

교차로, 횡단보도, 터널 구간에서 사고유형에 따른 상대적 위험도 분석

이현미* · 전교석** · 김형준*** · 장정아****

Lee, Hyunmi*, Jeon, Gyoseok**, Kim, Hyung Jun***, Jang, Jeong Ah****

Analysis of Relative Risk by Accident Types at Intersections, Crosswalk and Tunnel Sections

ABSTRACT

This study presents risk ranking by accident types at intersections, crosswalk and tunnel sections. An ordered logit model was used to estimate the accident severity of traffic accidents based on 58,868 accident records that have occurred on the Seoul and Gyeonggi-do over the period 2014-2017. The factors affecting the injury severity were identified by the estimated model first, and risk ranking was proposed according to conditions of accident occurrence using relative ratio analysis later. The analysis results showed that the injury severity dramatically depends on the location and time of the accident. The analysis results showed that the injury severity dramatically depends on the location and time of the accident. Furthermore, there are severe injury cases in terms of the injury severity despite the small number of occurrence of traffic accident, or there are severe injury cases in terms of the injury severity despite the high frequency of occurrence of traffic accident.

Key words : Accident severity, Ordered logit model, Relative ratio, Accident types, Accident locations

초록

본 연구는 교차로, 횡단보도, 터널 구간에서 교통사고 유형에 따른 위험 순위를 비교 분석한 것이다. 서울, 경기도에서 발생한 2014년부터 2017년까지의 교통사고자료 중 교통량 및 속도 자료와 결합 가능한 58,868건의 자료를 구축하고, 순서형 로짓모형을 활용하여 사고심각도 추정모형을 구축하였다. 추정된 모형을 기반으로 사고심각도에 영향을 미치는 요인을 규명하고, 영향을 미치는 정도를 살펴보았다. 또한 사고발생위치(교차로, 횡단보도, 터널)별, 사고유형별, 사고발생 시간이나 상향별로 상대적 위험도 분석을 통해 위험순위를 제시하였다. 분석 결과 사고발생 위치와 시간에 따라 사고심각도에 현격한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 분석 자료로부터 산출된 사고 발생 빈도와 사고심각도와 비교해봤을 때, 발생 빈도가 적더라도 사고심각도 측면에서는 위중하거나, 발생 빈도가 높고, 사고심각도 또한 위중한 경우가 존재하는 것으로 분석되었다. 이러한 교통사고유형의 위험 평가를 통해 도로별로 상대적으로 위험한 사고유형에 대한 이해가 가능하고 도로별, 사고유형의 교통사고 위험도 지수 개발에 기초자료 활용할 수 있을 것이다.

검색어 : 사고심각도, 순서형 로짓 모형, 상대적 위험도, 교통사고유형, 사고발생위치

* 정회원 · 아주대학교 교통공학과 박사과정 (Ajou University · hm0625@ajou.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터 연구교수 (Corresponding Author · Ajou University · wjstytr@ajou.ac.kr)

*** 아주대학교 교통공학과 석사과정 (Ajou University · dukkubi0512@ajou.ac.kr)

**** 종신회원 · 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터 연구교수 (Ajou University · azang@ajou.ac.kr)

Received October 2, 2019/ revised October 11, 2019/ accepted October 22, 2019

1. 서론

본 연구의 대상이 되는 교차로, 횡단보도 및 터널 구간은 교통안전상 중요한 지점이다. 교차로와 횡단보도는 일반적으로 교통사고 발생빈도가 높고, 보다 중점으로 안전관리를 추진해야 하는 지점이다. 국토교통부의 제8차 국가교통안전기본계획(MOLIT, 2016)의 자료를 살펴보면 교차로와 횡단보도의 사고가 매년 꾸준히 증가하고, 차대사람 사고 중 사망자수 비중이 높은 횡단 중 보행사고 감소를 위한 보행자 안전을 위한 정책 및 사업이 필요하다고 언급한 바 있다. 그러나 도로유형별 사고유형에 따른 상대적 위험도 제시가 미흡한 실정이고, 때문에 정책사업 등에 활용할 수 있는 상대적 중요도 설정 연구가 필요하다고 할 수 있겠다. 이러한 상대적인 중요도 설정은 도로유형별 사고유형에 따른 상해 정도(부상신고, 경상, 중상, 사망)를 추정하고, 상대적 비교를 통해 도로유형별 교통사고유형에 따른 위험 등급을 제시할 수 있다.

최근에는 C-ITS (Cooperative-Intelligent Transport Systems) 와 IoT (Internet of Things)기반의 도로조명 시스템 등 도로별로 사고관리 예방을 위한 신기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 사고발생위험도별 사고위험도 분석 내용이 보완되면 도로에서 어떤 사고유형이 더 위험한가에 대한 관계를 이해할 수 있고, 이를 통해 효과적인 사고관리를 위한 사고예방 및 위험알림서비스 제공 등에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 전술한 문제의식을 바탕으로 사고발생위험(교차로, 횡단보도 및 터널구간)별, 사고유형별, 사고 발생 상황별 상대적인 위험도를 비교하고자 수행되었다. 이를 위해 본 논문 내에서 인적적

해에 해당하는 상해 정도(부상신고, 경상, 중상, 사망)를 사고심각도로 정의하고, 관련된 선행연구 고찰, 관련 데이터 구축, 순서형 로짓모형을 활용하여 사고심각도 예측모형 추정을 수행하였다. 추정된 모형을 기반으로 사고심각도에 영향을 미치는 변수를 제시하고, 사고심각도에 미치는 영향의 정도와 나아가 사고심각도 측면에서 상대적 위험도를 비교 제시하였다.

