

순서형 프로빗 모형을 적용한 고속도로 화물차 사고 심각도

강찬모* · 정연식** · 장유진***

Kang, Chanmo*, Chung, Younshik**, Chang, Yoo Jin***

Injury Severity Analysis of Truck-involved Crashes on Korean Freeway Systems using an Ordered Probit Model

ABSTRACT

In general, truck-involved crashes increase severity in terms of both injury level and crash impact level. Recently, although the frequency and fatality of truck-involved crashes in Korea are rising, their associative studies are very limited. Therefore, the objective of this study is to identify critical factors influencing on injury severity of truck-involved crashes on Korean freeway system. To carry out this objective, this study uses an ordered probit model (OPM) based on a 6-year crash dataset from 2012 to 2017. From the analysis, eight variables were found to have a great effect on injury severity: older driver, crash speed, rear-end collision, number of vehicles involved, drowsy driving, nighttime (0:00 to 6:00) driving, overturn or rollover, and vehicle's fire after crash. However, injury severity was less severe in crashes under snowy condition and crashes to traffic facilities (i.e., crash alone).

Key words : Freeway, Crash, Truck, Injury severity, Ordered probit model

초록

일반적으로 화물차 사고는 일반 승용차 사고 대비 심각도가 높은 것으로 알려져 있으며, 최근 국내 화물차 사고 발생건수 및 사망률은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 국내 화물차 사고 심각도 관련 연구는 매우 제한적으로 수행되었다. 이러한 배경 하에 본 연구는 국내 고속도로에서 과거 6년간 발생한 화물차 사고 심각도를 분석하여 화물차 사고 심각도에 영향을 미치는 인자를 도출하고자 한다. 분석을 위해 순서형 프로빗 모형이 적용되었으며 총 10개의 주요 인자가 도출되었다. 이중 8개 인자(나이가 많을수록, 졸음운전의 경우, 추돌 사고의 경우, 사고 후 전도나 전복이 된 경우, 사고 후 화재가 발생한 경우, 사고에 포함된 차량 수가 많을수록, 충돌 속도가 높을수록, 야간주행(0-6시)에 발생한 사고의 경우)는 사고 심각도가 높아지는 것으로, 2개 인자(눈이 오는 경우, 단독차량사고의 경우)는 감소시키는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 국내 고속도로 화물차 사고 심각도를 낮추기 위한 정책 수립 시 기반 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 고속도로, 교통사고, 화물차, 사고 심각도, 순서형 프로빗 모형

1. 서론

교통사고의 사고 심각도는 사고 시 발생하는 충격량의 크기와 관계가 있고 충격량은 차량의 '중량'과 '속도'에 의해 결정된다(Aarts and van Schagen, 2006). 화물차는 차체와 화물의 무게로 인해 다른 차량에 비해 중량이 크며, 고속도로는 다른 지방도나 일반 국도에 비해 평균 통행 속도가 높기 때문에 고속도로에서 발생하는 화물차 사고는 사고 심각도가 높을 것이라고 판단된다. 교통사고분석시스템

* 영남대학교 도시공학과 석사과정 (Yeungnam University · iaenmoo@ynu.ac.kr)

** 종신회원 · 교신저자 · 영남대학교 도시공학과 조교수 (Corresponding Author · Yeungnam University · tpgist@yu.ac.kr)

*** 정회원 · 국토교통부 첨단도로안전과 주무관 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport · upjang80@korea.kr)

Received March 27, 2019/ revised April 10, 2019/ accepted April 16, 2019

(Traffic Accident Analysis System: TAAS)에 따르면 고속도로 화물차 사고의 경우 2012년 794건에서 2017년 937건으로 증가하는 추세이며, 사망자 수는 2012년 136명에서 2017년 106명으로 감소하는 추세이다. 하지만 화물차 사고 사망자 비율은 2012년 36.6 %에서 2017년 42.7 %까지 증가했으며, 화물차 사고가 아닌 경우보다 평균 2.5배 높은 것으로 나타났다(KoROAD, 2018). 이처럼 화물차 사고의 심각성은 증가하고 있어 이에 대한 대안수립 연구가 필요한 상황이다. 하지만 국내에서 진행된 화물차 사고 심각도 분석에 대한 연구는 특정 상황이나 특정 구간에 대한 연구가 주를 이루었으며, 고속도로 전체 구간에 대한 사고 연구, 특정 상황이 아닌 전반적인 화물차 사고에 대한 연구는 부족한 상태이다. 이러한 배경하에, 본 연구의 목적은 국내 고속도로 화물차 사고에서 탑승자의 부상 심각도에 영향을 미치는 주요 인자를 도출하는 것이다. 이를 위해 최근 6년간(2012~2017년) 국내 고속도로에서 발생한 화물차 관련 사고 자료를 활용하였으며, 탑승자 부상 심각도 관련 주요 인자의 도출을 위해 순서형 프로빗 모형(ordered probit model: OPM)을 적용하였다. 또한 한계효과 분석을 통해 분석 결과를 보다 구체적으로 해석하고자 하였다.

