

순서형 프로빗 모형을 이용한 버스 운송사업 유형 별 사고심각도 영향요인 분석

윤상원 · 고승영 · 김동규*
서울대학교 건설환경공학부

Factors Influencing Crash Severity by the Types of Bus Transportation Services Using Ordered Probit Models

YOON, Sangwon · KHO, Seung-Young · KIM, Dong-Kyu*

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

*Corresponding author: dongkyukim@snu.ac.kr

Abstract

Buses, one of the representative public transportation modes, are divided into a variety of service types according to the purpose of operation, operating distance, and management agencies. Although bus-involved crashes may cause large amount of damage due to the higher number of passengers boarded on a bus, prior research has little focused on crash severity according to bus service types. This study aims to investigate factors influencing crash severity in bus-involved crashes and to present policy implications to reduce crash severity by bus service type. To do this, bus-involved crash data from the Traffic Accident Analysis System (TAAS) during five-year period are used. Ordered probit models for three types of bus service, i.e., city bus, suburban and express buses, and charter buses, are estimated to analyze the factors of accident severity. The results show that there are significant differences of factors affecting crash severity among the types of bus services while speed and road surface influence all the types of buses. In case of local buses, time of day, roadway alignment, and installation of a traffic signal are found to be statistically significant factors. Seat belt and road class have significant effects on injury severity of the intercity and express buses. Chartered buses have time of day, driving experience, seatbelt, traffic signal, and day of week as the significant factors. The results of this study are expected to contribute to the reduction of the crash severity by each bus service type.

Keywords: bus-involved crash, bus transport business type, injury severity, ordered probit model, traffic accident analysis system (TAAS)

초록

버스는 대표적인 대중교통수단 중 하나로서, 운행 목적, 운영 거리, 관리 기관 등에 따라 운송 사업 유형별로 구분되어 다양하게 운영되고 있다. 버스 관련 사고는 높은 재차인원으로 인하여 큰 피해를 야기할 수 있음에도 불구하고, 버스 운송사업 유형에 따른 사고심각도에 관한 연구는 상대적으로 기존 연구에서 많이 다루어지지 않았다. 본 연구는 버스 관련 사고의 심각도에 미치

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.1, pp.13-22, February 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.1.013>
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 12 October 2017

Revised: 20 November 2017

Accepted: 29 January 2018

Copyright ©
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.

는 영향요인들을 분석하고 버스 운송사업 유형 별 사고심각도를 저감하기 위한 정책 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 교통사고 분석시스템(TAAS)에서 추출된 5년 동안의 버스 관련 사고 자료가 사용된다. 시내버스, 시외 및 고속버스, 그리고 전세버스의 세 가지 운송사업 유형 별 순서형 프로빗 모형이 사고심각도 영향요인을 분석하기 위해 추정된다. 분석 결과 속도, 노면상태 등 모든 버스 운송사업 유형의 사고심각도에 유의미한 영향을 미치는 변수도 존재하는 반면 버스 운송사업 유형에 따라 상이하게 사고심각도에 유의미하게 영향을 미치는 변수들이 존재함을 확인하였다. 시내버스의 경우 시간대, 도로 선형 및 신호기 설치 여부가 통계적으로 유의한 변수인 것으로 확인되었다. 시외 및 고속버스의 경우 안전벨트 착용여부와 도로 등급이 사고심각도에 유의미한 영향을 미치는 변수였으며, 전세버스의 경우 시간대, 운전자의 운전 경험, 안전벨트 착용여부, 신호기 설치 여부 및 시간대가 통계적으로 유의한 변수인 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과를 통해 버스 운송사업 유형 별 사고심각도를 저감하는 데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어: 버스 관련 사고, 버스 운송사업 유형, 사고심각도, 순서형 프로빗 모형, 교통사고분석시스템(TAAS)

서론

대표적인 대중교통 수단인 버스는 대량수송을 통한 도시부 교통혼잡 완화, 온실가스 배출 감소 등의 다양한 장점을 가지고 있어 지속적으로 확대 운영되고 있다. 국내 교통부분 수송실적보고에 따르면 2015년 기준 버스의 수송실적은 연간 1,188억 인-km로 전체 교통수단의 26% 수준이며, 대중교통 수단으로 한정했을 경우 63%를 분담하고 있다.

교통안전의 측면에서 버스는 재차인원이 많고, 타 도로교통수단에 비하여 차량의 제원이 커서 버스와 관련된 사고는 대규모 인명사고로 쉽게 이어질 수 있다. 이는 최근 10년 간 서울시 버스의 평균 치사율이 승용차 대비 1.76배라는 통계로도 확인할 수 있다(TAAS 교통사고통계, 2005-2015). 또한 최근 18명의 사상자를 낸 양재IC 버스사고(2017년 7월), 6명의 사상자를 낸 천안논산 고속도로 버스사고(2017년 9월) 등 노선버스 및 고속버스의 대규모 사고가 지속적으로 발생함에 따라 버스 사고와 관련된 상세한 연구를 통한 예방대책 수립의 필요성이 제기되고 있다.