본 연구의 결과를 통해 도로별 사고유형에 대한 위험 평가가 가능하고, 더 다양한 도로에서의 사고유형별 위험도의 비교분석으로 도로유형별 맞춤형 사고관리 및 예방을 통한 도로안전 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 선행연구

사고심각도(부상신고, 경상, 중상, 사망)를 활용한 선행연구 검토 결과는 Table 1과 같다. 방법론적 측면에서 크게 전통적인 회귀모형을 활용한 연구와 최근 각광받는 기계학습 기법으로 수행된 연구로 구분할 수 있으며, 회귀모형에는 이분형 로지스틱 (Yannis et al., 2017), 순서형 로짓(Park et al., 2019; Feng et al., 2016), 프로빗 모형(Kang et al., 2019; Kwon et al., 2018; Yoon et al., 2017; Hao et al., 2016), 다항 로짓 모형(Rifaat et al., 2011) 등이 활용되었다. 기계학습 기법을 적용한 연구에는 지도 학습 기반의 분류분석 기법의 의사결정나무(Bin and Son, 2018), 인공신경망(Delen et al., 2017) 베이지안 네트워크(De Oña et al., 2011), Support Vector Machine, K-최근접 이웃 알고리즘(Beshah and Hill, 2010) 등의 사고요인에 따른 사고심각

Table 1. Summary of Previous Studies

Author (year)	Distinctive Factors					Methodology (Estimation model)	
	Accident Info.	Road factor	Environmental factor	Human factor	Violation	Regression Model	Machine Learning
Kang et al. (2019)	Accident type, Crash type, Vehicle speed, Vehicle weight		Light	The elderly		Ordered Probit	
Park et al. (2019)	The effects of toll, ramp, downhill slope	Road geometry	Weather (Rainfall or Snowfall)			Hierarchical Ordered Logit	
Bin and Son (2018)				Gender	Speeding, Violation of the traffic rules	Ordered Logit	Decision Tree
Chung (2018)	Vehicle speed, Impact object types	Median		Impact regions of pedestrian, Driver maneuver, Pedestrian age			

Table 1. Summary of Previous Studies (Continue)

Author (year)	Distinctive Factors					Methodology (Estimation model)	
	Accident Info.	Road factor	Environmental factor	Human factor	Violation	Regression Model	Machine Learning
Kwon et al. (2018)	Year, Accident type, Accident time, Vehicle type	Road type, Road geometry,		Gender	Speeding, Violation of the traffic rules	Ordered Probit	
Kang et al. (2017)	Accident time, Vehicle type, Vehicle speed	Road type, The width of the road			Serious, Slight, Unsafe driving		Decision Tree
Yoon et al. (2017)	Speed	Surface status, Road type		Use of seat belt		Hierarchical, Ordered Probit	
Yannis et al. (2017)			Weather, Road visibility			A binary Logistic	
Hao et al. (2016)			Weather, Road visibility			Ordered probit	
Feng et al., 2016	Day, Accident time, Crash type	Surface status, No. of lane	Weather, Season	Gender, Age	Speeding	Ordered Logit	
Prato and Kaplan(2014)	Accident time, Region	Surface status	Road visibility	The elderly	Speeding, Violation of the traffic rules	Ordered Logit, Logistic	
Rifaat et al (2011)		Street pattern				Multinomial logit (ML)	
De Oña et al. (2011)	Accident type		Light	Gender, Age			Bayesian Network
Beshah and Hill(2010)		Road type	Light, Weather, Road visibility				Decision Tree, Support Vector Machine, Naive Base Classification, K-Nearest Neighbour

도 분류 연구가 주를 이루고 있다.

선행연구에서 사고심각도에 영향을 주는 요인으로는 도로요인(도로유형, 노면상태, 구배), 환경요인(날씨와 빛의 조도), 인적요인(안전벨트 착용여부와 연령), 도로교통법 위반정보(과속 여부와 안전운전 불이행) 등이 유의미한 것으로 연구된 바 있으며, 도로유형의 경우 Kang et al.(2017), Yoon et al.(2017), Beshah and Hill(2010)의 연구에서 제시한 바와 같이 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, De Oña et al.(2011)은 교통사고의 사고심각도를 베이지안 네트워크 분석한 결과, 사고유형이 사망 또는 중상 교통사고 관련 사고심각도를 가장 효과적으로 식별하는 변수 중 하나라고 언급한 바 있다. 선행 연구에서 사고 발생 시 심각도에 영향을 주는 요인을 규명하고자 하는 연구는 다수 수행되었으나, 서론에서 언급한 바와 같이 사고발생 상황별, 유형별 상대적 위험도 분석을 통해 결과를 제시한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

본 연구에서는 사고심각도를 상해 정도에 따라 부상신고, 경상, 중상, 사망으로 분류하였다. 이는 상해 수준에 위계가 있는 분류이

며, 위계 간 격차가 일률적이지 않으므로 순서형 모형으로 분석하였다. 순서형 모형은 로짓 모형과 프로빗 모형으로 구분할 수 있는 바, 프로빗 모형과 결과 값에 차이가 크지 않고 수학적 계산이 비교적 간단한 순서형 로짓 모형을 적용하였다(Snell, 1964; Boes and Winkelmann, 2006). 순서형 모형은 독립변수의 회귀계수가 종속변수의 범주에 따라 차이가 없고, 종속변수의 범주 간의 차이를 절편계수로 나타낸다. 이는 다항명목 모형과는 다르게 분류된 순서별 그룹의 특징을 분석할 수 있는 장점이 있다(Long, 1997).

3. 연구방법

본 연구는 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)구축을 통해 사고심각도에 미치는 다양한 요인의 영향을 분석하고, 위험도로 유형별 사고유형에 따라 나타나는 사고심각도에 어떠한 차이를 보이는지 상대적 위험도 비율(Relative Risk, RR)로 비교하고자 하였다. 이를 위해 순서형 로짓모형과 상대적 위험도 분석 방법론을

활용한 바, 각 방법론의 이론적 내용은 다음과 같다.