2. 선행연구 고찰

전술한 바와 같이, 대부분 화물차 사고 관련 연구는 국내보다는 국외를 중심으로 진행되었다. 따라서 본 연구에서는 주로 국외 문헌을 위주로 선행연구를 고찰하고자 하였다. 우선, Duncan et al.(1998)은 화물차와 승용차의 충돌에 대한 연구를 수행했으며, 어두울 때, 속도 제한이 높을 때, 도로가 젖어 있을 때, 트럭이 승용차를 추돌할 때, 음주운전과 운전자가 여성인 경우 사고 심각도를 높인다고 하였다. Chang and Mannering(1999)은 트럭 사고와 비트럭 사고의 사고 심각도의 차이는 다양한 변수의 영향을 받는다고 했으며, 그 요인으로는 개인특성(성, 나이, 보호장치), 차량특성(차종, 환경특성(날씨), 도로특성(기하학적 설계), 기타 특성(충돌 유형, 법규 위반) 등이 있다고 했다. 또한 기존 연구들이 일부 위험 요인에 초점을 맞추어 왔으며, 이는 사고 심각도에 대한 근본원인에 대한 이해를 하기에 부족하다고 했다. 네스티드 로짓 모형(nested logit model)을 적용하여 트럭 사고와 비트럭 사고에 대한 가장 심한 부상자 차이를 통계적으로 연구하였으며, 결과적으로 트럭 사고의 경우, 제한 속도가 높을 때, 방향전환(우회전, 좌회전) 시, 후방 충돌 시에 사고 심각도가 높아진다고 하였다.

Kockelman and Kweon(2002)은 차량정보, 충돌정보, 기타정보의 형태로 구분된 GES (General Estimates System) 자료를 사용하고, 순서형 프로빗 모형을 적용하여 분석하였다. 결과로는 충돌의 유형, 사고 차량 수, 성별, 차량의 유형, 운전자의 음주

여부는 운전자가 입는 부상 심각도에 영향이 있다고 하였으며, 경형트럭(미니밴, SUV, 픽업트럭 등)의 경우, 전도(rollover)가 쉽게 일어나는 것으로 나타나고, 전도와 정면 충돌은 50 mph 이상 속도에서 발생하는 사고보다 사고 심각도가 높게 나타났다. Khattak et al.(2003)은 전도에 대한 이항 프로빗 모형(binary probit model) 분석과 사고 심각도에 대한 순서형 프로빗 모형 분석에 더하여, 전도와 사고 심각도 분석에 대한 경로 분석을 하였다. 결과적으로 전도는 사망 사고의 58 %를 차지하고, 과속과 추월은 전도 확률 17 %, 21 % 증가시켰다. 사고 심각도 측면에서는 전도 충돌이 부상 가능성을 26 % 증가시켰으며, 위험한 운전 행태와 음주, 마약, 사고 후 화제가 사고 심각도를 높이는 것으로 나타났다. 경로분석결과, 곡선부 도로는 부상 가능성과 전도 확률을 각각 4 %, 9 %를 증가시키며, 전도는 부상 가능성을 26 % 증가시킨다고 하였다. 결과적으로 2.4 %의 간접적인 부상 가능성을 증가시킨다고 하였다.

Khattak and Targa(2004)의 연구에서는 HSIS (Highway Safety Information System)의 자료를 사용하여 작업구간에 대한 구분을 하고 사고 심각도 분석을 하였다. 결과적으로 다중 차량 사고 또는 화물차 사고의 경우 사고 심각도가 높아진다고 하였으며, 도로가 나뉘어지지 않거나 중앙분리대가 설치되지 않는 경우 더 높은 사고 심각도를 보인다고 하였다. 또한 작업 구간에 가까운 사고일수록, 차량의 제한 속도가 높을수록 사고 심각도가 높아진다고 하였다. Aarts and van Schagen(2006)은 개별 차량 통행 속도의 편차보다 속도의 크기가 충돌 속도와 더 큰 관계를 가지고, 고속도로 설계된 도로구간보다 저속도로 설계된 도로구간에서 충돌 속도가 빠르게 증가한다고 하였다. Xie et al.(2009)은 운전자의 나이와 차량이 오래될수록, 음주운전인 경우와 전도, 사고 후 화제가 발생한 경우 사고 심각도를 높인다고 하였다. 또한 순서형 프로빗 모형과 베이지안 순서형 프로빗 모형(bayesian ordered probit model)의 비교를 하였으며, 자료의 수가 많을수록 두 모형의 추정값은 유사하고, 자료가 적을 시, 베이지안 순서형 프로빗 모형이 순서형 프로빗 모형보다 합리적인 매개변수를 추정하는 것으로 나타났다.

