

버스운전자 안전운행지원을 위한 교통사고 분석 연구

The Analysis of Bus Traffic Accident to Support Safe Driving for Bus Drivers

빈 미 영* · 손 슬 기**

* 주저자 및 교신저자 : 경기연구원 휴먼교통연구실 선임연구위원

** 공저자 : 경기연구원 휴먼교통연구실 연구원

Miyoung BHIN* · Seulki SON**

* Dept. of Transportation Policy, Gyeonggi Research Institute

** Dept. of Transportation Policy, Gyeonggi Research Institute

† Corresponding author : Miyoung BHIN, mybin@gri.re.kr

Vol.18 No.1(2019)

February, 2019

pp.14~26

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.1.14>

2019.18.1.14

Received 19 November 2018

Revised 12 December 2018

Accepted 15 January 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

버스운전자의 안전운행을 확보하기 위해서는 운전자 교통사고 원인 등을 분석해 안전운행을 지원 할 수 있는 정책이 뒷받침되어야 한다. 따라서 국토교통부는 사업용 차량에 운전자를 보조하는 첨단 운전자지원시스템 중 전방충돌경고장치, 차선이탈경고장치의 장착의무대상을 단계적으로 확대하는 방안을 마련한 바 있다. 그러나 버스운전자 교통사고분석과 관련된 기초 연구는 국내에서 많이 수행되고 있지 않아, 버스사고예방을 위하여 향후 버스운전자에게 가장 필요한 첨단 운전자지원시스템이 무엇인지에 대한 연구가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 버스유형 및 반복사고 여부별 사고심각도를 분석하고 개선방안으로 버스의 첨단 운전자지원시스템 지원 방향을 제시하는데 목적이 있다. 사고심각도 분석은 순서형 로짓 모형을 이용해 분석하였으며 분석결과, 차대사람사고는 모든 모형에서 통계적으로 유의미하게 선정되었고 범규위반항목의 속도위반, 신호위반, 승객을 위한 안전조치위반이 제안된 모형에서 공통적으로 선정되었다. 따라서 향후 버스 대 사람사고를 감소시킬 수 있는 보행자감지시스템, 보행자 자동긴급제어장치의 설치가 반드시 필요하다.

핵심어 : 첨단 운전자지원시스템, 버스운전자, 사고심각도, 범규위반

ABSTRACT

For bus drivers' safe driving, a policy that analyzes the causes of the drivers' traffic accidents and then assists their safe driving is required. Therefore, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport set up its plan to gradually expand the equipping of commercial vehicles with FCWS (Forward Collision Warning System) and LDWS(Lane Departure Warning System), from the driver-supporting ADAS(Advanced Driver Assistance Systems). However, there is not much basic research on the analysis of bus drivers' traffic accidents in Korea. As such, the time is appropriate to research what is the most necessary ADAS for bus drivers going forward to prevent bus accidents. The purpose of this research is to analyze how serious the accidents were in the different bus routes and whether the accidents were repetitive, and to give recommendations on how to support ADAS for buses, as an improvement. A model of ordered logit was used to analyze how serious the accidents were and as a result, vehicle to pedestrian accidents which directly affected individuals were statistically significant in all of the models, and violations of regulations, such as speeding, traffic signal violation and violation of safeguards for passengers, were indicated in common in several models. Therefore, the pedestrian-sensor system and automatic emergency control device for

pedestrian should be installed to reduce bus accidents directly affecting persons in the future, and education for drivers and ADAS are to be offered to reduce the violations of regulations.

Key words : Advanced driver assistance systems, Bus driver, Accident severity, Violation of regulations

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

우리나라에서는 2018년 9월 4일, 국내최초 자율주행 미니버스 ‘제로셔틀’이 시범운행을 시작하였다. 이러한 자율주행셔틀은 미래의 대중교통수단 중에서도 버스의 역할을 담당할 것으로 전망되고 있다. 대중교통수단으로 이용되기 위해서는 탑승객의 안전성과 편리성이 보장되어야 하며, 이는 버스운전자의 안전운행이 확보 되어야 가능하다. 따라서 운전자 교통사고 원인 등을 분석해 안전운행을 지원 할 수 있는 정책이 뒷받침 되어야 하며, 자율주행기술에서도 반영되어야 할 것이다.

국토교통부는 2017년 7월 ‘사업용 차량 자율운전 방지대책’의 일환으로 운전자를 보조하는 첨단 운전자지원시스템(Adas : Advanced driver assistance systems) 중 전방충돌경고장치(FCW : Forward Collision Warning), 차선이탈경고장치(LDW : Lane Departure Warning)의 장착의무대상을 확대한다고 밝혔다. 이에 경기도에서는 G버스(경기도 광역버스) 2,187대에 전방충돌경고장치 및 차선이탈경고장치 부착을 지원한 바 있다. 그러나 버스운전자 교통사고분석과 관련된 기초연구는 국내에서 많이 수행되고 있지 않아, 버스사고예방을 위하여 향후 버스운전자에게 가장 필요한 첨단 운전자지원시스템이 무엇인지에 대한 연구가 필요한 시점이다.

본 연구는 이러한 배경 하에 버스유형 및 반복사고 여부별 사고심각도를 분석하고 개선방안으로 버스의 첨단 운전자지원시스템 지원 방향을 제시하는데 목적이 있다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2015년-2017년(3개년)이며, 공간적 범위는 경기도 31개 시·군에서 발생한 경기도 관할 버스운전자 원인으로 발생한 교통사고를 대상으로 한다. 연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 선행연구고찰을 통해 첨단 운전자지원시스템 연구동향 및 버스사고 심각도 관련 변수를 검토한다. 둘째, 사고자료를 수집하여 코딩한 후 다중공선성 검토를 실시해 최종 변수를 선정한다. 셋째, 모형유형을 전체, 버스유형별(광역급행, 직행좌석, 좌석, 일반), 반복사고 여부별(반복사고, 비 반복사고)로 구분하여 순서형 로짓 모형을 이용한 사고심각도를 분석한다. 마지막으로, 유형별로 채택된 변수를 비교·분석함으로써 향후 첨단 운전자지원시스템 도입 방향을 제시한다.