3.1 순서형 로짓 모형

범주형 자료는 일반선형모형의 가정을 적용할 수 없기 때문에 확장형인 일반화선형모형을 사용한다. 일반화선형모형은 선형회귀분석의 장점을 그대로 가지면서 독립변수들을 하나의 회귀식으로 표현 및 설명이 가능하다. 로지스틱 회귀분석이나 다항 및 순서형, 포아송 회귀분석 등이 모두 일반화 선형모형의 특수한 형태라 할 수 있다. 이 중 순서형 로짓 모형은 목표변수(target variable) y_i 가 순서를 가지고 있는 범주형 또는 명목형 형태일 때 이용되는 분석이다. 사고심각도에 미치는 다양한 독립변수의 영향 분석에서, y_i 를 사고심각도라 정의하고 x_i 를 사고심각도의 영향 변수라 정의할 때, 관측되지 않는 잠재변수(latent variable) y_i^* 는 Eq. (1)과 같이 정의할 수 있고, 잠재변수(latent variable) y_i^* 에 따라 사고심각도 y_i 는 아래 Eq. (2)와 같이 정의된다. 이때 오차항 ϵ_i 의 확률분포가 표준 로짓 분포(standard logistic distribution)를 따른다고 가정할 경우 로짓 모형이 된다.

$$y_i^* = X_i^T \beta + \epsilon_i \quad (1)$$

$$y_i = j \text{ if } \alpha_{j-1} < y_i^* \leq \alpha_j \quad (2)$$

x_i 값이 주어졌을 때, 각 카테고리에서 i 번째의 분류된 사고심각도 중 j 에 속할 확률은 아래 Eq. (3)과 같으며 $F(z)$ 는 로지스틱분포의 누적 확률 함수를 의미한다.

$$P(y_i = j) = P(\alpha_{j-1} < y_i^* \leq \alpha_j) = F(\alpha_j - \chi_i' \beta) - F(\alpha_{j-1} - \chi_i' \beta) \quad (3)$$

추정치는 우도함수를 최대로 하는 최대우도추정치(Maximum Likelihood Estimation, MLE)로 구하고 데이터의 우도함수(likelihood function)는 Eq. (4)와 같이 표현되며, 모형의 적합성은 ρ^2 우도비(likelihood ratio)와 카이제곱(χ^2)값으로 평가하며 그 식은 Eq. (5)와 같다.

$$L = \prod_{j=1}^J \prod_{i=1}^N [F(\alpha_j - \chi_i' \beta) - F(\alpha_{j-1} - \chi_i' \beta)]^{I(y_i = j)} \quad (4)$$

$$\rho^2 = 1 - (\ln L / \ln L_0) \quad (5)$$

3.2 상대적 위험도

상대적 위험 비율(relative risk ratio)은 비교 그룹 간의 이벤트 발생 확률의 비율로써, 그룹과 이벤트 발생 사이의 관계 및 연관성의 강도를 측정하고, 둘 사이의 인과관계 가정이 성립되면 상대적 위험도(RR) 값으로 비교가 가능하다. 예를 들어, 사고발생위치 A에서의 사망사고의 위험확률과 사고발생위치 B에서의 사망사고 위험확률의 비교를 통해 사고발생위치별 사망사고 위험의 정도를 비교할 때, 상대적 위험도(RR) 값이 1인 경우 사고발생위치별 차이는 사망사고 발생 위험은 같고, 사고발생위치별 요인이 사망사고 발생위험과 연관이 없다고 해석할 수 있다. 상대적 위험도가 1보다 작을 때는 사고발생위치 A는 B에 비해 사망사고 발생 위험이 적고, 상대적 위험도가 1보다 클 때는 사고발생위치 A가 B에 비해 사망사고 발생 위험이 높은 것으로 해석할 수 있다.

4. 연구대상 및 자료

연구 수행을 위해 2014년부터 2017년까지 경찰청 교통사고분석 시스템에서 제공하는 323,794건의 교통사고자료를 구득하였다.

Table 2. Descriptive Statistics of Candidate Variables

Characteristics	Variable	Classification	Dependent variable				
			Possible injury	Minor injury	Severe injury	Fatality	Total
Crash info.	Accident types	Frontal crash	273 (4.0)	4,052 (58.7)	2,431 (35.2)	150 (2.2)	6,906 (11.7)
		Rear-end crash	767 (3.9)	13,400 (68.5)	5,181 (26.5)	218 (1.1)	19,566 (33.2)
		Side-on crash	334 (4.6)	4,982 (68.7)	1,884 (26.0)	52 (0.7)	7,252 (12.3)
		Right Angle crash	863 (5.2)	10,409 (63.2)	5,079 (30.8)	131 (.8)	16,482 (28.0)
		Crossing-pedestrian crash	362 (5.0)	2,941 (40.5)	3,606 (49.7)	352 (4.8)	7,261 (12.3)
		Single-vehicle crash	198 (14.1)	462 (33.0)	589 (42.0)	152 (10.8)	1,401 (2.4)

Table 2. Descriptive Statistics of Candidate Variables (Continue)

