일 부터 누적하여 차량별 주행시간과 주행거리 변화에 따른 경고발생 빈도수의 변화 추이를 검토하였다.

전 절에 기술된 일별 단위 발생건수 분석 방법과 동일한 방법으로 개별 차량의 주행행태 변화를 분석한 결과, Fig. 5와 같이 총 6가지 유형의 주행행태 패턴이 나타나는 것으로 검토되었다.

Type A는 장착 이후 주행거리가 증가할수록 경고발생 빈도수가 지속적으로 감소하는 패턴이며, Type B는 장착 이후 일정 기간 동안은 경고발생 빈도수가 감소하다가 어느 시점 이후에는 경고발생 빈도수가 일정한 수치로 유지되는 패턴이다. 그에 반해 Type C와 D는 장착 이후 경고발생 빈도수가 지속적으로 증가하는 패턴

이며, Type E는 발생빈도의 변화가 전혀 없는 상황, 마지막으로 Type F는 경고발생 빈도수가 감소했다가 증가하는 요요현상을 나타내는 패턴이다.

개별 운전자 주행행태의 긍정적 또는 부정적 변화 여부를 각각의 경고발생 패턴 분석을 통해 유추할 수 있다. Type A의 경우는 주행시간 및 주행거리 증가에 따라 경고발생 횟수가 지속적으로 감소하기 때문에 긍정적인 변화 사례라 할 수 있으며, Type B 역시 최초 시스템 설치 이후 지속적인 감소추세를 나타내다 일정시간이 경과된 후에는 안정화되는 현상을 나타내고 있어 Type A와 마찬가지로 운전자 주행행태에 긍정적인 영향을 미치고 있다 할 수 있다.

Type C와 D는 장착 이후 경고발생 횟수가 지속적으로 증가하는 추세를 나타내기 때문에, 운전자의 주행행태가 부정적으로 변화하는 사례라 할 수 있다. 그러나 Type D로 분류된 운전자 중 어떤 운전자는 Fig. 5(d)에 제시된 그래프의 변화추세를 나타내기도 했는데, 이는 경고발생 횟수가 일정시점까지는 증가하다가 일정한 값으로 유지되는 사례이다. 하지만 일정하게 유지되는 값이 장착 초기의 값보다는 작는데, 이는 시스템 장착 이후 경고발생 횟수가 증가하기는 하지만 장착 이전의 발생횟수보다는 작기 때문에 운전자의 주행행태가 긍정적으로 변화한 것이라고 유추해 볼 수 있다. 이처럼 Type D에 속한 운전자는 안정화 되는 구간의 경고발생 평균값과 시스템 장착 이전 값의 비교를 통해 주행행태의 긍정적 또는 부정적 변화 여부를 판단하는 것이 필요하다. 그러나, 본 연구의 경우 첨단경고장치 설치 이전의 운전자 주행행태 자료를 확보하는 것이 불가능했기 때문에 해당 유형에 속한 운전자의 주행행태가 첨단경고장치의 설치로 인해 변화하였다는 것에 대한 검증만 가능하며, 해당 유형의 운전자의 주행행태가 어떻게 변화하였는지에 대한 명확한 판단에는 한계가 있다.

마지막으로 Type E의 경우 시스템 장착 이후 경고발생 변화가 없어 운전자의 주행행태에 아무런 영향을 미치지 않는 경우라 할 수 있으며, Type F는 시스템 장착 이후 일정기간 동안 감소하다가 다시 증가하는 요요현상을 보여 운전자의 주행행태에 별다른 영향을 미치지 않는 경우라 판단된다. Kim et al.(2016)의 연구에서도 DTG 기반의 교통안전교육 실시가 버스 운전자의 위험 운전 행동에 미치는 영향 중 요요현상이 발생한다는 것을 보고하고 있는데, 이런 측면을 고려하면 Type F도 첨단경고장치 설치에 따라 나타날 수 있는 현상 중 하나라고 여길 수 있다.