II. 기존문헌고찰

1. ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)정의 및 정책동향

첨단 운전자지원시스템은 운전자가 안전하고 편리하게 운전할 수 있도록 지원하는 솔루션으로 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)라고 불린다. Jeong et al.(2010)은 운전자지원시스템을 생체(피로도, 졸음운전, 집중 상황 등)를 단계별로 감지하여 위험도를 실시간으로 규정하고, 운전자의 안전운전 단계에 따른 조치를 취함으로써 안전운전을 유도하기 위한 미래 자동차 시스템의 핵심기술이라 정의하였다. 첨단 운전자지원시스템은 국내에서는 2004년부터 개발을 시작하여 2010년부터 상용화하기 시작하였다(Choi, 2018).

첨단 운전자지원시스템 개발은 안전성(Active Safety)과 편의성(Automated Driving)으로 나뉜다. 첨단 운전자지원시스템은 개발하는 주체에 따라 다양하게 개발할 수 있으나, 이를 차량에 설치하여 상용화하기 위해서는 세계신차평가제도에서 인증을 받아야 한다. 세계신차평가제도(Global NCAP:Global New Car Assessment Program)는 미국 도로교통안전국(NHTSA:National Highway Traffic Safety Administration)과 유럽의 유로신차평가제도(EURO NCAP)가 대표적이다. 각국에 존재하는 신차평가제도는 미국과 유럽의 승인결과를 수용하는 형태이며 우리나라에는 KNCAP(Korean New Car Assessment Program)이 있다.

한국교통안전공단에서는 첨단운전자지원시스템 평가기술을 개발하고 제도화함으로써 제작사에게는 기술개발의 가이드라인을 제시하고, 자동차 안전도를 향상시켜 국민의 교통안전을 강화하기 위해 「첨단안전자동차 안전성평가 기술개발(Korea Transportation Safety Authority, 2009-2016)」연구를 수행하였으며, 그 내용을 자동차 안전도평가와 자동차안전기준 등 국토교통부 교통안전정책에 반영하였다. 국내 승용차 첨단 운전자지원시스템 기반기술 제도반영 현황은 <Table 1>과 같다. 2013년 차선이탈경고장치(Lane Departure Warning:주행하는 차로를 운전자의 의도와는 무관하게 벗어나는 것을 운전자에게 경고하는 장치), 전방충돌경고장치(Forward Collision Warning:주행 중인 차원에서 앞차와의 충돌을 회피하거나 완화하기 위해 운전자에게 경보를 주기 위한 장치)가 「자동차안전도평가시험 등에 관한 규정(국토교통부)」에 처음 제도화 되었다. 이후 2017년 차로유지지원장치(Lane Keeping Assist:주행 중인 차로 내를 주행하도록 보조하는 장치), 비상자동제동장치(Autonomous Emergency Braking:주행 중 전방충돌 상황을 감지해 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 자동차를 감속 또는 정지) 등 7개의 첨단 운전자지원시스템이 제도화 되었다. 이에 비해 국내 버스 첨단 운전자지원시스템 개발 속도는 적은 수요, 차체 크기 등의 이유로 다소 느리게 진행되고 있는 실정이다(Choi, 2018).

<Table 1> Policy of ADAS

ADAS	Year	Policy
FCW(Forward Collision Warning)	2013	KNCAP
LDW(Lane Departure Warning)	2013	
BSD(Blind Spot Detection)	2017	
ACC(Adaptive Cruise Control)	2017	
ISA(Intelligent Speed Assist)	2017	
RCTA(Rear Cross Traffic Assist)	2017	
ASLD(Adjustable Speed Limitation Alert)	2017	
LKAS(Lane Keeping Assist System)	2017	
AEBS(Advanced Emergency Braking System)	2017	

Min(2017), Status and Future Issues of Development of Autonomous Car, Kama web journal, vol. 343.

2017년 1월 「교통안전법(국토교통부)」이 개정(제55조의2)되어 화물차, 버스 등에 대해 교통사고 예방 효과가 높은 차선이탈경고장치 장착이 의무화되었다. 국토교통부는 사업자 부담을 최소화하기 위하여 과태료가 부과되는 2020년 이전까지는 설치비용을 일부 지원하는 계획을 수립하였다. 또한 국토교통부는 사업용 차량의 교통사고를 감소시키기 위한 방안으로 “사업용 차량 줄임운전 방지대책(2017.7.28.)”을 발표하였다. 그 내용은 운전자 근로여건을 개선하고 운전자를 보조하도록 첨단 운전지원시스템 설치를 확대하며 장시간 연속운행을 하지 않도록 안전한 운행환경을 조성하는 것이다. 첨단 운전지원시스템 장착 확대는 2017년 안에 수도권 광역버스 3,000여대에 전방충돌경고장치와 차선이탈경고장치 장착을 완료하고 단계적으로 확대하는 계획이다. 기존에는 11m 초과 승합차를 대상으로 전방충돌경고장치와 차선이탈경고장치를 장착하도록 하였으나 2019년까지 대상차량을 확대하여 고속도로를 운행하는 길이 9m 이상 사업용 승합차량까지 포함하였고 이를 위해 장착비용의 일부를 지원하는 내용이다. 또한 새로 제작되는 차량의 경우에는 국제기준에 맞춰 모든 승합차와 3.5톤 초과 화물·특수차량에도 비상자동제동장치와 차선이탈경고장치를 단계적으로 의무장착하도록 하고 첨단 운전지원시스템을 장착한 신규제작차량의 보급 확대를 위해 인센티브를 제공할 계획을 수립하였다.