Characteristics	Variable	Classification	Dependent variable					
			Possible injury	Minor injury	Severe injury	Fatality	Total	
Road factor	Accident occurrence location	Intersection	1248 (4.4)	17,772 (62.1)	9,213 (32.2)	375 (1.3)	28,608 (48.6)	
		Crosswalk	78 (6.4)	596 (49.2)	495 (40.8)	43 (3.5)	1,212 (2.1)	
		Tunnel	8 (3.3)	131 (53.9)	95 (39.1)	9 (3.7)	243 (0.4)	
		Others	1,463 (5.1)	17,747 (61.6)	8,967 (31.1)	628 (2.2)	28,805 (48.9)	
Environmental factor	Time	Night (8PM~5AM)	671 (4.6)	8,807 (60.2)	4,789 (32.7)	372 (2.5)	14,639 (24.9)	
		Day (6AM~8PM)	2,126 (4.8)	27,439 (62.0)	13,981 (31.6)	683 (1.5)	44,229 (75.1)	
	Weather	Fog	4 (3.0)	75 (55.6)	48 (35.6)	8 (5.9)	135 (0.2)	
		Rain	149 (4.1)	2197 (60.7)	1,186 (32.7)	90 (2.5)	3,622 (6.2)	
		Snow	12 (2.6)	310 (66.8)	135 (29.1)	7 (1.5)	464 (0.8)	
		Sunny	2,632 (4.8)	33,664 (61.6)	17,401 (31.8)	950 (1.7)	54,647 (92.8)	
	Road condition	Surface	Snow	10 (4.3)	162 (68.9)	60 (25.5)	3 (1.3)	235 (0.4)
			Freezing	17 (2.9)	346 (59.7)	202 (34.8)	15 (2.6)	580 (1.0)
Dry			2770 (4.8)	35,738 (61.6)	18,508 (31.9)	1,037 (1.8)	58,053 (98.6)	
Accident info.	Violation types	Serious violation	247 (3.7)	3580 (53.6)	2632 (39.4)	221 (3.3)	6,680 (11.3)	
		General violation	546 (3.9)	8336 (59.3)	5035 (35.8)	129 (0.9)	14,046 (23.9)	
		Unsafe driving	1931 (5.2)	23856 (63.9)	10841 (29.0)	698 (1.9)	37,326 (63.4)	
		Others	73 (8.9)	474 (58.1)	262 (32.1)	7 (0.9)	816 (1.4)	
Human factor	Gender	Male	2,187 (5.0)	26,870 (61.6)	13,712 (31.5)	820 (1.9)	43,589 (74.0)	
		Female	610 (4.0)	9,376 (61.4)	5,058 (33.1)	235 (1.5)	15,279 (26.0)	
	Age	Mean (Std) (16.189)	42.02 (14.207)	43.42 (16.279)	46.26 (17.056)	53.01 (10.52)	42.67 (10.52)	
etc	Traffic volume (Veh/day)	Mean (Std)	21722.70 (25121.22)	19963.34 (23253.22)	19286.96 (23244.35)	14774.42 (20077.74)	19738.28 (23304.65)	
	Vehicle speed (km/h)	Mean (Std)	41.44 (10.72)	42.39 (10.47)	43.16 (10.53)	46.59 (10.04)	44.43 (15.16)	
Total			2,797 (4.8)	36,246 (61.6)	18,770 (31.9)	1,055 (1.8)	58,868 (100.0)	

해당자료에서는 상해 정도를 부상신고, 경상, 중상, 사망으로 구분되어 있으므로 이를 사고심각도 분류로 적용하였다. 이후 한국교통연구원에서 제공하는 읍·면·동 단위의 연평균일교통량과 연평균일속도(km/h) 자료 결합가능한 데이터를 추출하였으며, 최종적으로 두 자료가 결합된 58,868건의 분석자료를 구축하였다.

교통사고 데이터는 사고 발생 정보(사고 발생 일시, 시군구 단위의 위치, 사고내용), 사고유형(정면충돌, 추돌, 측면충돌, 직각충돌, 횡단 중 보행자 사고, 공작물 충돌), 사고발생 위치의 시설적 구분(교차로, 횡단보도, 터널), 기상 및 도로환경(기상상태, 노면상태), 상해자 인적정보(나이, 성별) 그리고 범규위반 여부 및 유형 등의 항목을 포함하고 있다. 사고심각도는 부상신고, 경상사고, 중상사

고, 사망사고 총 4가지로 분류하고 있으며, 최종 분석자료의 기초통계 결과는 Table 2와 같다.

5. 사고심각도 모형추정

5.1 모형추정 결과

사고심각도에 유의미한 영향(90 % 신뢰수준)을 미치는 설명변수들을 채택하여 최종 사고심각도 순서형 로짓 모형을 추정하였다. 사고심각도에 유의한 영향을 미치는 변수들의 추정치 및 결과는 Table 3과 같다. 모형의 적합성은 우도비 검정($\rho^2 = 0.121 > 0.05$) 결과 유의하였다.

Table 3. Results of Ordered Logit Model for Injury Severity

Category	Variable	β	SE	Wald	P-value	
Accident types	Frontal crash	-.587	.060	96.058	.000***	
	Rear-end crash	-.869	.055	248.136	.000***	
	Side-on crash	-.881	.062	202.148	.000***	
	Right Angle crash	-.901	.057	253.001	.000***	
	Crossing-pedestrian crash	.256	.060	18.229	.000***	
	Single-vehicle crash	0 ^a	0 ^a	.	.	
Accident occurrence location	Intersection	-.097	.020	23.711	.000***	
	Crosswalk	-.266	.062	18.215	.000***	
	Tunnel	.582	.128	20.651	.000***	
	Others	0 ^a	0 ^a	.	.	
Environmental and road factor	Time	Night	.130	.020	42.735	.000***
		Daylight	0 ^a	0 ^a	.	.
	Weather	Fog	.289	.172	2.836	.092*
		Rain	.018	.035	.264	.607
		Snow	-.095	.120	.630	.427
		Sunny	0 ^a	0 ^a	.	.
	Surface	Snow	-.243	.160	2.295	.130
		Freezing	.163	.092	3.114	.078*
		Dry	0 ^a	0 ^a	.	.
	Human and violation factor	Violation type	Serious violation	.336	.078	18.728
General violation			.408	.076	28.942	.000***
Unsafe driving			.022	.074	.088	.767
Others			0 ^a	0 ^a	.	.
Gender		Male	.058	.020	8.428	.004***
		Female	0 ^a	0 ^a	.	.
	Age	.016	.001	815.150	.000***	
Covariates	Traffic volume	-.000	-.000	3.833	.050*	
	Vehicle speed	.012	.001	179.435	.000***	
	Year	-.100	.009	123.248	.000***	