Zhu and Srinivasan(2011a)은 기초통계상 화물차 사고 심각도에 대한 연구는 필수적이며, 연구를 통해 운송 정책 및 운송 업체 운영 개선 및 사고 비용 절감을 위해 연구하고자 하였다. 결과로 트럭차 사고에서 정면 충돌 및 교차로에서의 충돌이 사고 심각도가 가장 높다고 나타났으며, 차선이 많은 고속도로에서는 덜 심각한 것으로 나타났다. 주말과 밤 시간, 도로에 익숙하지 않을수록 사고 심각도가 증가했으며, 운전자의 부주의, 음주운전, 정서적 요인은 사고 심각도에 더 큰 영향을 준다고 했다. 반면에 운전자의 피로, 공격성, 안전벨트 사용여부는 통계적으로 유의하지 않다고 했다. Zhu and Srinivasan(2011b)의 연구에서는 사고 심각도 기준을

HIS (Highest Injury Severity)가 아닌 OIS (Occupant-level Injury Severity)로 삼았으며, 혼합형 순서형 프로빗 모형(mixed ordered probit model)을 적용하였다. OIS는 전반적인 충돌 설명에 좋으며, 사고 심각도가 가장 큰 사람 이외의 사람들에 대한 사고 심각도를 알 수 있어, 안전 장치 효과를 측정하는데 용이하다고 했다. HIS가 충돌 전체 심각도의 포괄적 지표는 아닐 수 있다고 하였으며, 결과적으로 불법 약물, 음주, 과로, 부주의는 사고 심각도에 유의미하고, 안전 장치(에어백, 안전벨트)는 사고 심각도를 낮추는 것으로 나타났다.

Chang and Chien(2013)은 CARTs (Classification and Regression Trees)를 통해 비모수적기법으로 종속변수와 설명변수간의 관계를 표현하고자 하였고, 이를 위해 사고 자료를 무작위로 나누어 약 70 %의 학습자료(learning data)와 나머지 30 %의 검증자료(testing data)를 구분하였다. 약 70 % 정도의 예측 정확도를 보였으며, 안전벨트 사용여부, 차량유형, 충돌유형, 사고 위치, 사고 차량의 수 등이 사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 중 음주사고가 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. Islam and Hernandez(2013)는 IIHS (Insurance Institute for Highway Safety)에서 정의한 대형 화물차(4.5톤 이상)에 대한 사고 심각도 연구를 하였다. 순서형 프로빗 모형의 한계점(관측되지 않는 변수에 대한 가정)을 극복하기 위해 랜덤 파라미터 순서형 프로빗 모형(random-parameters ordered probit model)을 적용하였다. 결과적으로 여성인 경우, 나이가 많을수록, 속도가 높을수록, 도로이탈 사고의 경우, 사고 후 차량을 이탈하는 경우 사고 심각도가

높아진다고 하였으며, 일반적으로 예상되고 연구된 결과와 다르게 어두울수록, 사고 차량 수가 많을수록, 다른 차량과 충돌하는 경우 사고 심각도가 낮다고 하였다.

기존 연구를 볼 때, 화물차 사고 영향 인자와 사고 심각도의 관계를 파악하기 위해 다양한 방식으로 많은 연구들이 수행되었다. 대체적으로 순서형 프로빗 모형을 사용하였지만, 경우에 따라 모형을 보완하거나 다른 모형을 사용하기도 하였다. 이에 비해 국내의 경우 고속도로 화물차 사고 심각도에 대한 연구 수행이 매우 부족한 실정이며, 넓은 구간 대상, 긴 기간의 자료를 활용하여 분석한 사례가 존재하지 않는 것으로 파악되었다. 결과적으로, 본 연구에서는 국내 고속도로 화물차 사고에 대한 부상 심각도 분석을 수행하고자 한다.

3. 자료의 설명 및 적용 모형

3.1 자료

본 연구에서는 한국도로공사에서 수집한 고속도로 화물차 사고 자료를 활용하였다. 2012년부터 2017까지 6년 간 한국도로공사에서 관리하는 38개 고속도로 구간에서 발생한 사고 자료가 활용되었으며, 이 중 화물차가 사고 원인 차종인 자료 7,239건을 사용하였다. 각 고속도로 구간 별 화물차 사고의 빈도는 경인고속도로 21.81 %, 서해안고속도로 10.33 %, 중부내륙고속도로지선 9.82 %, 영동고속도로 9.46 % 순으로 나타났으며, 그 외 34개 노선에서 절반 수준인 48.58 %로 나타났다. 수집된 사고 자료에는 사고 위치,