경기도는 이와 같은 정책동향에 맞춰 「2017년 시내버스 시설개선사업 추진계획을 수립(GyeongGi-Do, 017)」하고 첨단 운전지원시스템 설치를 지원하였으며, 2018년 1월 기준 경기도 직행좌석버스 및 좌석버스 2,187대에 차선이탈경고장치 및 전방충돌경고장치 장착을 완료하였다.

2. 기존문헌고찰

첨단 운전지원 관련 선행연구는 크게 첨단운전지원시스템의 효과분석연구와 설문조사연구로 정리할 수 있다. 첨단운전지원시스템 효과분석연구로 Jeong and Oh(2013)은 첨단운전지원시스템 도입 전·후 사고회피시간에 따른 사고발생추정방법론을 개발하고, 사례분석을 통해 사고감소효과를 추정하였다. 연구결과, 차선이탈경고장치는 도로 외 이탈, 정면충돌 등과 같은 차선이탈 관련 사고유형에 대해 약 10~14%의 사고감소효과를 갖는 것으로 분석되었으며, 자동비상제동장치는 추돌사고에 대하여 약 50%의 사고감소효과를 갖는다고 주장하였다. Jeong et al.(2014)은 계층화분석법(AHP : Analytic Hierarchy Process)을 활용하여 첨단운전지원시스템 효과추정 방법론을 제시한 바 있다. 적응형순항제어장치, 자동비상제동장치, 차선이탈경고장치, 사각지역감소장치의 사고감소효과를 추정하였으며, 각각 10.43%, 10.17%, 9.96%, 10.14%의 사고감소효과를 갖는 것으로 분석되었다. Lee et al.(2018)은 자율주행적극성이라는 개념을 정의하고 교통운영 관리를 위한 자율주행 서비스 시나리오를 구상하였다. 연구결과 통행자유도가 낮을수록, 자율주행차의 주행적극성이 높아질수록 안전성이 낮아지는 것으로 분석되었다.

첨단운전지원시스템 설문조사연구로 Choi et al.(2018)은 고령 택시운전자 16명을 대상으로 첨단운전지원시스템 이용 전·후 효과 및 만족도를 조사하였다. 설문결과, 고령 택시운전자는 전방충돌경고장치에 대한 기대가 매우 높았으며, 보행자충돌경고장치는 만족도가 낮은 것으로 나타났다. Kim et al.(2016)은 일반인, 전문가 및 직업운전자를 대상으로 자율주행기술의 지불의사금액, 인지도 등을 조사한 바 있다. 일반인 운전자 중 65%가 자율주행 장치 부착에 대한 긍정적인 의사를 표시했으며, 자동주차시스템에 대한 지불의사금액이 41.5만원으로 높은 것으로 나타났다.

버스 사고심각도 관련 선행연구로 Yoon et al.(2018)은 버스운송사업 유형을 시내버스, 시외 및 고속버스, 전세버스로 구분해 순서형 프로빗 모형을 활용해 운송사업 유형별 사고심각도 영향요인을 분석하였다. 시내버스의 경우 도로 기하구조 및 재차인원이 사고심각도에 유의미한 영향을 미쳤으며, 시외 및 고속버스는 주

요 사고심각도 요인이 속도에 있는 것으로 나타났다. Proto and Kaplan(2014)은 순서형 로짓 모형을 이용해 덴마크 내 버스 사고심각도 영향요인을 분석하였다. 버스 사고심각도는 야간, 고령운전자, 미끄러운 노면 그리고 과속일수록 사고심각도가 커지는 것으로 나타났으며, 버스운전자 과실로 인한 사고를 예방하기 위한 교통 인프라 필요성을 주장하였다. Feng et al.(2016)은 순서형 로짓 모형을 이용해 미국 버스운전자에 대한 사고심각도 요인을 분석하였다. 26세 미만의 젊은 운전자 및 65세 이상의 고령운전자 일수록 사고발생위험도가 더 높은 것으로 나타났으며, 차선수가 많고 습윤한 노면일수록, 교통사고위반기록이 많을수록 사고의 심각도가 더 커진다고 주장하였다.

3. 연구차별성

본 연구는 선행연구와 다음과 같은 차별성이 있다. 첫째, 첨단 운전자지원시스템 관련연구는 대부분 승용차 관련 첨단운전자시스템 효과평가에 관한 연구이며, 향후 도입방안 및 버스 관련 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 버스 관련 첨단 운전자지원시스템 도입방안을 검토하는데 연구의 차별성이 있다. 둘째, 기존 버스심각도 관련 연구는 사고발생상황 및 도로 기하구조를 중심으로 사고심각도를 분석하였다. 본 연구는 버스심각도 요인을 반복사고, 버스유형별로 살펴보고 사고발생상황 외에도 범규위반요인 등을 고려함에 연구의 차별성이 있다.

Ⅲ. 분석 틀 설정

1. 자료수집

본 연구의 사고자료는 교통안전공단에서 관리하는 운수종사자 관리정보시스템을 통해 경기도 버스운전자 원인으로 2015년~2017년에 발생한 교통사고자료 7,146건을 수집하였다. 또한 이 데이터를 기반으로 버스유형 및 노선형태 등을 파악하기 위하여 경기도 버스운행관리시스템(BMS : Bus Management Systems)을 활용하여 사고를 매칭하였으며, 그 결과 6,500건의 사고자료가 수집되었다. 마지막으로 6,500건의 사고 중 ‘안전운전의무위반, 운전자 준수사항위반 등’과 같이 사고위반내용의 해석이 어려운 사고를 제외하고, 구체적인 사고 원인을 파악할 수 있는 2,293건의 사고를 최종 분석대상으로 선정하였다.