Table 3. Results of Ordered Logit Model for Injury Severity (Continue)

Category	Variable	β	SE	Wald	P-value
Threshold	Possible injury	-204.839	18.231	126.243	.000***
	Slight injury	-201.038	18.230	121.612	.000***
	Severe injury	-197.600	18.230	117.494	.000***
Number of observations				58,868	
- Log likelihood at zero LL(0) / - Log likelihood LL(β)				101,917.840 / 87,510.893	
Log likelihood Chi-square (p-value)				3,406.947 (0.000)	
Likelihood ratio index ρ^2				0.121	
Pseudo R-squared				0.068	

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

5.2 모형추정 결과의 해석

추정된 사고심각도 추정 모형을 해석하면 다음과 같다. 사고유형의 경우 모두 사고심각도에 유의한 것으로 나타났으며, 공작물충돌 사고 대비 횡단 중 보행자 충돌사고의 경우에만 양(+)의 영향을 주어 상대적으로 사고심각도가 높고, 그 외 사고유형의 경우 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 상대적으로 사고심각도는 낮은 것으로 나타났다.

사고가 발생한 위치 또한 사고심각도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 교차로, 횡단보도 상 발생사고는 그 외 도로에 비해 사고심각도에 음(-)의 영향을 주어 사고심각도는 상대적으로 낮고, 터널은 양(+)의 영향으로 나타나 상대적으로 사고심각도가 가장 높은 것으로 분석되었다.

주야간 발생 사고 간에도 사고심각도에 유의한 차이가 존재하는 것으로 분석되었고, 야간사고가 주간사고보다 더욱 치명적인 사고를 야기하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 주간에 비해 야간에 시인성이 낮고, 교통량이 적어 과속하는 경향이 있으며, 전방주시에 태만하기 쉽고, 시간적 특성으로 인해 운전자 졸음 등과 같은 안전운전 불이행 및 인지능력의 저하 때문인 것으로 사료된다. 전술한 야간 운전자의 운전 경향은 Lee et al.(2014)의 연구에서도 언급된 바 있다. 동 연구에서는 야간 교통사고 심각도가 주간에 비해 야간에 사망자/중상자 발생 비율이 각각 1.85배, 1.23배 높다는 결과를 제시하면서, 이는 주간에 비해 상대적으로 고속으로 주행하고, 이와 더불어 야간 시간대의 안전운전 불이행으로 인해 사고심각도가 증가한다고 언급하였다. 또한, 야간의 경우 시인성이 낮아 도로 공사, 선행 교통사고에 대한 명료한 인식에 제약을 받아 후행 교통사고를 유발하여 사고심각도에 영향을 준다고 언급한 바 있다.

기상상황의 경우 안개 상황이 사고심각도에 유의한 양의 영향을 주어 맑은 날의 사고보다 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 도로 노면상태의 경우 결빙도로의 사고는 사고심각도에 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타나 마른도로에서 발생하는 사고보다 심각도가 높은 것으로 나타났다. 반면 눈이 온 도로 상태는

유의하지 않은 결과가 나타났다.

부상자의 연령은 알려진 바와 같이 양(+)의 부호로 나타나, 연령이 높아질수록 사고심각도가 높아지고, 성별변수는 남성이 여성보다 사고심각도가 가중되는 결과를 보이고 있다. 법규위반유형의 경우 Retting et al.(1999)의 연구와 같이 사고를 유발할 수 있는 과속, 중앙선 침범, 불법유턴 등의 심각한 위반(serious violation)은 사고심각도에 유의한 양의 영향을 주며, 차로위반, 교차로순행방위반, 직진우회전진행방해 등의 일반위반(general violation)도 유의한 결과가 나타났다. 반면, 안전운전 관련 위반유형(안전거리미확보, 안전운전불이행)은 사고심각도에 유의하지 않은 결과가 나타났으며, 이러한 결과는 과거보다 전방추돌경고, 전방추돌방지 등 차량의 안전 기능 대중화로 인한 결과로 사료된다. 그 외 교통량의 추정계수는 음(-)의 부호로 교통량이 많을수록 사고심각도는 감소하고, 차량 평균 속도는 빨라질수록 심각도는 높아지는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 교통량의 증가는 곧 속도의 감소로 이어지는 관계가 성립하기 때문인 것으로 설명할 수 있다.

6. 상대적 위험도(RR) 비교결과

사고심각도(부상신고, 경상, 중상, 사망)별 추정 확률(estimated probability)의 상대위험도(Relative Ratio, RR)를 구하여, 교차로, 횡단보도, 터널에서 사고유형의 위험순위를 비교하였다. 상대위험도는 요인의 비교항목이 참조 항목에 비해 이벤트가 발생할 확률의 상대적 위험 정도를 나타낸다(Rifaat and Chin, 2007).

6.1 교차로, 횡단보도, 터널에서 사고유형의 상대적 위험 비교

교차로, 횡단보도, 터널에서의 사고유형별의 상대적 위험도 결과는 Table 4와 같다. 이중 사망사고(fatality)의 상대적 위험도 측면을 설명하면 다음과 같다. 먼저 교차로에서는 정면충돌사고에 비해

