

차량 블랙박스 자료를 활용한 택시-이륜차 사고에서의 이륜차 이용자 사고 심각도 분석

김선중* · 정연식**

Kim, Seonjung*, Chung, Younshik**

Injury Severity Analysis of Cyclists in Two Wheeler to Taxi Crashes: An Application of Vehicle Black Box Data in Incheon, Korea

ABSTRACT

In recent, technological advancement including a vehicle black box (VBB) has led to reducing such underreporting issues and errors of crash data. The objective of this study is to analyze the injury severity of cyclists on taxi-to-two wheeler crashes based on the accurate crash data collected from the VBB in taxi. This study defined the two wheelers as bicycle and motorcycle. To perform this study, we used the VBB data collected from taxis operating in Incheon, South Korea for a two-year period (2010-2011). An ordered probit model was applied to analyze the injury severity in crashes. As a result, new injury severity factors were found: increase of the crash speed of taxi, damage of crash-involved vehicles (i.e., taxi and/or two wheeler), not standing of cyclists after crash, and second or third impact of cyclists after first crash.

Key words : Crash, Vehicle black box, Two wheeler (TW), Taxi, Injury severity, Ordered probit model

초 록

최근 도입되고 있는 첨단 차량 장치는 교통 안전분야에서 중요한 이슈가 되어왔던 중대형 사고 위주의 자료수집, 사고 자료의 정확성과 같은 다양한 문제를 해결할 수 있는 대안으로 부각되고 있다. 본 연구는 이러한 첨단 차량 장치의 하나인 차량 블랙박스 자료를 활용하여, 이륜차(two wheeler: TW) 즉, 자전거 혹은 오토바이와 택시간 사고 발생 시 이륜차 운전자의 사고 심각도를 분석하고자 하였다. 연구를 위해 인천시에서 2010년부터 2011년까지 영업용 택시 블랙박스에 기록된 택시-이륜차 사고 자료를 활용하였으며, 심각도 분석을 위해 순서형 프로빗 모형을 적용하였다. 결과적으로 기존 연구결과에서는 확인할 수 없는 새로운 심각도 요인이 발견되었다. 즉, 충돌 직전의 택시 속도가 높을수록, 택시 또는 이륜차의 파손이 발생한 경우, 사고 후 이륜차 운전자의 보행이 불가능할 경우, 그리고 1차 사고 후 이륜차 운전자가 2, 3차 충격으로 이어진 경우 사고 심각도는 더욱 높아지는 것으로 나타났다.

검색어 : 교통사고, 차량블랙박스, 이륜차, 택시, 사고 심각도, 순서형 프로빗모형

* 정희원 · 영남대학교 도시공학과 석사과정 (Yeungnam University · ksj25912@ynu.ac.kr)

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

Received October 16, 2018/ revised October 23, 2018/ accepted October 27, 2018

1. 서론

자전거와 오토바이와 같은 이륜차(Two Wheeler: TW)는 사고 발생 시 운전자의 충격을 보호할 수 있는 차체가 없어 운전자의 치사율을 높이는 것으로 알려져 있다. 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System: TAAS)¹⁾에 따르면 전국 교통사고 사망건수는 2012년 5,392건에서 2017년 4,185건으로 연평균 약 5%씩 감소하고 있는 반면, 이륜차 사고 사망건수는 2012년 694건에서 2017년 671건으로 연평균 1%씩 감소하여 전국 교통사고에 비해 사망건수 감소가 더딘 편이다. 또한 전국 교통사고 발생건수는 2012년 223,656건에서 2017년 216,335건으로 연평균 약 1%씩 감소하고 있는 반면, 이륜차 사고 발생건수는 2012년 23,323건에서 2017년 27,793건으로 약 4%씩 증가하고 있다.

따라서 다양한 이륜차 사고 관련 연구가 수행되어 왔다. 이때 이륜차 사고 분석 자료는 일반 차량과 마찬가지로 대부분 경찰에서 수집한 사고 자료를 활용하였다. 그러나 경찰 조사 자료의 경우 다음과 같은 한계점이 있다(Chung and Won, 2018). 사고가 발생했을 때 운전자의 부상 수준이 높은 사고의 경우 경찰에 신고하지만, 부상 수준이 낮은 사고의 경우 경찰에 신고하지 않을 가능성이 있으며, 이로 인해 경미한 사고 자료는 사고통계에 누락되는 경우가 일반적이다. 또한, 수집된 자료의 경우, 사고 당사자 혹은 주변의 목격자 진술, 혹은 차량의 파손정도, 스키드 마크 등의 분석에 의해 기록되기 때문에, 사고 발생시간, 충돌 속도, 사고원인 등과 같이 사고분석에서 중요하게 활용되는 정보가 부정확하게 기록될 가능성이 존재해 왔다.