2. 변수선정

종속변수는 버스사고심각도이며 부상신고, 경상, 중상, 사망으로 구분하였다. 독립변수는 기존문헌고찰을 통해 버스 사고심각도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 운전자연령, 범규위반, 차량유형 등을 선정하였다. 분석팽창계수(VIF : Variance Inflation Factor)가 ‘10 이상’일 경우 독립변수 간 다중공선성에 문제가 있다고 평가한다. 다중공선성 분석결과 채택된 독립변수의 분석팽창계수가 모두 ‘5미만’으로 다중공선성 문제가 없다고 평가되었으며, 최종적으로 40개의 변수가 채택되었다. 채택된 변수는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> List of Variables

Classification		Variable	N	Mean or Ratio	VIF
Dependent variable	Severity level	Possible injury=1, Slight injury=2, Serious injury=3, Fatal injury=4	2,293	-	-
Independent variable	Type of accident	Vehicle to vehicle (Yes=1 or No=0)*	1,286	56.08%	3.037
		Vehicle to pedestrian (Yes=1 or No=0)*	180	7.85%	1.301
		Vehicle to others (Reference Group)	827	36.07%	4.917
	Violation of the traffic rules	Violation of speed (Yes=1 or No=0)*	7	0.31%	1.062
		Median encroachment (Yes=1 or No=0)*	50	2.18%	1.409
		Violation of safety distance (Yes=1 or No=0)*	317	13.82%	2.980
		Violation of safeguards for passengers (Yes=1 or No=0)*	859	37.46%	3.033
		Violation of traffic signal (Yes=1 or No=0)*	617	26.91%	4.111
	Driver age	Violation of course change (Reference Group)	443	19.32%	4.071
		Age (age)	2,293	51.64	1.201
	Weather	Older driver(Up to 65=1 or No=0)	81	3.53%	1.218
		Spring (Yes=1 or No=0)*	574	25.03%	1.474
		Summer (Yes=1 or No=0)*	541	23.59%	1.453
		Fall (Yes=1 or No=0)*	612	26.69%	1.004
	Time of occurrence	Winter (Reference Group)	566	24.68%	1.469
		AM-Peak 07:00~09:00 (Yes=1 or No=0)*	254	11.08%	1.060
		PM-Peak 18:00~20:00 (Yes=1 or No=0)*	310	13.52%	1.056
		Non-Peak 05:00~07:00, 09:00~18:00, 20:00~22:00 (Yes=1 or No=0)*	1,551	67.64%	1.007
	Site of occurrence	Night 22:00~05:00 (Yes=1 or No=0)*	178	7.76%	1.054
		Gyeonggi province (Yes=1 or No=0)*	1,921	83.78%	1.053
		Seoul (Yes=1 or No=0)*	338	14.74%	1.085
	Day	Incheon (Reference Group)	34	1.48%	1.039
		Day of the week (Week=1 or Weekend=0)*	1,828	79.72%	1.007
	Type of Bus	Express bus (Yes=1 or No=0)*	53	2.31%	1.078
		Intercity bus (Yes=1 or No=0)*	264	11.51%	3.537
		Intracity bus (Yes=1 or No=0)*	78	3.40%	1.965
		Local bus (Reference Group)	1,898	82.77%	1.137
	Type of Route	Urban (Yes=1 or No=0)*	2,270	99.00%	1.027
		Rural (Yes=1 or No=0)*	4	0.17%	1.012
		Public/Quasi-public management (Reference Group)	19	0.83%	1.097
	Type of vehicle	Full-sized bus (Yes=1 or No=0)*	1,697	74.01%	1.124
		Mid/Small bus (Yes=1 or No=0)*	345	15.05%	1.141
		low floor bus (Reference Group)	251	10.95%	1.165
Type of fuel	CNG (CNG=1 or Diesel=0)*	1,578	68.82%	1.044	
Repetitive Accident	Repetitive accident (Up to 2 accident=1 or 1 accident=0)*	1,179	51.42%	1.041	
Commercial/ Reserve	Commercial vehicle (Commercial vehicle=1 or Reserve vehicle=0)*	2,232	97.34%	1.004	
Number of routes	Number of routes (Number/Vehicle)	2,293	1.06	1.084	
Adas target	Gyeonggi province adas target (Yes=1 or No=0)*	278	12.12%	4.105	
Number of bus	Number of bus in company (veh)	2,293	286.37	2.279	
	Number of bus in city (veh)	2,293	679.04	2.237	

* : Means of dummy variables indicate ratio of 'yes=1'.

IV. 사고심각도 분석 및 논의

모형의 종속변수는 사고심각도로 ‘부상신고=1, 경상=2, 중상=3, 사망=4’와 같이 순서를 지닌 범주형 종속 변수이다. 따라서 순서형 로짓 모형(Ordered Logit)을 이용해 사고심각도 분석을 실시하였다.