Table 1. Descriptive Statistics of the Explanatory Variables

Category	Variable	Number	Average	Description
Driver characteristic	Age	7,239	3.6994	Interval (~19(1), 20~29(2), 30~39(3), 40~49(4), 50~59(5), 60~(6))
	Gender	7,239	0.9920	1 if male driver, 0 otherwise
Crash location	TCS	909	0.1256	1 if TCS (Toll Collection System), 0 otherwise
	HiPass	300	0.0414	1 if HiPass, 0 otherwise
	Ramp	1,198	0.1655	1 if ramp, 0 otherwise
	Mainline	4,481	0.6190	1 if mainline, 0 otherwise
	Tunnel	331	0.0457	1 if tunnel, 0 otherwise
	Drowsy shelter	20	0.0028	1 if drowsy shelter, 0 otherwise
Causal factor	Speeding	1,854	0.2561	1 if speeding, otherwise: 0
	Driving with short headway	262	0.0362	1 if driving with short headway, 0 otherwise
	Drowsy driving	1,699	0.2347	1 if drowsy driving, 0 otherwise
	Distraction	2,317	0.3201	1 if distraction, 0 otherwise
	Incorrect passing	115	0.0159	1 if incorrect passing, 0 otherwise
	Vehicle breakdown	755	0.1043	1 if vehicle breakdown, 0 otherwise
	Damaged road	51	0.0071	1 if damaged road, 0 otherwise
Incorrectly loaded freight	181	0.0256	1 if incorrectly loaded freight, 0 otherwise	

Table 1. Descriptive Statistics of the Explanatory Variables (Continued)

Category	Variable	Number	Average	Description
Crash type	Broadside collision	317	0.0438	1 if broadside collision, 0 otherwise
	Rear-end collision	1,639	0.2264	1 if rear-end collision, 0 otherwise
	Collision against facility	2,859	0.3949	1 if collision against facility, 0 otherwise
Vehicle status after crash	Rollover/overturn	1,129	0.1560	1 if rollover or overturn, 0 otherwise
	Fire	69	0.0095	1 if fire, 0 otherwise
	Stop	6,050	0.8358	1 if stop, 0 otherwise
Crash characteristic	Number of trucks involved	7,239	1.5552	ratio scale
	Crash speed	7,239	92.6960	ratio scale
Weather state	Sunny	4,324	0.5973	1 if sunny, 0 otherwise
	Snowy	232	0.0320	1 if snowy, 0 otherwise
	Rainy	1,689	0.2333	1 if rainy, 0 otherwise
	Cloudy	951	0.1314	1 if cloudy, 0 otherwise
	Foggy	33	0.0046	1 if foggy, 0 otherwise
Time period	Time1 (0:00~6:00)	1,362	0.1881	1 if time1, 0 otherwise
	Time2 (6:00~12:00)	2,213	0.3057	1 if time2, 0 otherwise
	Time3 (12:00~18:00)	2,513	0.3471	1 if time3, 0 otherwise
	Time4 (18:00~24:00)	1,151	0.1590	1 if time4, 0 otherwise

사고 원인, 사고 발생시간, 사고 발생 당시 기상상황 등에 대한 정보가 포함되어 있으며, 이를 기반으로 사고 심각도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 영향 인자를 구분하였다. Table 1은 분류된 영향 인자에 대한 기초 통계를 제시한 것이다.

3.2 순서형 프로빗 모형

사고의 심각도와 같이 순위(교통 호소 혹은 대물사고, 경상, 중상, 사망)가 있는 자료를 설명하기 위해 순서형 프로빗 모형 (ordered probit model: OPM)이 널리 사용되어 왔다(Savolainen et al., 2011). 또한 OPM은 독립 변수의 단위 변화를 통해 종속 변수의 변화를 파악할 수 있다(Duncan et al., 1998; Khattak et al., 2003; Khattak and Targa, 2004; Chung et al., 2014; Chung, 2018; Kim and Chung, 2018). 따라서, 본 연구에서는 부상 심각도를 ‘교통의 호소’ 혹은 ‘대물피해(complain of pain or property damage only)’, ‘경상(visible injury)’, ‘중상(incapacitating injury)’, ‘사망(fatality)’으로 구분하고 OPM을 적용하였다. OPM 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$y_i^* = \beta' x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

여기에서, x_i 는 관측된 독립변수를 의미하고 β' 는 독립변수의 추정계수 의미한다. ε_i 는 정규분포를 따르는 오차항을 의미하며

y_i^* 는 사고 심각도를 의미한다. 일반적으로 y_i^* 는 관측할 수 없지만 이산형으로 추정 가능하며 다음과 같이 표현된다.