최근 차량용 블랙박스 장착이 보편화되면서, 이를 사고 분석에 활용하는 연구가 시도되고 있다(Chung and Chang, 2015; Chung, 2018). 블랙박스 자료는 경찰에 신고된 사고 외에 부상 수준이 경미한 사고 자료를 포함하고 있으며, 분석자가 영상 정보를 통해 사고 전후 상황을 정확하게 판단할 수 있어 기존 사고 조사 과정에서 수집할 수 없었던 다양한 인자 수집이 가능하다. 본 연구는 차량 블랙박스 자료를 활용하여 이륜차 사고 발생시 이륜차 운전자의 부상 심각도 인자를 분석하고자 하였다. 분석을 위해 2010년부터 2011년까지 인천시 법인택시 블랙박스에 기록된 이륜차 관련 사고 자료를 수집하였으며, 수집된 자료는 순서형 프로빗모형(Ordered Probit Model)을 활용하여 이륜차 운전자 사고 심각도를 분석하였다.

2. 선행연구 고찰

오토바이 운전자 사고 심각도에 대한 초기 연구는 대표적으로 머리 부상 및 헬멧 착용과 같이 인적특성을 중심으로 연구가 수행되

었다(Goldstein, 1986; Weiss, 1992). Goldstein(1986)은 머리, 목, 그리고 다른 신체 부위 부상에 대한 심각도 분석을 위해 토빗모형을 활용하였으며, Weiss(1992)는 신체 부상 자료를 근거로 머리 충돌에 대한 심각도를 분석하기 위해 순서형 프로빗모형을 활용하였다(Shankar and Mannering, 1996). 이러한 연구를 통해 헬멧 착용이 사고 심각도 감소에 기여할 수 있다는 것을 강조하였다. 이후 사고 심각도 연구를 위해 인적특성 외에 외부환경특성, 도로특성, 사고특성, 그리고 차량특성을 고려한 다변량 분석이 수행되었다. Qudus et al.(2002)은 경찰조사 자료 기반 순서형 프로빗모형을 활용하여 오토바이 운전자 사고 심각도를 분석하였다. 분석결과, 비승기폭격적인, 엔진 용량 증가, 차량 전조등이 꺼진 주간 시간대, 이른 아침, 오토바이에 동승자가 탑승(pillion passenger)한 사고인 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. Savolainen and Mannering(2007)은 오토바이 운전자 사고 심각도를 분석하기 위해 경찰조사 조사 자료 기반 네스티드 로짓모형 및 다변량 로짓모형을 적용하였다. 분석결과, 제한된 시야(수평 구간, 수직 구간, 야간 시간대), 과속, 음주운전, 헬멧 미착용, 우측 측면 및 정면충돌, 그리고 공작물 사고인 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났고, 젖은 노면상태, 교차로 인근, 그리고 오토바이에 동승자가 탑승한 사고의 경우 사고 심각도가 낮아지는 것으로 나타났다. Na and Park(2012)은 경찰조사 자료 기반 청주시 주간선도로에서 발생한 오토바이 사고 심각도 분석을 위해 순서형 로짓모형을 활용하였으며, 겨울철, 주간 시간대, 25세 이하, 그리고 이륜차 대 차량 사고가 오토바이 운전자의 사고 심각도를 높인다는 연구결과를 도출하였다. Choi and Kum(2014)은 경찰조사 자료 기반 서울특별시 전 구간에서 발생한 오토바이 사고 자료를 분석하기 위해 순서형 프로빗모형을 적용하였다. 분석결과, 이륜차 단독, 좌측 내리막 선형, 좌측 평지, 직선 내리막 선형, 그리고 이륜차 배기량(50cc 이상)인 사고의 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났으며, 주간 시간대, 이륜차 대 차량, 그리고 이륜차 대 사람 사고인 경우 사고 심각도가 낮아지는 것을 확인하였다.