1. 전체 및 버스유형별 사고심각도 분석

경기도에서 운행하고 있는 버스유형은 크게 고속도로 등을 이용하는 광역급행형, 둘 이상의 시·도에 걸쳐 운행되는 직행좌석형, 좌석버스 차량을 이용해 시내에서 운행되는 좌석형, 그리고 일반시내버스 차량을 이용해 시내에서 운행되는 일반형버스로 구분할 수 있다. 2017년 경기도 ADAS 부착 대상차량은 직행좌석형 및 좌석형 버스로, 직행좌석 및 좌석차량 수 2,395대(2018년 1월 기준) 중 2,187대(91.32%)에 부착을 완료하였다. 하지만, 분석대상 전체사고건수 2,293건의 82.7%(1,898건)가 일반버스 사고건수로, 일반버스 사고가 가장 많이 발생되고 있다. 따라서 광역버스 뿐 아니라 일반형 버스의 첨단 운전자지원시스템 설치와 교통사고 감소 방안이 시급한 실정이다. 본 연구는 버스유형을 전체, 광역급행, 직행좌석, 좌석형, 일반형으로 구분하여 분석을 실시하였으며, 분석결과는 <Table 3>과 같다. 먼저, 전체 사고를 대상으로 사고심각도 모형을 분석한 결과, 사고유형 항목의 차대사람, 법규위반 항목의 속도위반, 중앙선침범, 안전거리미확보, 승객을 위한 안전조치위반 및 신호위반변수가 채택되었다. 또한 일반버스 사고를 대상으로 사고심각도 모형을 분석한 결과, 전체버스사고와 동일한 변수가 채택되었다. 이는 전체버스 사고건수의 약 80% 이상이 일반버스 사고건수이기 때문으로 판단된다.

광역급행형 버스사고를 대상으로 모형을 분석한 결과, 사고유형항목의 차대사람, 법규위반항목의 중앙선 침범 및 승객을 위한 안전조치 위반변수가 채택되었다. 직행좌석형 버스사고를 대상으로 모형을 분석한 결과, 사고유형 항목의 차대사람, 법규위반 항목의 속도위반 및 신호위반, 그리고 상용/예비 항목의 상용변수가 채택되었다. 마지막으로 좌석형 버스사고를 대상으로 모형을 분석한 결과, 사고유형항목의 차대사람, 법규위반항목의 승객을 위한 안전조치위반 변수가 설명변수로 선정되었다. 모든 유형에서 채택된 변수는 모두 양 (+)의 상관관계를 가지며, 신뢰수준 90% 수준에 모두 유의하는 것으로 분석되었다.

버스유형별 사고모형에서 사고유형 항목의 차대사람 변수가 공통적으로 설명변수로 채택되었다. 차대사람 사고일수록 사고심각도가 높은 것으로 분석되었는데, 2017년 우리나라 교통사고 사망자수 4,185명 대비 차대사람 사고 사망자수는 1,617명으로 약 40%수준에 달하며, 차대차 사고 및 차대기타사고에 비해 사고건수 대비 사망자수도 높다. 특히나 제동거리 및 차체의 크기가 큰 버스의 경우 일반 승용차에 비해 보행자 사고 발생 시 사망사고로 이어질 가능성이 매우 크다. 따라서 버스운전자는 보행자사고에 대한 주의를 가지고 차량을 운행해야하며, 첨단 운전자지원시스템 중 하나인 보행자 자동긴급제동장치의 설치 장려 등 국가적 차원에서 보행자사고 예방을 위한 대책을 마련할 필요가 있다.

전체 및 일반버스에서 선정된 변수를 살펴보면, 차대사람 변수를 제외하고는 법규위반 변수가 대부분 채택되었는데, 이는 버스운전자의 부주의 혹은 법규위반이 사고심각도에 많은 영향을 끼침을 보여줄 수 있다고 해석할 수 있다. 우선 속도위반 및 신호위반일수록 사고의 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 그 계수 또한 높게 나타났다. 버스 운전자는 보통 근무 소속업체에서 제공하는 운행스케줄에 맞추어 운행하게 된다. 이때, 도로의 사정으로 차량 운행시간이 길어지다 보면 식사 및 휴식 시간 없이 긴 시간동안 운행이 지속될 수 있다. 이는 버스운전자의 신호위반, 과속을 유도할 수 있으며 사고의 심각도 또는 발생빈도를 높일 수 있는 중요 요인이 될 수 있다. 따라서 버스운전자 근무환경 개선이 우선적으로 필요하다고 판단되며,

첨단 운전자지원시스템 중 지능형속도제한장치의 설치를 장려하는 법과 제도를 마련할 필요가 있다. 또한 중앙선침범일수록 사고심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 운전자의 중앙선침범 요인은 크게 불법 유턴, 줄임운전, 앞지르기 등이 있을 수 있다. 따라서 버스에 차로이탈경보장치, 차로유지지원장치의 장착을 의무화해 중앙선침범으로 인한 사고를 예방해야 한다. 마지막으로 제동거리가 큰 버스의 경우 예상치 못한 사고를 대비해 안전거리를 충분히 확보하는 것이 중요하다. 만약 차량 간 안전거리를 확보하지 않고 운행을 한다면, 이는 급제동으로 이어질 수 있으며 승객의 안전을 위협할 수 있다. 따라서 전방충돌경고장치의 설치를 통해 버스운전자가 차량 간 안전거리를 유지할 필요가 있다.

경기도 ADAS 부착대상차량인 직행좌석형 버스 심각도 모형에서 채택된 변수를 살펴보면, 법규위반항목의 속도위반, 신호위반사고일수록 사고의 심각도가 높아지는 것으로 분석되었다. 이는 직행좌석형은 돌이상의 시·도에 걸쳐 운행되는 버스유형인만큼 노선길이가 길기 때문에 버스운전자가 운행스케줄에 맞추어 운행하기 위해서는 운전자의 과속, 신호위반을 유도할 수 있기 때문에 평가되며, 앞서 언급한 바와 같이 버스운전자 근무환경 개선 및 지능형속도제한장치의 설치를 장려하는 것이 필요하다고 판단된다.