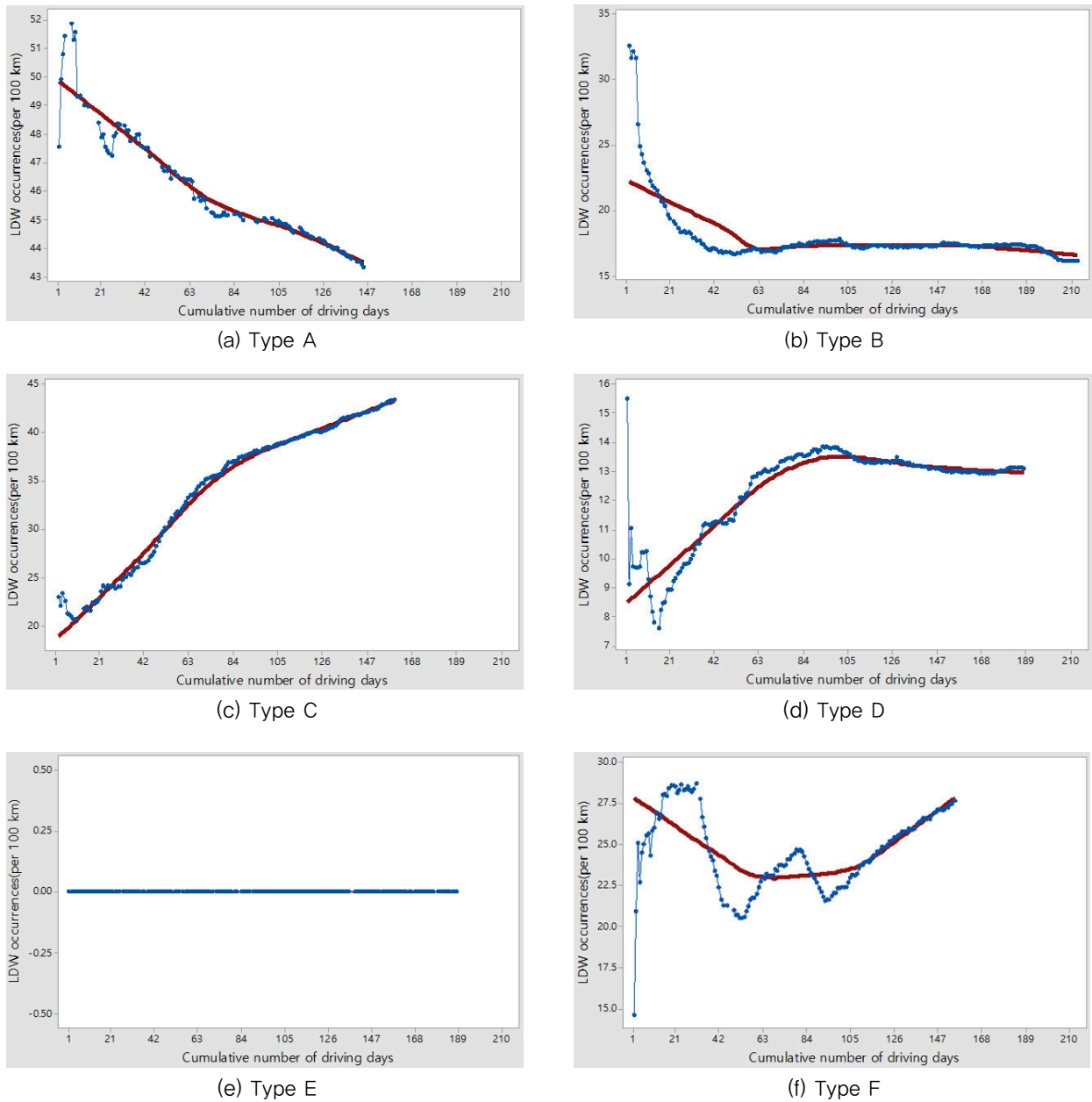


Fig. 5 Example of Six Pattern Warning Types

분석자료에 포함된 전체 차량을 대상으로 첨단경고장치 장착 이후의 누적 주행거리 100km당 누적 경고발생 빈도수를 그래프로 도식화한 후 그래프의 모양에 따라 Fig. 5에 제시된 6개 유형별로 구분하였다.