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } -\infty \leq y_i^* \leq \mu_0 \\ 2 & \text{if } \mu_0 \leq y_i^* \leq \mu_1 \\ 3 & \text{if } \mu_1 \leq y_i^* \leq \mu_2 \\ 4 & \text{if } \mu_2 \leq y_i^* \leq \infty \end{cases} \quad (2)$$

이 Eq. (2)에서 μ_0, μ_1, μ_2 는 추정될 임의의 파라미터 값이며, 결과적으로 OPM은 다음과 같이 표현된다.

$$P(y_i = 1) = \int_{-\infty}^{-\beta_i x_i} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = \phi(-\beta_i x_i) \quad (3)$$

$$P(y_i = 2) = \int_{-\beta_i x_i}^{\mu_1 - \beta_i x_i} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = \phi(\mu_1 - \beta_i x_i) - \phi(\mu_0) \quad (4)$$

$$P(y_i = 3) = \int_{\mu_1 - \beta_i x_i}^{\mu_2 - \beta_i x_i} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = \phi(\mu_2 - \beta_i x_i) - \phi(\mu_1 - \beta_i x_i) \quad (5)$$

$$P(y_i = 4) = \int_{\mu_2 - \beta_i x_i}^{\infty} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = 1 - \phi(\mu_2 - \beta_i x_i) \quad (6)$$

이 Eqs. (3)~(6)에서 $f(\cdot)$ 와 $\phi(\cdot)$ 는 각각 확률밀도함수와 누적분포 함수를 나타낸다.

4. 분석결과

4.1 추정모형

Table 2는 모형의 분석결과를 나타낸 것이다. 운전자 나이가 많을수록, 졸음 운전의 경우, 추돌 사고의 경우, 사고 후 차량이 전도나 전복이 된 경우, 사고 후 차량에 화재가 발생한 경우, 사고 차량 수가 많을수록, 충돌 속도가 높을수록, 심야시간(0~6시)에 발생한 사고의 경우 부상 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 이 중 사고 후 차량에 화재가 발생한 사고의 경우, 부상 심각도를 높이는 데 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 충돌 속도가 가장 적은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반대로 부상 심각도를 낮추는 요인으로는 단독차량사고(도로 시설물과 충돌)의 경우와 눈이 오는 경우 발생한 사고로 나타났다.

4.2 한계효과

순서형 확률 모형을 통해 도출된 모형은 한계점을 지니고 있다 (Savolainen and Ghosh, 2008; Savolainen et al., 2011). 따라서 모형의 정확한 해석은 한계효과 분석을 통해 가능하고, 이를 통해 독립변수가 사고 심각도에 따라 미치는 영향을 파악할 수 있다 (Cameron and Trivedi, 2010; Obeng, 2011; Chung et al., 2014; Chung, 2018). 한계효과는 편미분을 통해 독립변수의 한 단위 증가(더미 변수의 경우 0→1로 변화)로 인한 사고 심각도의 변화량을 추정한 것이며, Table 3은 한계효과 분석의 결과를 나타낸

것이다.

먼저 모형 추정 값이 가장 높았던 사고 후 차량에 화재가 발생한 사고의 경우, 사고 충격으로 탑승자는 부상으로 인한 행동 제약(충격으로 인한 신체 능력, 판단력 저하, 부상으로 인한 이동 불가 등)이 발생할 수 있으며, 이러한 상황에서 발생한 화재는 2차 부상으로 이어질 가능성이 높기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 추정된다. 결과적으로 경상, 중상, 사망사고 확률이 각각 6.6 %, 2 %, 6.8 %를 증가되는 것으로 나타났다. 이와 유사하게 사고 후 차량이 전도나 전복된 경우에도 탑승자의 행동에 제약이 발생하고 대처능력이 감소하여, 사고 심각도가 증가되는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존 연구 결과와 일치한다(Khattak et al., 2003; Khattak and Targa, 2004). 추돌 사고의 경우도 부상 심각도를 높이고, 부상 확률을 각각 3.2 %, 1.0 %, 3.2 % 증가시키는 것으로 나타났으며, 이 결과 또한 기존 연구와 유사한 것으로 나타났다 (Duncan et al., 1998).

운전자의 나이가 증가할수록 부상 심각도의 확률이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 운전자의 반응속도, 부상 회복 속도 등, 신체 능력의 저하로 인한 것으로 해석할 수 있다(O'donnell and Connor, 1996; Xie et al., 2009; Islam and Hernandez, 2013). 졸음 운전의 경우에도 운전자의 반응속도와 신체 능력이 저하되고 주황 중 판단력, 사고 직전 대처 능력이 현저히 줄어들 것으로 판단되어, 부상 심각도 확률이 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 심야 시간대에 발생한 사고의 경우, 운전자가 피로하고 낮시간대 대비 시야의 폭이 감소되기 때문에, 이러한 환경에서 발생한 사고의 부상 심각도가 증가하는 것은 합당한 결과로 해석된다. 결과적으로 이러한 상황에서 발생한 사고의 부상 심각도 확률은 증가