버스는 운영목적, 운영거리, 운행형태, 관리기관 등에 따라 다양한 운송사업 유형별로 구분된다. 예를 들어, 시내버스는 이동성보다는 접근성을 주요 목적으로 하며 타 유형의 버스는 접근성보다는 이동성을 주된 목적으로 한다. 또한 전세버스의 경우에는 타 운송사업 유형의 버스와는 다르게 고정된 형태의 서비스 노선 및 배차간격을 가지지 않는다. 버스 운송사업 유형별 관리기관 또한 시내버스는 시장, 군수 등이 인·면허권을 가지고 관리하는 반면 시외버스 및 전세버스는 시도지사가, 그리고 고속버스는 국토교통부 장관이 관리하고 있다. 이렇듯 다양한 운송사업 유형의 버스는 운행의 측면에서도 각각 고유한 특성을 가지기 때문에 버스 사고에 미치는 요인들도 버스 별로 차이가 있을 수 있다. 버스 운송사업 유형 별 특징은 Table 1에 제시되어 있다.

이에 본 연구에서는 버스 관련 사고의 심각도에 미치는 영향요인들을 분석하고 버스 운송사업 유형 별 사고심각도를 저감하기 위한 정책 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 교통사고 분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)에서 추출된 5년 동안의 버스 관련 사고 자료가 사용된다. 시내버스, 시외 및 고속버스, 그리고 전세버스의 세 가지 운송사업 유형 별 순서형 프로빗 모형(ordered probit model, OPM)이 사고심각도 영향요인을 분석하기 위해 추정된다.

다음 절에서는 버스 사고와 관련된 국내외 선행 연구를 검토한다. 이후 운송사업 유형별 버스 사고심각도를 분석하기 위한 데이터 및 모형에 대해 기술한다. 이어서 운송사업 유형별 버스 사고심각도의 분석결과를 제시하며 시사점을 도출한다. 마지막으로 본 연구의 결과를 요약하고, 향후 연구과제를 정리한다.

Table 1. Characteristics by bus transport business type

Bus transport business type	Accessibility	Mobility	Operation range	Service route	Passenger position	Seatbelt	Management agency
Local bus	High	Low	Short (urban area)	Fixed (several station)	Sitting and Standing	No required	Local government
Intercity bus	Medium	Medium	Long (city to city)	Fixed (a few OD)	Only sitting	Required	Local government
Express bus	Low	High	Long (city to city)	Fixed (one OD)	Only sitting	Required	Central government
Chartered bus	Low	High	Normally long (case by case)	Non-fixed	Only sitting	Required	Local government

선행연구

버스 사고와 관련된 연구는 크게 사고 건수와 관련된 연구와 사고심각도와 관련된 연구로 구분될 수 있다. 이 중 사고 건수 관련 연구에서는 사고 빈도수의 비교, 포아송 회귀분석, 로지스틱 회귀분석 등의 방법론이 적용되었으며, 사고심각도와 관련된 연구에서는 순서형 로짓모형 및 프로빗모형이 활용되었다. 그리고 버스사고를 설명하기 위한 변수로는 차량 관련 변수(차량연식, 운행거리, 차량정비 정보 등), 운전자 관련 변수(운전자 나이, 성별, 운행경력 등), 도로환경 관련 변수(기하구조, 날씨, 노면상태, 신호기 설치 등) 및 교통환경 관련 변수(교통량, 속도) 등 연구별로 구득 가능한 다양한 변수를 활용하였다.

버스 사고심각도와 관련하여 Barua and Tay(2010)의 연구에서는 선진국과 달리 개발도상국의 버스 사고심각도의 중요성에 대한 문제제기와 함께 방글라데시의 버스 사고심각도를 순서형 프로빗 모형을 활용하여 분석하였다. 시간대(침두시, 비침두시, 야간), 사고형태(전후방추돌, 측면추돌, 정면충돌, 보행자사고 등), 교통제어 형태(신호기 미운영, 신호기 운영, 경찰 운영, 신호기+경찰 운영) 등에 따른 사고심각도 분석 결과, 비침두시와 보행자 포함 사고에서 상대적으로 사고심각도가 높고 신호기+경찰에 의한 교통제어 시 사고심각도가 낮게 나타남을 제시하였다. Theofilatos et al.(2012)은 도시부 내외부 사고의 심각도 모형을 개발함에 있어 버스를 포함한 다차종의 사고를 사망/중상사고 및 경상사고의 2단계로 구분한 이진 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 그들의 연구에서는 연령, 사고위치(교차로 여부), 차량연식, 사고형태 등 10가지 요인을 독립변수로 분석결과 교차로, 탑승자의 수 및 연령 등에 따른 도시부 내외부 운송특성에 따라 사고심각도에 영향을 미치는 요인에 차이가 있음을 제시하였다. Prato and Kaplan(2014)의 연구에서는 덴마크 내 버스 사고심각도 요인 분석에 있어 순서형 로짓모형을 사용하여 장애인 포함여부, 차량속도, 시간대, 나이 및 신호준수율에 따른 영향을 분석하였고, Feng et al.(2016)은 미국 전역 버스사고의 심각도에 미치는 요인을 운전자 유형에 따라 도로 기하구조, 교통환경 및 차량유형 등 14가지 요인에 따라 분석하였다.