Table 4. Relative Ratio of Accident Types by Accident Occurrence Location

Accident occurrence location	Accident types	N (%)	Relative ratio of estimated probabilities to reference case			
			Possible injury	Slight injury	Severe injury	Fatality
Intersection	Frontal crash	3,543 (12.4)	Reference			
	Rear-end crash	7,059 (24.7)	1.45	1.12	0.77	0.66
	Side-on crash	4,248 (14.8)	1.46	1.11	0.77	0.67
	Right Angle crash	10,144 (35.5)	1.23	1.07	0.87	0.81
	Crossing-pedestrian crash	3,340 (11.7)	0.51	0.74	1.44	2.06
	Single-vehicle crash	274 (1.0)	0.62	0.84	1.29	1.57
Crosswalk	Frontal crash	23 (1.9)	Reference			
	Rear-end crash	167 (13.8)	1.27	1.04	0.82	0.76
	Side-on crash	0 (0.0)	-	-	-	-
	Right Angle crash	192 (15.8)	1.32	1.06	0.81	0.75
	Crossing-pedestrian crash	830 (68.5)	0.41	0.71	1.69	2.59
	Single-vehicle crash	0 (0.0)	-	-	-	-
Tunnel	Frontal crash	14 (5.8)	Reference			
	Rear-end crash	172 (70.8)	1.30	1.12	0.87	0.76
	Side-on crash	17 (7.0)	1.48	1.18	0.80	0.66
	Right angle crash	27 (11.1)	1.34	1.14	0.85	0.74
	Crossing-pedestrian crash	0 (0.0)	-	-	-	-
	Single-vehicle crash	13 (5.3)	0.51	0.68	1.30	1.94

Table 5. Relative Ratio of Night/Daylight by Accident Occurrence Location

Accident occurrence location	Night/Daylight	N (%)	Relative ratio of estimated possibilities			
			Possible injury	Slight injury	Severe injury	Fatality
Intersection	Night	7,313 (25.6)	0.92	0.98	1.05	1.06
	Daylight	21,295 (74.4)	Reference			
Crosswalk	Night	333 (27.5)	0.85	0.95	1.08	1.12
	Daylight	879 (72.5)	Reference			
Tunnel	Night	44 (18.1)	0.82	0.91	1.12	1.31
	Daylight	199 (81.9)	Reference			

추돌, 측면충돌사고, 직각충돌사고는 사망사고가 나타날 확률이 각각 0.66배, 0.67배, 0.81배 낮은 반면, 보행자충돌사고, 공작물충돌사고는 사망사고 발생 확률이 정면충돌사고에 비해 각각 2.06배, 1.57배 높게 나타났다. 따라서 교차로 사고는 보행자 사고가 사망자 발생 확률이 가장 높고, 공작물사고, 정면충돌사고, 직각충돌사고, 측면충돌사고, 추돌사고 순으로 높은 것으로 나타났다. 횡단보도에서는 정면충돌 사고에 비해 추돌사고와 직각충돌사고에서 사망사고 발생 확률이 0.76배, 0.75배 수준으로, 횡단 중 보행자 사고는 정면충돌사고에 비해 사망사고가 나타날 확률이 각각 2.59배 높게 나타났다. 따라서 횡단보도사고는 보행자 사고가 사망발생 확률이 가장 높고, 정면충돌사고, 추돌사고, 직각사고 순인 것으로 나타났다.

다. 터널에서는 추돌사고, 측면사고, 직각충돌사고는 정면충돌사고에 비해 사망사고가 나타날 확률이 각각 0.76배, 0.66배, 0.74배 수준으로, 공작물충돌사고는 정면충돌사고에 비해 사망발생확률이 1.94배 높은 것으로 나타났다. 따라서 터널사고는 공작물사고가 사망발생 확률이 가장 높고, 정면충돌사고, 추돌사고, 직각충돌사고, 측면충돌사고 순으로 분석되었다.

6.2 주간/야간 사고별 도로유형의 상대적 위험 비교

교차로, 횡단보도, 터널에서 주간/야간 사고의 상대적 위험도 결과는 Table 5와 같다. 모든 도로에서 야간 사고가 주간 사고보다 사망사고 발생 확률이 높은 것으로 나타났다. 특히 터널은 야간

사고가 주간 사고보다 사망사고일 확률이 1.31배 높은 것으로 나타났다.

주간야간 사고별 도로(교차로, 횡단보도, 터널)사고의 상대적 위험도결과는 Table 6과 같다. 야간 사고의 경우 터널에서 발생한 사고의 사망사고 발생 확률을 1로 봤을 때, 횡단보도와 교차로 사고의 사망사고 발생 확률은 터널 대비 각각 0.58배, 0.96배로 분석되어, 야간 사고의 경우 터널에서 사고 발생 시 사고심각도가 가장 높은 것으로 나타났다. 주간 사고의 경우에는 교차로는 터널보다 사망위험 확률이 0.72배 낮고, 횡단보도사고는 사망위험 확률이 1.11배 높은 것으로 나타나, 주간 사고의 경우에는 횡단보도에서 발생한 사고가 사망사고 발생 확률이 가장 높은 것으로 나타났다.

6.3 교차로, 횡단보도, 터널에서 사고유형의 위험순위

교차로, 횡단보도, 터널에서 사고유형에 따른 위험 순위를 비교한 결과는 Table 7과 같다.

먼저 교차로에서는 직각사고가 가장 많이 발생하였고, 그 다음 추돌사고, 측면충돌사고 정면충돌사고, 횡단 중 보행사고, 공작물충돌사고 순으로 나타났다. 교차로 발생 사고 유형별 사망위험을 비교하면, 횡단 중 보행사고 유형에서 가장 높은 것으로 나타났다.

교차로 상 발생 사고 빈도와 사고심각도를 비교해보면, 직각충돌사고와 추돌사고는 빈번하게 발생하지만, 상대적 사망위험은 비교적 낮은 순위에 속하는 것으로 나타났으며, 교차로에서 보행 중 횡단사고와 공작물충돌사고의 경우 발생 빈도는 낮으며 사망위험은 높은 것으로 나타났다.