Table 2. Results of Ordered Probit Model on Injury Severity

Variable	Coefficient	Std.	p-value
Driver characteristic: Age	0.0599	0.0113	0
Causal factor: Drowsy driving	0.3856	0.0427	0
Crash type: Rear-end collision	0.3362	0.7542	0
Crash type: Collision against facility	-0.7996	0.0777	0
Vehicle status after crash: Rollover/overturn	0.3387	0.0482	0
Vehicle status after crash: Fire	0.6539	0.1505	0
Crash characteristic: Number of trucks involved	0.1723	0.0190	0
Crash characteristic: Crash speed	0.0052	0.0014	0
Weather condition: Snowy	-0.4166	0.1345	0.02
Time period: Time1 (0:00~6:00)	0.0898	0.0481	0.06
Number of crashes		7,239	
LR chi2 (10)		1616.25	
Prob>chi2		0.0000	
McFadden's ρ^2		0.1783	

Table 3. Marginal Probability Effects of Estimated Model

Variable	Complaints of pain	Visible Injury	Incapacitating Injury	Fatality
Driver characteristic: Age	-0.012	0.006	0.002	0.005
Causal factor: Drowsy driving	-0.087	0.037	0.012	0.038
Crash type: Rear-end collision	-0.074	0.032	0.010	0.032
Crash type: Collision against facility	0.113	-0.060	-0.016	-0.037
Vehicle status after crash: Rollover/overturn	-0.075	0.033	0.010	0.032
Vehicle status after crash: Fire	-0.159	0.063	0.021	0.075
Crash characteristic: Number of trucks involved	-0.036	0.016	0.005	0.015
Crash characteristic: Crash speed	-0.001	0.000	0.000	0.000
Weather condition: Snow	0.069	-0.035	-0.010	-0.025
Time period: Time1 (0:00~6:00)	-0.018	0.008	0.003	0.007

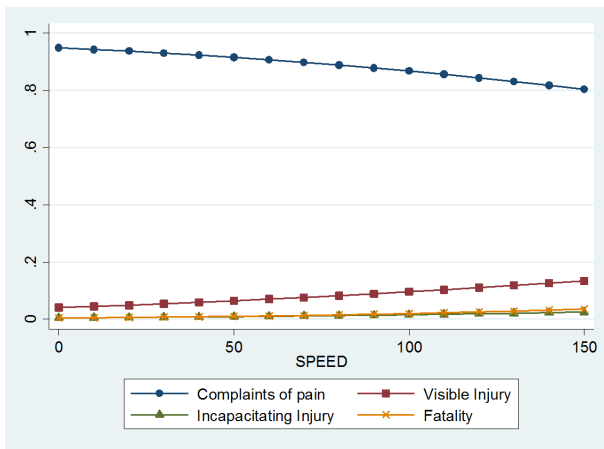


Fig. 1. Predicted Probabilities by Crash Speed

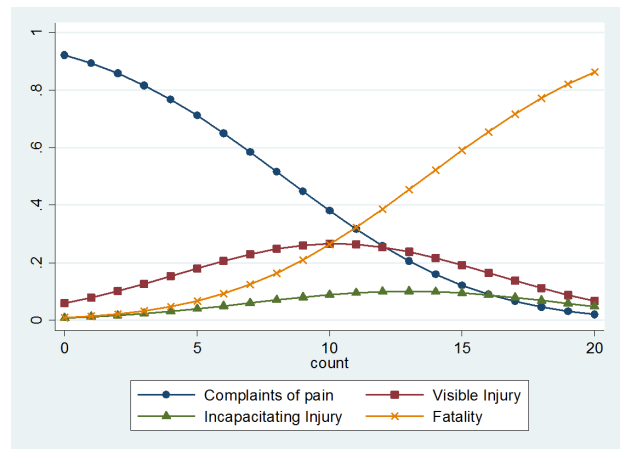


Fig. 2. Predicted Probabilities by Number of Trucks Involved

하는 것으로 나타났으며, 기존 연구결과와도 일치한다(Kockelman and Kweon, 2002; Xie et al., 2009; Zhu and Srinivasan, 2011a). 반대로 차량 단독사고의 경우 경상, 중상, 사망과 같은 부상 심각도 확률을 낮추는 것으로 나타났다. 차량 단독사고의 경우 트럭과 교통시설물(예, 가로등, 중앙분리대, 방호벽 등)과의 충돌이기 때문에, 충돌 시 교통시설물이 충격을 대부분 흡수하여 결과적으로 탑승자의 충격이 감소하여 나타난 결과로 해석된다. 또한 눈이 오는 경우, 운전자는 감속운전을 하거나 방어운전을 하여 사고 발생시 부상 심각도 확률이 감소하는 것으로 추정된다.