<Table 3> Accident Severity Models of Type of Bus

Classification			All	Express bus	Intercity bus	Intracity bus	Local bus	
Threshold	Severity=1, Possible injury	Coefficient	-0.924	-2.654	1.093	-1.405	-0.811	
		Std. error	0.098	0.597	1.259	0.328	0.112	
		P-value	0.000	0.000	0.385	0.000	0.000	
	Severity=2, Slight injury	Coefficient	2.178	1.234	4.063	1.551	2.294	
		Std. error	0.114	0.356	1.281	0.340	0.132	
		P-value	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	
	Severity=3, Serious injury	Coefficient	6.319	5.179	8.336	-	6.436	
		Std. error	0.238	1.266	1.423	-	0.264	
		P-value	0.000	0.000	0.000	-	0.000	
Explanatory variables	Type of accident	Vehicle to pedestrian	Coefficient	0.771	3.207	1.512	1.795	0.675
			Std. error	0.162	1.774	0.620	0.978	0.173
			P-value	0.000	0.071	0.015	0.066	0.000
	Violation of the traffic rules	Violation of speed	Coefficient	3.493	-	3.148	-	2.934
			Std. error	0.862	-	1.446	-	1.184
			P-value	0.000	-	0.029	-	0.013
		Median encroachment	Coefficient	1.601	3.207	-	-	1.646
			Std. error	0.298	1.774	-	-	0.325
			P-value	0.000	0.071	-	-	0.000
		Violation of safety distance	Coefficient	1.219	-	-	-	1.339
			Std. error	0.153	-	-	-	0.176
			P-value	0.000	-	-	-	0.000
		Violation of safeguards for passengers	Coefficient	1.722	2.163	-	1.374	1.842
			Std. error	0.127	1.122	-	0.548	0.144
			P-value	0.000	0.054	-	0.012	0.000

Classification			All	Express bus	Intercity bus	Intracity bus	Local bus	
	Violation of light	Coefficient	2.038	-	1.018	-	2.182	
		Std. error	0.138	-	0.298	-	0.158	
		P-value	0.000	-	0.001	-	0.000	
	Commercial/ Reserve	Commercial vehicle	Coefficient	-	-	3.051	-	-
			Std. error	-	-	1.271	-	-
			P-value	-	-	0.016	-	-
Log likelihood			171.676	14.501	14.355	15.991	156.566	
Chi-square			324.553	11.549	10.560	9.717	269.002	
ρ^2			0.210	0.201	0.268	0.600	0.197	
p-value			0.000	0.009	0.022	0.008	0.000	

2. 반복사고 여부별 사고심각도 분석

분석대상 전체사고 2,293건 중 51.42%(1,179건)가 사고경험이 있는 차량의 사고건수이다. 또한 동일 차량의 반복 사고경험 횟수는 적게는 2번, 많게는 8번까지 사고가 발생한 것으로 분석되었다. 따라서 반복사고 차량의 사고분석을 통해 반복사고를 줄이기 위한 방안을 마련할 필요가 있다. 반복사고 여부별 사고심각도 모형을 분석한 결과는 <Table 4>와 같다. 반복사고가 아닌 버스의 사고심각도 모형과 반복사고인 버스의 사고심각도 모형에서 사고유형항목의 차대사람 변수, 법규위반항목의 속도위반, 승객을 위한 안전조치위반 및 신호위반 변수가 공통적으로 채택되었다. 또한 반복사고모형에서는 법규위반항목의 중앙선침범과, 버스유형항목의 직행좌석형 변수가 추가적으로 채택되었다. 반복사고여부별 유형에서 채택된 변수들은 모두 양(+의 상관관계)을 가지며, 신뢰수준 90% 수준에 모두 유의하는 것으로 분석되었다.

반복사고 여부별 중앙선 침범의 비율을 살펴보면, 반복사고가 아닌 버스는 1.89%(21건/1,114건), 반복사고 버스는 2.46%(29건/1,179건)로 나타났다. 따라서 사고경험이 있는 차량에 대해서는 줄음운전, 앞지르기, 불법유턴 등으로 인한 중앙선침범에 대한 사고를 더욱 주의해야하며, 이를 예방하기 위해서는 사고경험이 있는 운전자들을 대상으로 한 운전자 교육을 추가적으로 실시하거나, 운전자감시시스템 및 차선이탈경고장치의 설치를 제도적으로 의무화시키는 등의 노력이 필요하다고 판단된다.

<Table 4> Accident Severity Models of Repetitive Accident

Classification			All	Non Repetitive Accident (1 accident)	Repetitive Accident (Up to 2 accident)
Threshold	Severity=1, Possible injury	Coefficient	-0.924	-1.404	-1.379
		Std. error	0.098	0.114	0.119
		P-value	0.000	0.000	0.000
	Severity=2, Slight injury	Coefficient	2.178	1.528	1.698
		Std. error	0.114	0.116	0.125
		P-value	0.000	0.000	0.000
	Severity=3, Serious injury	Coefficient	6.319	5.700	5.845
		Std. error	0.238	0.314	0.327
		P-value	0.000	0.000	0.000

Classification			All	Non Repetitive Accident (1 accident)	Repetitive Accident (Up to 2 accident)	
Explanatory variables	Type of accident	Vehicle to pedestrian	Coefficient	0.771	1.037	0.505
			Std. error	0.162	0.229	0.234
			P-value	0.000	0.000	0.031
	Violation of the traffic rules	Violation of speed	Coefficient	3.493	2.514	3.538
			Std. error	0.862	0.984	1.685
			P-value	0.000	0.011	0.036
		Median encroachment	Coefficient	1.601	-	1.524
			Std. error	0.298	-	0.380
			P-value	0.000	-	0.000
		Violation of safety distance	Coefficient	1.219	-	-
			Std. error	0.153	-	-
			P-value	0.000	-	-
		Violation of safeguards for passengers	Coefficient	1.722	1.095	1.224
			Std. error	0.127	0.147	0.147
			P-value	0.000	0.000	0.000
		Violation of light	Coefficient	2.038	1.438	1.461
			Std. error	0.138	0.162	0.166
			P-value	0.000	0.000	0.000
	Type of route	Intercity bus	Coefficient	-	-	0.467
			Std. error	-	-	0.206
			P-value	-	-	0.023
Log likelihood			171.676	245.309	129.709	
Chi-square			324.553	146.949	124.595	
ρ^2			0.210	0.279	0.131	
p-value			0.000	0.000	0.000	