횡단보도에서 발생하는 사고의 경우, 측면충돌과 공작물충돌 유형의 사고 자료가 없어 해당 유형 사고의 상대적 위험은 제외하였다. 횡단보도 인근에서 발생한 사고 중 횡단 중 보행자사고의 발생 빈도가 가장 많고, 그 다음 직각충돌사고, 추돌사고, 측면충돌사고 정면충돌사고 순으로 나타났다. 사망사고의 상대적 위험을 비교해보면, 횡단 중 보행사고가 가장 높고 그 다음 정면충돌사고, 추돌사

Table 6. Relative Ratio of Accident Occurrence Location by Night/Daylight

Night/Daylight	Accident occurrence location	N (%)	Relative ratio of estimated probabilities			
			Possible injury	Slight injury	Severe injury	Fatality
Night	Intersection	7,313 (95.1)	1.76	1.23	0.74	0.58
	Crosswalk	333 (4.3)	1.29	1.03	0.95	0.96
	Tunnel	44 (0.6)	Reference			
Daylight	Intersection	21,295 (95.2)	1.56	1.13	0.79	0.72
	Crosswalk	879 (3.9)	1.23	0.99	0.99	1.11
	Tunnel	199 (0.6)	Reference			

Table 7. Fatal Risk Ranking of Accident Types by Accident Occurrence Location

Category	Risk ranking	Frequency	Relative Ratio
Intersection	1	Right Angle Crash	Crossing-pedestrian Crash
	2	Rear-end Crash	Single-vehicle Crash
	3	Side-on Crash	Frontal Crash
	4	Frontal Crash	Right Angle Crash
	5	Crossing-pedestrian Crash	Side-on Crash
	6	Single-vehicle Crash	Rear-end Crash
Crosswalk	1	Crossing-pedestrian Crash	Crossing-pedestrian Crash
	2	Right Angle Crash	Frontal Crash
	3	Rear-end Crash	Rear-end Crash
	4	Frontal Crash	Right Angle Crash
Tunnel	1	Rear-end Crash	Single-vehicle Crash
	2	Right Angle Crash	Frontal Crash
	3	Side-on Crash	Rear-end Crash
	4	Frontal Crash	Right Angle Crash
	5	Single-vehicle Crash	Side-on Crash

Table 8. Fatal Risk Ranking of Accident Occurrence Location by Night/Daylight

Category	Risk ranking	Frequency	Relative Ratio
Night	1	Intersection	Tunnel
	2	Crosswalk	Crosswalk
	3	Tunnel	Intersection
Daylight	1	Intersection	Crosswalk
	2	Crosswalk	Tunnel
	3	Tunnel	Intersection

고, 직각충돌사고 순으로 나타났으며, 횡단 중 보행사고의 발생 빈도와 사망위험도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 횡단보도에서 직각충돌사고는 빈번하게 발생하지만, 상대적 사망위험은 낮은 순위를 보이고 있다. 터널에서는 추돌사고가 가장 많이 발생하며, 그 다음 직각충돌사고, 측면충돌사고, 정면충돌사고, 공작물충돌사고 순으로 나타났다. 사망사고의 상대적 위험도를 비교한 결과 공작물충돌사고 가장 높고 그 다음 정면충돌사고, 추돌사고, 직각충돌사고, 측면충돌사고 순으로 나타났다. 터널의 경우 비교적 낮은 발생빈도를 보이는 공작물충돌사고와 정면충돌사고가 고위험 유형으로 나타났다.

야간과 주간 사고별 도로유형에 따른 위험 순위를 비교한 결과는 Table 8과 같다. 야간과 주간사고 발생 빈도는 모두 교차로에서 가장 높고, 그 다음 횡단보도, 터널 순으로 나타났다. 사망위험 측면에서는 야간사고의 경우 터널에서 사고 발생 시 사고심각도가 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 횡단보도, 그 외 도로, 교차로 순으로 나타났다. 주간사고의 경우에는 횡단보도 상 발생 사고가 가장 위험하고, 터널, 교차로, 그 외 도로 순으로 나타났다.

7. 결론

본 연구는 발생사고의 사고심각도에 영향을 미치는 요인을 규명하고, 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 사고심각도 모형을 구축하였고, 이를 기반으로 사고심각도를 상대적으로 비교하였다. 분석결과, 일반적으로 알려진 바와 같이 사고발생위치(횡단보도, 교차로 및 터널구간), 사고유형, 발생시간, 노면 및 기상 상태와 같이 다양한 요소들이 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 사고 발생위치별 사고유형 간 사고심각도 비교에서 교차로의 경우 보행자 사고의 사망위험이 가장 높고, 횡단보도에서는 횡단 중 보행자 사고, 터널에서는 공작물충돌사고의 사망위험이 가장 높은 것으로 분석되었다. 사고발생위치(횡단보도, 교차로 및 터널구간)별 발생시간 간 사망위험 비교에서는 야간이 주간보다 높고, 발생 시간별 발생위치 간 사망위험 비교에서는 야간에는 터널, 주간에는 횡단보도에서 사망위험이 높은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 사고예방 및 사고심각도 저감을 위한 안전관리 차원에서 발생위치별로 주안을 두고 예방 또는 관리하여야 하는 사고유형이 다를 뿐만 아니라, 동일 사고발생위치에서도 주·야간의 안전관리 방향과 우선순위에 차등을 두어야 효율적일 수 있음을 시사한다.

본 연구의 한계점으로는 사고발생시간에 해당하는 정확한 교통량 자료와 속도 자료의 부재로 인해 동단위 연평균 교통량과 속도 자료를 사용했다는 점과 보다 정량적인 지표로 제시하기 보다 상대적 비교를 통한 순위만을 제시하였다는 점을 꼽을 수 있겠다. 또한 다량의 사고이력자료를 구축하였음에도 교통량과 속도 자료와의 결합을 위해 일부 자료만을 활용했다는 점, 보다 다양한 유형으로 구분하여 수행하지 못한 점은 아쉬움으로 남는다. 따라서, 향후 빅데이터 등을 활용하여 사고발생시간에 해당하는 교통량, 속도 자료와 사고이력자료를 결합한 연구 수행, 더욱 다양한 도로 유형 간 상대 위험 비교, 상대적 위험도 비교를 위한 정량적 지표의 개발 등을 향후 연구로 꼽을 수 있겠다.