충돌속도와 사고에 포함된 차량의 수는 비율척도에 해당하는 변수로, 이와 같은 변수는 그래프를 이용하여 부상 심각도에 대한 한계효과를 해석할 수 있다. Fig 1은 충돌 속도에 따른 부상 심각도의 한계효과를 표현한 것이다. 이 그래프에서 x축은 충돌 속도, y축은 부상 심각도에 대한 예측 확률을 나타낸다. 결과적으로 충돌 속도가 증가함에 따라 경상, 중상, 사망과 같은 부상 확률은 증가하지만, 고통만을 호소하는 수준의 경미한 부상 확률은 감소하는

것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존 연구 결과와 일치한다(Aarts and van Schagen, 2006). Fig. 2의 경우, 사고에 포함된 차량의 증가에 따른 부상 심각도에 대한 한계효과를 제시한 것이다. 사고에 포함된 차량의 수가 증가함에 따라 사망 확률은 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 반대로 고통을 호소하는 수준의 매우 경미한 사고의 가능성은 급격히 감소함을 알 수 있다. 한편, 매우 흥미로운 결과가 관측되었다. 경상과 중상의 확률은 사고에 포함된 차량의 수가 증가함에 따라 증가하다 다시 하락하는 패턴을 보여주고 있다. 이 중, 중상의 확률은 꾸준히 증가하다 사고에 포함된 차량의 수가 15대 이상인 경우부터 하락하는 패턴을 보여주며, 경상의 경우 꾸준히 증가하다 사고 차량 수가 10대 이상인 경우부터 하락하는 패턴을 보여주고 있다. 즉, 사망이나 고통만 호소하는 매우 경미한 부상과 달리 중상과 경상에 대한 확률의 증감은 사고에 포함된 차량의 특정 값(수)에 따라 변함을 알 수 있다. 이는 사고에 포함된 차량의 수가 증가함에 따라, 사망 사고 발생 비율의 증가가 비 사망 사고 발생 비율(중상, 경상)의 증가 보다 더욱 크기 때문에

나타난 결과로 보인다. 결과적으로 사고에 포함된 차량 수가 사망 사고 발생 확률에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

기존 한계효과 분석에 대한 연구를 보았을 때, 사고의 부상 심각도를 4단계로 구분한 경우, 1단계·2단계, 3단계·4단계의 확률 부호가 동일하게 나타나는 경향이 있다(O'donnell and Connor, 1996; Chung et al., 2014; Chung, 2018). 하지만 Table 3를 보면 대물피해사고 여부에 따라 부호가 구분되는 것을 알 수 있는데, 이는 화물차 사고의 특징으로 판단되며, 기존 화물차 사고의 부상 심각도 연구와 유사한 결과로 보인다(Duncan et al., 1998; Khattak et al., 2003; Khattak and Targa, 2004; Islam and Hernandez, 2013). 이는 화물차 사고는 일반적으로 부상 심각도가 높다는 것을 의미하고 부상 심각도를 낮게 만드는 요인(운전자의 감속운전, 사고 관련자가 화물차 운전자 하나인 경우)이 있는 경우, 차량의 특성(운전석이 높고, 다른 차량에 비해 튼튼함)으로 인해 탑승자의 부상을 크게 감소시키기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 한국도로공사 고속도로 교통 사고 자료를 활용하여 화물차 사고에서의 탑승자 부상 심각도를 분석하였다. 6년간 총 7,239건의 자료를 활용하고 OPM을 적용하였다. 분석결과 운전자의 나이가 증가할수록, 충돌 속도가 증가할수록, 사고 차량 수가 증가할수록, 줄음운전의 경우, 추돌 사고 시, 사고 후 차량에 화재가 발생한 경우, 사고 후 차량이 전도나 전복된 경우, 심야 시간대(0-6 시)에 발생한 사고의 경우 부상 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 한계효과 분석을 통해 관련 인자들의 변화에 따른 부상 심각도 변화를 파악하였다. 결과적으로 사고 후 차량에 화재가 발생한 경우, 부상 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 충돌 속도가 가장 적은 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 반면, 눈이 오는 경우에 발생한 사고, 차량단독사고의 경우는 부상 심각도를 낮추는 것으로 확인되었다. 한편, 사고에 포함된 차량의 수에 따른 한계효과 분석에서 특정 차량 대수에서 경상과 중상의 확률이 다르게 나타났다. 이러한 결과에 대한 보다 정밀한 분석을 통해, 경상 및 중상 확률이 다르게 분포하는 원인을 파악하고 더 나아가 대형 사고에 대한 안전정책 수립이 필요할 것으로 판단된다.