3. 비교분석 및 논의

각 사고심각도 모형과 채택된 변수를 보면 <Table 5>와 같다. 차대사람사고는 전 모형에서 통계적으로 유의미하게 채택되었고 범규위반변수 중에서 속도위반, 승객을 위한 안전조치위반, 신호위반이 유의미한 변수로 여러 모형에서 공통적으로 채택되었다. 차대사람사고, 속도위반사고, 안전거리미확보 등의 사고는 레이더를 장착한다면 감소시킬 수 있을 것이며, 사각지대 감시장치(Blind Spot Detection : 접근하는 자동차 및 사각지대에 위치한 자동차에 대한 정보를 운전자에게 지원하는 장치)는 사각지대가 큰 버스에 유용하게 활용될 수 있다. 속도위반은 GPS 정보를 가지고 현재위치, 제한속도를 파악하여 속도위반경고를 수행할 수 있을 것이다. 중앙선침범사고는 현재와 같이 카메라를 이용한 차선이탈경고장치를 활용할 수 있으며, 안전거리미확보는 전방충돌경고장치를 활용할 수 있다. 승객을 위한 안전조치 위반을 감소시키기 위한 현재 상용화된 기술은 없으나 출입구 쪽 버튼이나 감지센서를 달아 기사에게 전달하는 방식을 활용할 수 있다. 신호위반 경고장치도 현재 상용화된 기술이 없으며, 신호는 100% 신뢰할 수 있어야 하는데 카메라만으로는 돌발 상황이 많이 발생될 수 있으므로 V2X 통신을 활용하여 신호를 받아 차량에 제공하는 방법이 있을 수 있다.

차량유형별로 채택된 변수를 비교해보면, 광역급행버스는 중앙선 침범으로 인한 사고가 심각도가 높게 나타남에 따라 중앙선침범을 방지하기 위한 차선이탈경고장치의 설치가 중요하다고 판단되며, 직행좌석 버스는 속도위반 및 신호위반을 방지할 수 있는 속도위반경고장치, 신호위반경고장치의 설치가 필요하다. 마지막으로 일반형버스는 법규위반 변수가 모두 채택됨에 따라 운전자 교육을 통해 법규위반으로 인한 사고의 위험성을 버스운전자들에게 강조할 필요가 있으며, 전방충돌경고, 차선이탈경고장치, 속도위반 경고 등 사고원인과 연관된 첨단운전자 지원시스템의 지원이 필요하다고 판단된다.

반복사고차량의 사고의 경우, 반복사고차량이 아닌 차량의 사고에 비해 중앙선 침범 위반 여부가 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 따라서 사고를 발생시킨 버스에는 차선이탈경고장치의 설치를 반드시 의무화함으로써 반복사고를 감소시킬 필요가 있다.

<Table 5> Comparison of Models

Explanatory variables		Models	Type of bus				Repetitive accident	
		All	Express bus	Intercity bus	Intracity bus	Local bus	1 accident	Up to 2 accident
Type of accident	Vehicle to Pedestrian	+	+	+	+	+	+	+
Violation of the traffic rules	Violation of Speed	+		+		+	+	+
	Median encroachment	+	+			+		+
	Violation of Safety distance	+				+		
	Violation of Safeguards for passengers	+	+		+	+	+	+
	Violation of Light	+		+		+	+	+
Commercial/ Reserve	Commercial vehicle			+				
Type of Route	Intercity bus							+

+ : Statistically significant results at the 0.10 level of positive correlation.

<Table 6> ADAS to Support Safe Driving for Bus Drivers

Explanatory variables		ADAS
Type of accident	Vehicle to Pedestrian	AEB(Autonomous Emergency Braking for Pedestrian), Rader
Violation of the traffic rules	Violation of Speed	SAS(Speed Assist System), TSR(Traffic Sign Recognition), GPS
	Median encroachment	LDW(Lane Departure Warning)
	Violation of Safety distance	FCW(Forward Collision Warning)
	Violation of Light	V2X

V. 결 론

본 연구는 버스노선유형(광역급행, 직행좌석, 좌석, 일반) 및 반복사고 여부(반복사고 유, 반복사고 무)별 사고심각도를 분석하고 개선방안으로 버스의 첨단 운전자지원시스템 지원 방향을 논의하기 위해 수행되었다.

사고자료는 교통안전공단 운수종사자 관리정보시스템을 이용해 수집한 2015년~2017년에 경기도 버스운전자 원인으로 발생한 교통사고자료와 경기도 버스운행관리시스템(BMS)을 매칭하여 6,500건의 사고자료가 수집되었으며, 사고위반내용이 불분명한 사고를 제외하고, 구체적인 사고 원인을 파악할 수 있는 2,293건의 사고를 최종분석대상으로 선정하였다. 연구의 종속변수는 사고심각도로 순서를 지닌 범주형 종속변수이므로, 순서형 로짓모형을 이용하여 사고심각도 모형을 분석하였다. 분석결과, 차대사람사고는 모든 모형에서 통계적으로 유의미하게 선정되었고 범규위반 항목의 속도위반, 신호위반, 승객을 위한 안전조치위반이 여러 모형에서 공통적으로 선정되었다.