선행연구 검토 결과, 버스 관련 사고의 연구 중 버스 운송사업 유형별 특성을 고려하여 유형별 사고심각도와 관련된 연구는 부족함을 확인하였다. Blower and Green(2010)의 연구에서는 버스 운송사업 유형을 고려하였으나 사망 사고에 영향을 미치는 운전자 요인들에 한정된 사고 건수 분석하였으며, Feng et al.(2016)의 연구에서는 버스유형을 용도별로는 스쿨버스의 여부, 차량형태별로는 van 형태의 여부로 한정하여 분석하였다. 본 연구는 버스 사고의 분류를 운행거리 및 운행형태 등 운송사업의 특징에 따라 시내버스, 시외 및 고속버스, 전세버스로 분류하고, 4개 수준별 사고심각도를 설명하기 위해 운전자, 차량, 도로 및 교통환경 요인들을 종합적으로 분석하여 운송사업 특성에 따른 사고심각도에 미치는 요인에 대해 분석한다는 점에서 선행연구들과 차이가 있다.

Table 2. Previous literature on bus crashes

Outcome variable	Author (year)	Estimation model	Study purpose
Frequency	Pearce et al.(2000)	Simple comparison of crash	Comparison of bus accidents and their causes in 4 developing countries (India, Tanzania, Nepal, Zimbabwe)
	Chang and Yeh(2005)	Poisson regression	Study on factors affecting the safety performance of bus companies after bus deregulation in Taiwan
	Blower and Green(2010)	Logistic regression	Study on factors affecting fatal bus crashes for five different bus types in United States
	Gómez et al.(2015)	Poisson/NB regression, Neural Network	Study on factors affecting BRT crash using 3 different types of prediction models in Bogota, Colombia
Severity	Barua and Tay(2010)	Ordered probit	Study on factors affecting bus crash injury severity in Bangladesh
	Theofilatos et al.(2012)	Binary logistic regression	Study on factors affecting urban transit including buses inside and outside of urban areas in Greece
	Prato and Kaplan(2014)	Generalized ordered logit	Study on factors affecting bus crash injury severity in Denmark
	Feng et al.(2016)	Generalized ordered logit	Study on factors affecting bus crash severity by different types of bus driver in United States based on K-means cluster analysis

note: Yoon et al.(2017) 재인용

사고심각도 분석 모형

1. 분석 데이터

본 연구에서 사용된 사고데이터는 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)의 사고 데이터 중 2010년부터 2014년까지의 5년간의 버스관련 사고데이터 42,498건을 사용하였다. DB 내 버스 운송사업 유형의 구분은 시내버스, 시외버스, 고속버스 및 전세버스의 4종류로 분류되어 있으며 사고심각도 수준은 부상, 경상, 중상, 사망의 4가지로 구분되었다. 개별 사고에 대한 내용은 사고 일시, 장소, 사망자(혹은 중상자, 경상자, 부상자) 수, 사고 직전 속도 및 차로폭 등의 도로교통 환경, 날씨 및 노면상태 등 기상상황, 운전자 나이 및 운전경력 등의 운전자 관련 정보 등 총 49개 항목을 포함하고 있다. 데이터 유형은 차량연식, 운전자 연령 등의 일부 항목을 제외하고는 연속형이 아닌 범주형으로 구성되어 있다.

5년 간 사고자료 중 고속버스의 사고 건수는 총 1,128건으로 전체 사고건수 42,498건의 2.7% 수준이라 운영주체를 제외한 운행특성이 유사한 시외버스 사고와 통합하여 분석하였다. 또한 다중공선성의 문제를 고려하기 위해 날씨와 노면상태 등 상관분석을 통하여 상관계수 0.4 이상의 변수는 모형 내 동시 반영을 배제하였다. 또한 피해자의 직업, 보험가입 여부 등 사고심각도에 미치는 영향이 적거나 음주여부와 같이 버스사고 DB 내 해당 건수가 적게 확인된 변수도 모형에서 제외하였다. 이상의 데이터 전처리 과정을 거쳐 사고시간(침투/비침투), 운전경력, 사고직전 속도, 차량연식, 도로기하구조, 노면상태, 안전벨트 착용여부, 도로등급, 신호기설치 여부 및 운전자 나이 등 버스 사고심각도에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되는 11개의 사고요인 관련 변수를 선정하였다. 각 11개의 변수들이 범주형임에 따라 각 변수는 Table 3과 같이 비교의 기준이 되는 하나의 기준변수를 결정하고, 각 변수내의 항목의 구분 기준은 주어진 데이터를 기반으로 하여 항목별 사고빈도 수를 고려하여 2-4개 항목으로 구분하여 코딩하였다.