분석결과, Table 5에 제시된 것처럼 첨단경고장치의 장착이 운전자의 안전운전 행태에 긍정적 영향을 미친다고 판단되는 Type A와 B의 비중이 전체 차량의 약 35% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 전체도로 및 고속도로 모두 최초 장착 이후 일정기간 감소하다 안정화되는 Type B의 비율이 가장 높게 나타나고 있다.

경고발생 유형별 분석결과에서는 FCW가 LDW에 비하여 도로유형에 관계없이 Type B의 비율이 높은 것으로 나타나 전방추돌과 관련한 안전거리 확보 등의 운전 행태가 차로이탈과 관련한 주행행태에 비해 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 이밖에 전체 차량 중 Type B와 Type D가 차지하는 비율이 약 80% 이상으로 나타났는데, 2가지 유형 모두 초기 불규칙적인 특성을 나타내다 이후 안정화 추세를 나타내고 있다는 점에서 첨단 경고장치의 장착은 운전자별로 서로 다른 영향을 미치고 있는 것으로 해석할 수 있다.

Table 5. Driving Behavior Change
(Utilizing Cumulative Data)

Classification		Number of vehicles(ratio)					
		Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F
All roadway	FCW per 100km	1 (1.1%)	36 (40.4%)	8 (9%)	37 (41.6%)	7 (7.9%)	0 (0%)
	FCW per hour	2 (2.2%)	33 (37.1%)	12 (13.5%)	36 (40.4%)	6 (6.7%)	0 (0%)
	LDW per 100km	6 (6.7%)	33 (37.1%)	9 (10.1%)	34 (38.2%)	5 (5.6%)	2 (2.2%)
	LDW per hour	9 (10.1%)	25 (28.1%)	12 (13.5%)	37 (41.6%)	5 (5.6%)	1 (1.1%)
Expressway	FCW per 100km	1 (1.3%)	35 (45.5%)	6 (7.8%)	27 (35.1%)	8 (10.4%)	0 (0%)
	FCW per hour	2 (2.6%)	37 (48.1%)	4 (5.2%)	27 (35.1%)	7 (9.1%)	0 (0%)
	LDW per 100km	6 (7.8%)	21 (27.3%)	8 (10.4%)	32 (41.6%)	9 (11.7%)	1 (1.3%)
	LDW per hour	4 (5.2%)	27 (35.1%)	12 (15.6%)	26 (33.8%)	6 (7.8%)	2 (2.6%)

5. 결론 및 향후연구

사업용 자동차의 경우 일반 차량에 비해 일평균 주행 거리와 주행시간이 높고 이로 인해 발생하는 피로도 증가로 인해 사고위험성 역시 높게 나타나고 있다. 특히 최근 사업용 자동차의 졸음운전으로 인한 대형사고가 지속적으로 발생하고 있어 이에 대한 근본적인 대책마련이 필요하다 할 수 있다.

최근 졸음으로 인해 발생하는 교통사고를 예방하기 위하여 정부는 운전자에게 위험상황을 경고하는 첨단경고장치의 장착 및 보급을 적극 추진하고 있는 상황이다. 국내외 관련 연구에서는 첨단경고장치의 설치로 인해 발생하는 교통안전 및 경제적 측면의 긍정적인 효과를 정량적 또는 정성적으로 분석하여 제시하고 있지만, 대부분의 연구가 거시적 관점에서의 효과 측정에 편중되어 있으며, 실제 해당 장치의 장착이 개별 운전자의 주행행태(습관)에 어떠한 영향을 주는가에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구는 위와 같은 관점에서 첨단경고장치의 설치가 개별운전자의 주행행태에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위한 목적으로 시행되었으며, 이를 위해 총 100대의 사업용화물자동차의 첨단경고장치 설치 이후 주행이력자료를 수집하여 분석을 시행하였다.