본 연구의 결과로 교통사고 발생위치 간, 사고유형 간 상대적인 위험평가 결과를 제시한 바, 도로유형별 맞춤형 사고 예방 및 사고심각도 저감 방안 도출에의 기여와 함께 도로 안전성 증진을 위한 노력의 효율 제고에 기여할 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 스마트 도로조명 플랫폼 개발 및 실증 연구 개발사업의 연구비 지원(과제번호 19PQWO-B153369-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Beshah, T. and Hill, S. (2010). "Mining road traffic accident data to improve Safety : role of road related factors on accident severity in Ethiopia." *Proceedings of the 2010 AAAI Spring Symposium Series, AAAI*, pp. 14-19.

Bin, M. Y. and Son, S. K. (2018). "Analysis of factors influencing

- traffic accident severity according to gender of bus drivers.” *J. Korean Soc. Transp.*, JKST, Vol. 36, No. 6, pp. 440-451 (in Korean).
- Boes, S. and Winkelmann, R. (2006). “Ordered response models.” *Allgemeines Statistisches Archiv.*, Vol. 90, No. 1, pp. 167-181.
- Chung, Y. (2018). “Injury severity analysis in taxi-pedestrian crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box.” *Accident Analysis & Prevention*, AAAM, Vol. 111, pp. 345-353.
- De Oña, J., López, G., Mujalli, R. and Calvo, F. J. (2011). “Analysis of traffic accidents on rural highways using latent class clustering and bayesian networks.” *Accident Analysis & Prevention, Association for the Advancement of Automotive Medicine*, AAAM, Vol. 43, No. 1, pp. 402-411.
- Delen, D., Tomak, L., Topuz, K. and Eryarsoy, E. (2017). “Investigating injury severity risk factors in automobile crashes with predictive analytics and sensitivity analysis methods.” *Journal of Transport & Health*, JHT, Vol. 4, pp. 118-131.
- 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*, AAAM, Vol. 86, pp. 29-39.
- Hao, W., Kamga, C., Yang, X., Ma, J., Thorson, E., Zhong, M. and Wu, C. (2016). “Driver injury severity study for truck involved accidents at highway-rail grade crossings in the United States.” *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour, The International Association of Applied Psychology*, IAAP, Vol. 43, pp. 379-386.
- Kang, C. M., Chung, Y. S. and Chang, Y. J. (2019). “Injury severity analysis of truck-involved crashes on Korean freeway systems using an ordered probit model.” *J. Korean Soc. Civ. Eng., KSCE*, Vol. 39, No. 3, pp. 391-398 (in Korean).
- Kang, Y. O., Son, S. R. and Cho, N. H. (2017). “Analysis of traffic accidents injury severity in Seoul using decision trees and spatiotemporal data visualization.” *Journal of Cadastre & Land InformatiX, LX Spatial Information Research Institute, LXSIRI*, Vol. 47, No. 2, pp. 233-254 (in Korean).
- Kwon, Y. M., Jang, K. T. and Son, S. H. (2018), “Risk factors affecting the injury severity of rental car accidents in South Korea: an application of ordered probit model.” *J. Korean Inst. Intelligent Transp. Syst.*, KITS, Vol. 17, No. 3, pp. 1-17.
- Lee, S. S., Kim, T. H. and Son, B. S. (2014). “Study on effect of low visibility condition at nighttime on traffic accident.” *J. Korean Inst. Intelligent Transp. Syst.*, KITS, Vol. 13, No. 2, pp. 12-26 (in Korean).
- Long, J. S. (1997). *Regression models for categorical and limited dependent variables*, Sage Publications, California, p. 141.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT) (2016). *National road safety management plan* (in Korean).
- Park, S. J., Ko, S. Y. and Park, H. C. (2019). “The effects of road geometry on the injury severity of expressway traffic accident depending on weather conditions.” *J. Korean Inst. Intelligent Transp. Syst.*, KITS, Vol. 18, No. 2, pp. 12-18 (in Korean).
- Prato, C. G. and Kaplan, S. (2014). “Bus accident severity and passenger injury : Evidence from Denmark.” *European Conference of Transport Research Institutes*, ECTRI, Vol. 6, No. 1, pp. 17-30.
- Retting, R. A., Ulmer, R. G. and Williams, A. F. (1999). “Prevalence and characteristics of red light running crashes in the United States.” *Accident Analysis & Prevention, Association for the Advancement of Automotive Medicine*, AAAM, Vol. 31, No. 6, pp. 687-694.
- Rifaat, S. M. and Chin, H. C. (2007), “Accident severity analysis using ordered probit model.” *Journal of Advanced Transportation*, JAT, Vol. 41, No. 1, pp. 91-114.
- Rifaat, S. M., Tay, R. and De Barros, A. (2011). “Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users.” *Accident Analysis & Prevention*, AAAM, Vol. 43, No. 1, pp. 276-283.
- Snell, E. J. (1964), “A scaling procedure for ordered categorical data.” *Biometrics*, Vol. 20, No. 3, pp. 592-607.
- Yannis, G., Theofilatos, A. and Pispiringos, G. (2017). “Investigation of road accident severity per vehicle type.” *Transportation Research Procedia, World Conference on Transport Research*, Shanghai, China, Vol. 25, pp. 2076-2083.
- Yoon, S. W., Kho, S. Y. and Kim D. K. (2017). “Effect of regional characteristics on injury severity in local bus crashes : use of hierarchical ordered model.” *J. Korean Soc. Transp.*, JKST, Vol. 36, No. 1, pp. 13-22 (in Korean).