Table 3. Bus-involved crash data summary with 11 main possible explanatory variable

Variable		Local bus		Intercity/Express bus		Chartered bus	
		Count	Portion	Count	Portion	Count	Portion
Total		31,166	100%	5,541	100%	5,791	100%
Severity level (dependent variable)	1: Possible injury	729	2%	163	3%	227	4%
	2: Slight injury	15982	51%	2,737	49%	3112	54%
	3: Serious injury	13763	44%	2,485	45%	2339	40%
	4: Fatal injury	692	2%	156	3%	113	2%
Time of day	0: <i>Non-peak</i>	23,347	75%	1,374	25%	4,263	74%
	1: Peak	7,819	25%	4,167	75%	1,528	26%
Driving experience	0: <i>< 15 years</i>	6,729	22%	1,091	20%	1,036	18%
	1: <i>≥ 15 years</i>	24,437	78%	4,450	80%	4,755	82%
Speed just before crash	0: <i>< 30 km/h</i>	25,445	82%	4,439	80%	4,509	78%
	1: 30-100 km/h	2,531	8%	467	8%	483	8%
	2: <i>≥ 100 km/h</i>	3,190	10%	635	11%	799	14%
Vehicle age	0: <i>< 5 years</i>	12,070	39%	1,812	33%	1,992	34%
	1: <i>≥ 5 years</i>	19,096	61%	3,729	67%	3,799	66%
Road alignment	0: <i>Straight</i>	28,978	93%	5,153	93%	5,378	93%
	1: Curve	2,188	7%	388	7%	413	7%
Road surface	0: <i>Dry</i>	27,281	88%	4,739	86%	227	4%
	1: Wet	3,064	10%	470	8%	3112	54%
	2: Snow or freezing	821	3%	332	6%	2339	40%
Seatbelt	0: <i>On</i>	14,706	47%	2,580	47%	113	2%
	1: Off	3,464	11%	527	10%	4,263	74%
	2: Un-confirmed	12,996	42%	2,434	44%	1,528	26%
Road class	0: <i>Local street or provincial road</i>	27,570	88%	4,879	88%	4,755	82%
	1: National highway or freeway	3,596	12%	662	12%	1,036	18%
Traffic signal	0: <i>not installed</i>	12,624	41%	2,066	37%	4,509	78%
	1: Installed	18,542	59%	3,475	63%	483	8%
Day of week	0: <i>Week</i>	7,298	23%	1,248	23%	799	14%
	1: Weekend	23,868	77%	4,293	77%	1,992	34%
Driver age	0: <i>< 40 s</i>	3,704	12%	573	10%	3,799	66%
	1: 41-50	11,001	35%	1,845	33%	5,378	93%
	2: 51-60	13,105	42%	2,414	44%	413	7%
	3: <i>> 60 s</i>	3,356	11%	709	13%	112	10%

note: Italic underline variables mean baseline variables

2. 순서형 프로빗 모형

본 연구에서는 버스 운송사업 유형별 사고심각도를 분석하기 위하여 순서형 프로빗 모형(OPM)을 적용하였다. OPM은 종속변수가 순서척도인 모형을 분석할 때 활용되는 모형으로 교통분야에서는 도시부 교차로 사고(Ha et al., 2005), 보행자 사고(Choi et al., 2013), 공사구간 사고(Yoon et al., 2016) 등 다양한 유형의 사고심각도 분석에 활용된 대표적인 순서형 확률모형 중 하나이다. 순서형 확률모형은 $y=0$ 과 $y=1$ 의 차이와 $y=1$ 과 $y=2$ 의 차이가 동일 시 취급되는 선형회귀분석과 달리, 종속변수가 발생할 수 있는 확률의 경계가 되는 한계값(threshold)을 추정하여 선택 가능한 대안 간의 누적확률분포의 차이를 이용하여 대안의 선택확률을 추정한다. 대표적인 순서형 확률모형은 순서형 로짓 모형(ordered logit model, OLM)과 OPM이 있고, 그 중 OPM은 오차항이 정규분포를 따른다는 가정을 하고 있다. 일반적인 OPM의 형태는 Equation 1과 같다. 응답 가능한 J 개의 순서형 대안에 대하여 y 는 측정이 불가능한 잠재효용으로 측정이 가능한 효용(βx_i)과 측정이 불가능한 효용(ϵ_i)로 구성되며, μ_i 는 각 설명변수의 추정계수 β 와 함께 취하여 추정할 수 있는 한계값을 의미한다(Lee et al., 2005).