화물차 사고에서 부상 심각도에 큰 영향을 미칠 수 있는 인자 중의 하나는 차량의 중량일 것이다. 본 연구에서 화물차량의 유형과 적재 규격은 파악이 가능하였으나, 적재된 화물의 중량의 파악은 불가능하여 차량의 총 중량에 대한 변수와 화물차 유형에 대한 변수는 활용하지 못했다. 그러나 향후 화물차량의 총 중량에 대한 자료와 화물차 유형에 대한 자료가 사고자료에 포함된다면, 부상 심각도에 대한 보다 정밀한 분석 결과를 도출할 수 있을 것으로

판단된다. 마지막으로 본 연구에서는 사고의 심각도에 대한 분석을 탑승자 부상 심각도에 의해 수행되었다. 그러나 부상의 심각도는 동일 인원의 심각도로 평가된 것이 아니며, 사망, 중상, 경상과 같이 인원수와 관련 없이 분류하여 분석되었다. 결과적으로 사고의 심각도 혹은 부상 심각도에 대한 분석은 다양한 측면에서 고려되어야 할 것이다. 예를 들면, 사망자의 수, 중상자의 수, 경상자의 수에 의해 부상 심각도는 재분류가 가능하며, 사고의 심각도 또한 차량의 파손정도, 사고의 경제적 피해규모, 탑승자의 부상정도 등 다양한 척도에 의해 평가될 수 있다. 이러한 경우, 단순한 OPM에 의한 접근이 아닌 다른 모형(예, 구조방정식(Structural Equation Modeling: SEM) 등)을 통한 연구도 진행될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.18TLRP-B1483 86-01, 사업용 차량을 이용한 도로교통 정부 수집 및 활용기술 개발).

References

- Aarts, L. and Van Schagen, I. (2006). "Driving speed and the risk of road crashes: A review." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 38, No. 2, pp. 215-224.
- Cameron, A. C. and Trivedi, P. K. (2010). *Microeconometrics using stata*. Stata press College Station, TX.
- Chang, L. Y. and Chien, J. T. (2013). "Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model." *Safety Science*, Vol. 51, No. 1, pp. 17-22.
- Chang, L. Y. and Mannering, F. (1999). "Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck-and non-truck-involved accidents." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 31, No. 5, pp. 579-592.
- Chung, Y. (2018). "Injury severity analysis in taxi-pedestrian crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 111, pp. 345-353.
- Chung, Y., Song, T. J. and Yoon, B. J. (2014). "Injury severity in delivery-motorcycle to vehicle crashes in the seoul metropolitan area." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 62, pp. 79-86.
- Duncan, C., Khattak, A. and Council, F. (1998). "Applying the ordered probit model to injury severity in truck-passenger car rear-end collisions." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1635, pp. 63-71.
- Islam, M. and Hernandez, S. (2013). "Large truck-involved crashes: Exploratory injury severity analysis." *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 139, No. 6, pp. 596-604.
- Khattak, A. and Targa, F. (2004). "Injury severity and total harm in truck-involved work zone crashes." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1877, pp. 106-116.

- Khattak, A. J., Schneider, R. J. and Targa, F. (2003). "Risk factors in large truck rollovers and injury severity: Analysis of single-vehicle collisions." *Transportation Research Record*, p. 40.
- Kim, S. and Chung, Y. (2018). "Injury severity analysis of cyclists in two wheeler to taxi crashes: An application of vehicle black box data in Incheon, Korea." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 6, pp. 917-923 (in Korean).
- Kockelman, K. M. and Kweon, Y. J. (2002). "Driver injury severity: An application of ordered probit models." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 34, No. 3, pp. 313-321.
- Korea Road Traffic Authority (KoROAD) (2018). *Traffic Accident Analysis System*, Available at: <https://taas.koroad.or.kr> (Accessed: November 8, 2018)
- Obeng, K. (2011). "Gender differences in injury severity risks in crashes at signalized intersections." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, No. 4, pp. 1521-1531.
- O'donnell, C. and Connor, D. (1996). "Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 28, No. 6, pp. 739-753.
- Savolainen, P. and Ghosh, I. (2008). "Examination of factors affecting driver injury severity in michigan's single-vehicle-deer crashes." *Transportation Research Record*, Vol. 2078, No. 1, pp. 17-25.
- Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D. and Quddus, M. A. (2011). "The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, No. 5, pp. 1666-1676.
- Xie, Y., Zhang, Y. and Liang, F. (2009). "Crash injury severity analysis using bayesian ordered probit models." *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 135, No. 1, pp. 18-25.
- Zhu, X. and Srinivasan, S. (2011a). "A comprehensive analysis of factors influencing the injury severity of large-truck crashes." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, No. 1, pp. 49-57.
- Zhu, X. and Srinivasan, S. (2011b). "Modeling occupant-level injury severity: An application to large-truck crashes." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, No. 4, pp. 1427-1437.