따라서 본 연구는 아래와 같은 정책시사점을 제안할 수 있다. 첫째, 버스운전자 부주의로 인한 범규위반이 사고심각도에 중요한 영향을 줄 수 있음을 운전자 교육을 통해 교육할 필요가 있다. 버스운전자는 「여객자동차운수사업법(Ministry of Land Infrastructure and Transport, 2018)」 제25조(운수종사자의 교육)에 근거하여 운수종사자 교육을 의무적으로 받도록 규정되어 있으며, 교통사고를 발생시킨 버스운전자는 보수 및 강화 교육을 이수해야 한다. 따라서 이러한 운전자교육을 통해 범규위반이 사고심각도에 큰 영향을 미칠 수 있음을 교육함으로써 운전자들에게 범규준수의 필요성을 강조해야한다.

둘째, 보행자와 승객을 위한 운전자지원시스템이 필요하다. 차대사람 변수가 사고심각도에서 모든 모형에 영향을 미치는 변수로 나타났다. 도로교통공단 「교통사고분석시스템(TAAS : traffic accident analysis systems)」을 이용해 2017년 기준 사고유형별 승합차 사고건수 대비 사망률(사망자수/사고건수×100)을 살펴보면, 차대차 사고는 1.27%(96명/7,554건)이며, 차대사람 사고는 4.58%(170명/3,714건)로 차대사람사고의 치사율이 더 높게 나타난다. 특히 일반차량에 비해 차체의 크기 및 제동거리가 큰 버스의 경우 차대사람사고 발생 시 사망사고 발생위험이 더 크다. 따라서 버스에 레이더를 장착함으로써 보행자를 감지하고 운전자에게 알려주는 시스템을 의무화하고, 신규차량에 보행자 자동긴급제동장치 설치를 장려하는 등의 보행자를 위한 버스 운전자지원시스템 마련이 반드시 필요하다.

셋째, 버스의 속도위반을 감지하고 경고를 해주는 운전자지원시스템 장착을 의무화해야한다. 속도위반 변수는 여러 모형에서 공통적으로 사고심각도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 속도위반은 GPS 정보를 수집함으로써 차량의 현재위치, 제한속도를 파악하여 감지할 수 있다. 따라서 속도위반을 감지해 운전자에게 시각, 청각적으로 경고를 하는 것은 물론, 버스운전기사의 안전띠 혹은 운전시트에 진동을 줌으로써 속도위반경고를 한다면 속도위반으로 인한 사고를 감소시킬 수 있을 것이다.

이 외에도, 운전자 시야의 사각지대가 큰 버스에게 유용하게 활용될 수 있는 후측방경고장치의 설치, 향후 V2X통신을 이용한 신호위반경고장치 등을 설치한다면 버스운전자에게 많은 도움을 줄 수 있을 것이며, 버스 사고심각도를 낮출 수 있을 것이라 판단된다. 또한 첨단 운전자지원장치를 국가적으로 지원하고 의무화하는 것도 중요하지만, 버스운전자의 과속 및 신호위반등의 가장 큰 원인은 운전자의 운전근로시간이다. 버스운전자의 운전휴식시간을 충분히 보장하고, 근무환경을 개선하는 것이 사고심각도 개선에 있어 가장 중요하다고 판단된다. 본 연구는 버스운전자 사고원인을 범규위반, 사고발생시간, 운전자연령 등을 고려하여 살펴봐왔다. 향후 사고발생 원인으로 운전자 근무시간, 운행시간, 근무형태와 같은 운전자관련 변수를 추가적으로 살펴보고, 사고발생지점의 도로 기하구조 등을 반영한 분석이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 경기연구원 『경기도 버스교통사고 분석기반 첨단운전자지원시스템 도입 연구』를 발췌하였으며, 『한국 ITS학회 2018년도 추계학술대회 및 정기총회』에서 발표하였습니다.

REFERENCES

- Choi E. S., Jeong S. B., Lee J. H., Choi B. H. and Kim M. W.(2018), “A Study on the Satisfaction Survey of Advanced Driver Assistance System by Elderly Drivers”, *Proceeding of the Spring Conference of the Korean Society of Intelligent Transportation Systems*, pp.765-770.
- Choi(2018), *Introduction to Mando ADAS*, GRI seminar.
- Feng S., Li Z., Ci Y. and Zhang G.(2016), “Risk Factors Affecting Fatal Bus Accident Severity: Their Impact on Different Types of Bus Drivers,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 86, pp.29-39.
- Jeong E. B. and Oh C.(2013), “Methodology for Estimating Safety Benefits of Advanced Driver Assistant System,” *Journal of Korean Society of Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 3, pp.64-77.
- Jeong E. B., Oh C. and Jung S. Y.(2014), “Methodology for Evaluating the Effectiveness of Integrated Advanced Driver Assistant Systems,” *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 32, no. 4, pp.293-302.
- Jeong H. J., Kim H. W. and Park C. W.(2010), “Analysis of Advanced Driver Assistance System Technology Trend,” *Proceeding of the Fall Conference of the Korea Multimedia Society*, vol. 13, no. 2, pp.661-664.
- Kim K. O., Moon Y. J., Cho S. A. and Lee J. D.(2016), *A Fundamental Research on Public Perceptions on Ethics Legal and Social Acceptance of Autonomous Vehicles*, KOTI.
- Lee S. Y., Oh M. S., Oh C. and Jeong, E. B.(2018), “Automated Driving Aggressiveness for Traffic Management in Automated Driving Environments,” *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 36, no. 1, pp.38-50.
- Min K. C.(2017), “Status and Future Issues of Development of Autonomous Car,” *Kama Web Journal*, vol. 343.
- Prato C. G. and Kaplan S.(2014), “Bus Accident Severity and Passenger Injury: Evidence From Denmark,” *Eur. Transportation Res. Rev.*, vol. 6, no. 1, pp.17-30.
- Yoon S., Kho S. Y. and Kim D. K.(2018), “Factors Influencing Crash Severity by the Types of Bus Transportation Services Using Ordered Probit Models,” *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 36, no. 1, pp.13-22.