$$\begin{aligned}
 y &= \beta x_i + \epsilon_i, & \epsilon_i &\sim N(0,1) \\
 y &= 0 \text{ if } y \leq 0 \\
 y &= 1 \text{ if } 0 < y \leq \mu_1 \\
 y &= 2 \text{ if } \mu_1 < y \leq \mu_2 \\
 &\dots \\
 y &= J \text{ if } \mu_{J-1} < y
 \end{aligned} \tag{1}$$

이를 이용하여 Equation 2와 같이 연속되는 대안 간의 누적확률분포를 계산하여 그 차이를 통해 종속변수 별 선택확률을 구하게 된다. Equation 2 내의 ϕ 및 Φ 는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수 및 누적확률함수를 나타낸다. 또한 모형 내에서 각 범주형 독립변수들의 계수들의 부호를 통하여 기준변수에 대비하여 상대적으로 버스 사고심각도에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 순서형 프로비트 모형의 적합도는 McFadden의 Pseudo R^2 (혹은 ρ^2) 값으로 평가할 수 있다. ρ^2 는 비선형 회귀모형의 적합도를 평가하는 데 활용되는 지표로 0-1 사이의 값을 가지며, 일반적으로 모형이 0.2-0.4 사이의 값을 가지면 충분히 높은 적합도를 가진다고 알려져 있다(Lee et al., 2009; Park et al., 2017 재인용).

$$\begin{aligned}
 P(y=0) &= \int_{-\infty}^{-\beta_i x_i} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i = \Phi(-\beta_i x_i) \\
 P(y=1) &= \int_{-\beta_i x_i}^{\mu_1 - \beta_i x_i} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i = \Phi(\mu_1 - \beta_i x_i) - \Phi(-\beta_i x_i) \\
 &\dots \\
 P(y=J) &= \int_{\mu_{J-1} - \beta_i x_i}^{\infty} \phi(\epsilon_i) d\epsilon_i = 1 - \Phi(\mu_{J-1} - \beta_i x_i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

버스 운송사업 유형별 사고심각도 분석 결과

1. 버스 운송사업 유형별 사고심각도 요인 분석

본 연구의 목적은 버스 운송사업 유형별로 사고심각도에 미치는 요인에 대한 차이를 분석하여 시사점을 도출하는 것이다. 이에 따라 시내버스, 시외 및 고속버스, 전세버스의 3가지 운송사업 유형별 데이터로 OPM 모형을 적용한 분석을 수행하였다. 분석은 각 버스 운송사업 유형별로 사고심각도에 유의미하게 영향을 미치는 변수의 p -value, 표준오차 값들을 종합적으로 분석하여 통계적으로 유의미한 설명변수만으로 사고심각도 모형을 구성하였으며, 각 변수의 계수값을 통해 어떠한 상황에서 버스 사고심각도에 미치는 변수의 영향을 분석하였다. 종속변수인 사고심각도는 데이터에 제시된 부상, 경상, 중상 및 사망의 4단계로 구분하였으며, 분석은 상용 통계분석패키지인 SPSS Statistics 22를 활용하였다.

1) 시내버스

우선 시내버스 관련 사고분석 결과, 사고심각도는 침두시에 비하여 비침두시에서 높게 나타났으며, 사고직전 속도가 높을수록 높게 나타났다. 이를 통해 버스가 빠르게 운행할 수 있는 상황에서 높게 나타남을 알 수 있다. 노면상태와 관련해서는 건조한 상황에 비하여 젖은 도로에서 사고심각도가 높게 나타났지만, 적설 또는 결빙 상황에서는 상대적으로 심각도가 낮게 나타났다. 이는 버스운전자가 적설, 결빙 등 운전에서 직접적으로 장애가 되는 상황에서는 위험함을 인지하고 운전에서 주의를 더 기울이지만 우천 등으로 인해 도로가 젖은 상황의 위험도는 상대적으로 인지하지 못하는 것으로 판단된다. 그리고 신호기가 설치된 곳이 그렇지 않은 곳보다 심각도가 높은 것으로 나타난 점으로부터 비신호 교차로 등에서는 운전자가 주의를 기울이지만 신호기가 설치된 곳에서는 운전자가 신호에 대한 심리적 의존도가 높아 사고심각도가 높은 것으로 예상된다. 또한 일반적으로 신호위반이 빈번한 곳에도 신호기가 설치

되는 점으로부터 운전자의 신호준수 여부가 사고심각도에 영향을 미칠 가능성도 배제할 수 없다. 마지막으로 직선 도로보다 곡선도로에서 사고심각도가 높게 나타난 결과로부터, 재차인원이 많은 버스의 특성 상 직선도로 보다는 곡선도로에서 전복의 위험이 높고 이에 따라 사고심각도 또한 높게 나타난 것으로 유추된다. 시내버스 모형의 ρ^2 값은 0.31로 상기 변수들로 구성된 모형이 적합한 것으로 나타났다.