분석 결과 국외에서 수행한 단순 사전·사후 분석결과와 달리 개별 운전자의 주행행태는 제각각 매우 다른 특

성을 나타내고 있는 것으로 검토되었다. 운전자 별로 차이가 있으나 대부분의 운전자가 시스템 장착 직후 상당 기간 동안 불안정한 경고발생 패턴을 나타내고 있는 것으로 검토되었으며, 이러한 불안정한 경고발생 패턴은 시간 경과에 따라 안정화 추세를 나타내는 것으로 검토되었다.

위와 같이 첨단경고장치 설치 초기 불안정한 현상을 나타내는 이유는 운전자가 시스템에 적응하기 위한 시간이 필요함을 의미하며, 첨단경고장치 장착 초기에는 장착 이전의 상황에 비해 불안정한 주행행태를 나타낼 수 있음을 시사한다. 따라서 시스템 장착 초기 운전자의 혼란 방지를 위해 명확한 교육과 훈련이 선행되어야 할 필요가 있음을 의미한다.

또한 분석결과 Type D와 같이 어떤 운전자는 첨단경고장치 장착 이후 일정 시간이 경과할 경우 특정한 값으로 회귀하는 현상을 나타내고 있는데, 이는 시스템 장착 이전의 주행행태로 다시 복귀하는 것일 수 있기 때문에 이런 주행행태를 나타내는 운전자에 대해서는 지속적인 관리와 모니터링이 필요하다. 이를 위해서는 첨단경고장치 기반의 모니터링 및 운전자 교육 등을 의무적으로 실시할 수 있도록 법제도를 마련하는 것이 필요하다.

마지막으로 본 연구에서는 첨단경고장치 장착 이전의 개별 운전자 주행행태 자료를 확보하지 못한 관계로 시스템 장착 이후의 경고발생 횟수의 증가 또는 감소 여부를 정량적으로 평가하지 못했으며, 단지 차량별 경고발생 변화 추이를 통해 운전자의 주행행태 변화를 검토하였다. 보다 정확한 분석을 위해서는 첨단경고장치 장착 이전 및 이후의 주행행태 자료를 가지고 통계적 기법을 적용하여 유형별 경고발생 횟수의 증가 또는 감소 여부를 심층적으로 평가하는 것이 필요하다.

감사의 글

이 성과는 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1D1A1B03031804).

REFERENCES

- Coelingh, E., Jakobsson, L., Lind, H., and Lindman, M. (2007). "Collision Warning with Auto Brake - A Real-life Safety Perspective", The 20th International Technical Conference on the ESV, 07-0450.
- Jeong, E. and 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), pp.65-77.
- Jeong, E., Oh, C., and JUNG, S. (2014). "Methodology for

- Evaluating the Effectiveness of Integrated Advanced Driver Assistant Systems” , *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.32, No.4, pp.293-302.
- Kim, D., Lee, C., and Park, B. (2016). “Use of Digital Tachograph Data to Provide Traffic Safety Education and Evaluate Effects on Bus Driver Behavior” , *Journal of the Transportation Research Record*, No. 2585, pp.77-84.
- Kuehn, M., Hummel, T., and 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., Park, H., and Yoo, S. (2011). “LDWS Performance Study Based on Human Factors” , Proceedings of the 22st International Technical Conference on the ESV, 11-0147.
- Mobileye (2010). Coca-Cola Hellenic Wins International Fleet Safety of the Year Award. Available at: www.mobileye.com/category/press-room/fleets/
- Shachar, R. (2014). “Actuarial Research on the Effectiveness of Collision Avoidance Systems” . Ron Actuarial Intelligence LTD.
- Sugimoto, Y., and 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., and Ranovona, M. (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.