Table 4. Results of factors affecting crash injury severity of local bus

	Description	Coefficient	Std. error	Wald	P-value
Threshold	[severity=1, Possible injury]	-2.027	0.029	472.793	0.000
	[severity=2, Slight injury]	0.065	0.026	6.259	0.012
	[severity=3, Serious injury]	2.009	0.030	460.825	0.000
Explanatory variable	[time=1, Peak]	-0.056	0.015	13.915	0.000
	[speed=1, 30-100 km/h]	0.253	0.024	110.676	0.000
	[speed=2, ≥100 km/h]	0.294	0.022	183.196	0.000
	[surface=1, Wet]	0.167	0.022	57.661	0.000
	[surface=2, Snow or freezing]	-0.210	0.041	23.551	0.000
	[signal=1, Installed]	0.033	0.013	6.017	0.014
	[alignment=1, Curve]	0.093	0.026	13.054	0.000
Log likelihood			-921.96		
Chi-square			398.09		
ρ^2			0.31		

2) 시외 및 고속버스

시외 및 고속버스 관련 사고분석 결과, 사고직전속도 및 노면상태와 관련하여 시내버스 분석결과와 동일하게 나타났다. 하지만 시내버스의 경우와는 다르게 안전벨트 착용여부 및 도로등급이 시외 및 고속버스 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 안전벨트를 미착용한 경우가 착용한 경우보다 사고심각도가 높게 나타나 안전벨트의 중요성이 확인되었다. 그리고 고속도로 및 일반국도 등 국도급 이상의 도로에서 그렇지 않은 도로보다 사고심각도가 높게 분석되어 버스가 높은 속도로 운행하는 환경에서 사고심각도가 높음이 재차 확인되었다. 시외 및 고속버스 사고심각도 모형의 ρ^2 값은 0.27로 나타났다.

Table 5. Results of factors affecting crash injury severity of intercity/express bus

	Description	Coefficient	Std. error	Wald	P-value
Threshold	[severity=1, Possible injury]	-3.973	0.271	215.437	0.000
	[severity=2, Slight injury]	0.361	0.103	12.205	0.000
	[severity=3, Serious injury]	4.063	0.196	428.478	0.000
Explanatory variable	[speed=1, 30-100 km/h]	0.777	0.151	26.457	0.000
	[speed=2, ≥100 km/h]	1.324	0.257	26.458	0.000
	[surface=1, Wet]	0.849	0.161	27.771	0.000
	[surface=2, Snow or freezing]	-0.676	0.180	14.119	0.000
	[seatbelt=1, Off]	0.384	0.186	4.251	0.039
	[road class=1, Local street]	0.469	0.141	11.127	0.001
	Log likelihood			-517.57	
Chi-square			216.26		
ρ^2			0.27		

3) 전세버스

전세버스 사고분석 결과 사고직전속도, 노면상태, 시간대(침두/비침두), 안전벨트 착용여부, 신호기 설치여부는 상기 시내버스와 시외 및 고속버스의 결과와 동일하게 해석된다. 전세버스 사고의 경우는 추가적으로 운전자의 운

전경력과 주중 및 주말여부가 추가적으로 유의미한 변수로 나타났다. 운전경력과 관련하여 15년 이상의 높은 운전 경력을 가지는 운전자가 운전한 경우가 그렇지 않은 경우보다 심각도가 낮게 나타나 전세버스의 경우는 운전경력이 사고 순간의 대처, 사고 후 대응 등의 측면에서 사고심각도를 낮추는데 상대적으로 긍정적 요인이 될 수 있음을 분석을 통하여 확인되었다. 또한 주말의 사고심각도는 주중보다 낮게 나타난 결과는 다수의 전세버스가 관광지 등에 다수 운행되는 점과 관광지역의 혼잡도는 주말이 주중보다 높다는 점을 감안할 때, 버스의 주행속도가 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 해석될 수 있다. 전세버스 모형의 ρ^2 값 또한 0.22로 분석되었다.

Table 6. Results of factors affecting crash injury severity of chartered bus

	Description	Coefficient	Std. error	Wald	P-value
Threshold	[severity=1, Possible injury]	-1.847	0.068	732.437	0.000
	[severity=2, Slight injury]	0.144	0.063	5.231	0.022
	[severity=3, Serious injury]	2.083	0.073	825.163	0.000
Explanatory variable	[time=1, Peak]	-0.139	0.034	16.300	0.000
	[experience=1, ≥ 15 years]	-0.118	0.039	8.944	0.003
	[speed=1, 30-100 km/h]	0.280	0.055	25.661	0.000
	[speed=2, ≥100 km/h]	0.432	0.045	90.932	0.000
	[surface=1, Wet]	0.282	0.051	30.282	0.000
	[surface=2, Snow or freezing]	-0.427	0.108	15.706	0.000
	[seatbelt=1, Off]	0.185	0.056	10.713	0.001
	[signal=1, Installed]	0.092	0.031	8.669	0.003
	[days=1, Weekend]	-0.079	0.036	4.767	0.029
	Log likelihood			-293.37	
Chi-square			167.08		
ρ^2			0.22		

2. 버스 운송사업 유형별 결과 비교 분석

버스 운송사업 유형별로 사고심각도에 미치는 요인의 차이점을 분석하기 위하여 유형별 사고심각도에 미치는 요인들을 Table 7과 같이 비교하였다.

Table 7. Summary of factors affecting crash injury severity by bus transport business type

Bus transport business type	Time of day	Driving experience	Speed	Vehicle age	Road alignment	Road surface	Seatbelt	Road class	Traffic signal	Day of week	Driver age
LB	○	-	○	-	○	○	-	-	○	-	-
IB/EB	-	-	○	-	-	○	○	○	-	-	-
CB	○	○	○	-	-	○	○	-	○	○	-

note: LB-Local Bus, IB/EB-Intercity Bus/Express Bus, CB-Chartered Bus

우선적으로 사고직전속도 및 노면상태의 경우에는 3가지 모든 유형에서 사고심각도에 영향을 미치는 유의미한 요인으로 나타났다. 이는 각 운송사업 유형별 분석 결과에서도 해당 변수들의 타 변수들에 비해 높은 Wald 값을 가짐으로부터, 사고직전속도와 노면상태가 유형에 상관없이 공통적으로 버스 사고심각도에 미치는 주요한 요인으로 해석된다.

주요 운행지역의 측면에서 보면, 상대적으로 도시부 운행이 많은 시내버스와 전세버스의 경우 시간대(첨두시/비첨두시) 및 신호기 설치여부가 유의미한 변수로 나타났고, 장거리 운행이 많은 시외 및 고속버스의 경우에는 도로등급이 사고심각도에 유의미한 변수로 나타났다. 그리고 시내버스를 제외한 모든 유형의 버스에서 안전벨트 착용이 사고심각도에 유의미한 것으로 분석되었다. 전세버스의 경우는 타 유형의 버스와는 달리 운전경력과 주중 및 주말

여부가 유의미한 변수로 나타났다. 운전경력과 관련하여 버스 지입제가 만연하여 개인버스를 소유한 운전자가 쉽게 전세버스 기사로 운행하는 현실을 고려하면, 상대적으로 안전운전 교육을 체계적으로 받는 타 유형의 버스와는 달리 전세버스의 경우는 운행경력이 사고심각도를 낮추는데 긍정적으로 영향을 미칠 수도 있는 것으로 유추할 수 있다.

마지막으로 사고심각도에 영향을 줄 수 있는 요인으로 포함되었던 차량연식과 운전자 나이는 3가지 버스 운송사업 유형 모두에서 통계적으로 유의미한 변수가 아닌 것으로 나타났다.

결론

본 연구 다양한 버스 운송사업 유형별로 운행특성에 차이가 있음에 따라 사고심각도에 미치는 요인 또한 차이가 있을 것이라는 인식으로부터 시작되었다. 이를 검증하기 위하여 종속변수가 순서척도로 나타나는 사고심각도를 분석에 적합한 순서형 프로빗 모형을 시내버스, 시외 및 고속버스, 그리고 전세버스의 3가지 유형에 대해 적용하였다. TAAS DB로 구득한 다양한 버스 사고 변수 중 사고심각도에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되는 11개 변수에 대해 분석하여 각 변수별로 어떠한 상황이 버스 사고심각도와 통계적으로 유의미한 지에 대해 해석하였다. 또한 버스 운송사업 유형별 사고심각도 모형을 분석한 결과 사고직전속도 및 노면상태와 같이 모든 유형의 버스사고에 공통적으로 나타나는 변수도 있었지만, 버스 운송사업 유형에 따라 서로 다르게 영향을 미치는 변수들이 존재함을 확인하였다.

국내에서 버스 운송사업 유형별로 관리기관이 서로 상이하다는 측면을 고려할 때, 본 연구의 결과는 해당 유형별 버스 관리기관에서 사고심각도를 줄일 수 있는 예방대책 수립 시 중점적으로 고려해야 할 항목의 선정 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들면 시내버스의 경우는 타 유형의 bus와 달리 도로의 기하구조가 사고심각도에 유의미하게 영향을 보인 점에서 도시부 도로 내 다수의 회전 구간에서 입석승객을 포함한 많은 재차인원으로 인한 운행이 사고심각도에 영향을 미칠 수 있음을 운전자 교육을 통해 강조할 필요가 있다. 또한 시외 및 고속버스의 경우는 주요 사고심각도 요인이 과속에 있음에 따라 주행속도 제한장치 도입 등의 제도적 방안이 검토될 수 있으며, 전세버스의 경우 상대적으로 운전경력이 낮은 운전자를 대상으로 교육을 강화하는 방안 등이 있을 것이다.

최근 발생하는 버스관련 대형 사고의 주요 원인이 과도한 운행업무에 따른 졸음운전으로 밝혀지고 있다. 향후 연구로서 버스 사고분석에 있어 하루 평균 주행시간, 주행거리 등 운전자의 운전여건과 관련된 데이터를 구득할 수 있다면 본 연구 결과보다 더욱 현실적이고 의미 있는 연구가 가능 할 것이다. 또한 버스 사고와 관련된 다양한 요인에 대한 연속형 자료를 구축할 수 있다면, 다양한 형태로 데이터를 재분류하여 보다 상세한 분석이 가능할 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 본 연구에서 적용한 순서형 프로빗 모형 이외에 순서형 로짓 모형 등의 통계 모형 및 머신러닝 기반의 분석 등을 통해서 결과를 비교분석 하는 것도 의미있는 연구가 될 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (16CTAP-C114766-01) from Technology Advancement Research Program (TARP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

REFERENCES

- Barua U., Tay R. (2010), Severity of Urban Transit Bus Crashes in Bangladesh, *J. Adv. Transp.*, 44(1), 34-41.
- Blower D., Green P. E. (2010), Type of Motor Carrier and Driver History in Fatal Bus Crashes, *Transp. Res. Rec.*, 2194, 37-43.
- Chang H.-L., Yeh C.-C. (2005), Factors Affecting the Safety Performance of Bus Companies: The Experience of Taiwan Bus Deregulation, *Saf. Sci.*, 43(5), 323-344.

- Choi S., Jung E., Oh C. (2013), Comparison of Methodologies for Characterizing Pedestrian-Vehicle Collisions, *J. Korean Soc. Transp.*, 31(6), 53-66.
- Feng S., Li Z., Ci Y., Zhang G. (2016), Risk Factors Affecting Fatal Bus Accident Severity: Their Impact on Different Types of Bus Drivers, *Accident Analysis & Prevention*, 86, 29-39.
- Gómez F., Bocarejo J. P. (2015), Accident Prediction Models for Bus Rapid Transit Systems, *Transp. Res. Rec.*, 2512, 38-45.
- Ha O-K., Oh J., Won J. M., Seung N.-M. (2005), The Study on the Accident Injury Severity Using Ordered Probit Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 23(4), 47-55.
- Lee D., Kim D., Seong N. (2009), Development of a Accident Frequency Prediction Model at Rural Multi-Lane Highways, *J. Korean Soc. Transp.*, 27(4), 207-215.
- Lee S., Min S., Park J., Yoon S. (2005), Application of Logit and Probit Model, Parkyoung Publications, South Korea. 141-196.
- Park J., Oh J., Cho K. (2017), Severity and Characteristics of Speeding Offenders at Signalized Intersection, *J. Korean Soc. Transp.*, 35(1), 11-24.
- Pearce T., Maunder D. A. C., Mbara T. C., Babu D. M., Rwebangira T. (2000), Bus Accidents in India, Nepal, Tanzania, and Zimbabwe, *Transp. Res. Rec.*, 1726, 16-23.
- Prato C. G., Kaplan S. (2014), Bus Accident Severity and Passenger Injury: Evidence From Denmark, *Eur. Transp. Res. Rev.*, 6(1), 17-30.
- Theofilatos A., Graham D., Yannis G. (2012), Factors Affecting Accident Severity Inside and Outside Urban Areas in Greece, *Traffic Inj. Prev.*, 13(5), 458-467.
- Traffic Accident Analysis System (TAAS), Korea Road Traffic Authority, Gangwon-do, South Korea, <http://taas.koroad.or.kr>, 2017.08.30.
- Yoon S., Kho S.-Y., Kim D.-K. (2017), Effect of Regional Characteristics on Injury Severity in Local Bus Crashes, *Transp. Res. Rec.*, 2647, 1-8.
- Yoon S., Oh C., Park H. J., Chung B. J. (2016), Identification of Factors Affecting the Crash Severity and Safety Countermeasures Toward Safer Work Zone Traffic Management, *Korean Soc. Transp.*, 34(4), 354-372.