마찬가지로 1990년대 말 이후, 자전거 운전자 사고 심각도 연구를 위해 여러 특성을 고려한 다변량 분석이 수행되었다. Klop and Khattak(1999)은 경찰조사 자료 기반 자전거 운전자 사고 심각도 분석을 위해 순서형 프로빗모형을 적용하였다. 분석결과, 직선 및 곡선 오르막 구간, 야간 시간대, 안개, 그리고 제한 속도가 높은 곳에서 발생한 사고의 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 반대로, 높은 연평균 일교통량(Annual Average Daily Traffic: AADT), 제한속도가 높고 길어깨 폭이 넓은 구간, 그리고 야간에 가로등이 켜진 곳에서 발생한 사고인 경우 사고 심각도가 낮아진다는 연구결과를 도출하였다. Oh et al.(2007)은 인천광역시 전 지역 교차로에서 발생한 자전거 운전자의 사고 심각도 분석을

1) <http://taas.kroad.or.kr/>

위해 순서형 프로빗모형을 적용하였다. 인천시 부평구의 다른 지역에서 발생한 사고, 높은 평균 일교통량(Average Daily Traffic: ADT), 가해자 차량의 속도가 증가할수록, 그리고 가해자 차량이 직진 중에 발생한 사고인 경우 사고 심각도를 높이는 것으로 나타났다. 반대로, 교차로 밖, 교통섬, 자전거 전용도로, 그리고 횡단보도가 설치된 곳에서 발생한 사고는 자전거 운전자의 사고 심각도를 낮추는 것으로 나타났다. Yan et al.(2011)은 자전거 운전자의 사고 심각도 분석을 위해 다변량 로짓모형 및 이항 로짓모형, 경향분석(propensity analysis)을 적용하였다. 분석결과, 충돌 후 운전자가 튕겨져 나갈 경우, 정면충돌, 자전거 주행 중 사고, 야간에 가로등이 없는 곳에서 발생한 사고, 중앙분리대가 없는 곳에서 발생한 사고, 높은 제한속도, 그리고 화물차 사고는 자전거 운전자의 사고 심각도를 높이는 것으로 나타났다. Shin et al.(2012)은 경찰조사 자료 기반 서울특별시에서 발생한 자전거 운전자 사고 심각도 분석을 위해 로지스틱 회귀모형을 활용하였다. 분석결과, 자전거 운전자의 범규위반, 횡단보도를 건너는 자전거 운전자, 차량 운전자 범규위반, 그리고 자전거 운전자의 연령이 증가할 경우 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났고, 여성 자전거 운전자, 곡선 및 경사지에서 발생한 사고인 경우 사고 심각도가 낮아지는 것을 확인하였다.

선행연구 고찰을 통해 본 연구의 차별성을 도출하였다. 선행연구들의 사고 자료 수집은 경찰조사 자료 활용하여 부상 수준이 경미한 이륜차 사고의 경우 수집하지 못할 가능성이 있다. 즉, 경찰조사 자료가 아닌 새로운 수집 기술을 활용한 사고 분석으로 연구의 정확성을 높일 필요가 있다. 블랙박스 자료는 영상 정보를 통해 사고 상황을 확인하여 분석자가 사고 당시 정보를 정확하게 판단할 수 있으며, 차량 주행 방향, 충돌 속도, 충돌 위치, 그리고 2, 3차 충격과 같이 기존에 확인할 수 없었던 인자를 추가한 연구가 수행될 수 있다. 따라서 본 연구는 택시-이륜차 사고 블랙박스 자료를

활용하여 이륜차 운전자의 사고 심각도에 영향을 미치는 인자를 도출하고자 한다.

3. 자료 구축

본 연구는 2010년부터 2011년까지 2년 간 인천택시공제조합에서 수집한 인천광역시 택시-이륜차 교통사고 248건에 대한 블랙박스 영상 자료와 이에 대한 사고 기록 자료를 활용하였다. 먼저 분석자가 블랙박스 영상 정보를 통해 사고 상황을 확인함으로써 택시와 이륜차의 파손여부, 주행 방향, 충돌 속도, 충돌 위치, 사고 후 이륜차 운전자의 보행여부, 그리고 2, 3차 충격 여부 등 기존 경찰조사 자료에서 수집할 수 없었던 새로운 인자를 추가하였다. 이 중 택시와 이륜차의 파손여부는 블랙박스를 통해 차량의 파손이 확인되는 경우 ‘파손 있음’, 확인되지 않았을 경우 ‘파손 없음’으로 구분하였으며, 주행방향은 사고 당시 택시와 이륜차 각각의 주행방향(직진, 좌·우회전, U턴)을 구분하였다. 다음으로 충돌 속도는 영상 정보에서 확인된 충돌 직전의 택시의 속도를 나타내며, 충돌 위치는 택시와 오토바이의 충돌 위치를 정면충돌, 측면충돌, 추돌, 그리고 사이드(sidewipe)로 나누어 구분하였다. 또한 사고 후 이륜차 운전자의 보행여부는 영상을 통해 사고가 경미하여 이륜차 운전자가 보행한 것이 확인되는 경우 ‘보행 가능’으로 정의하였으며, 반면에 사고 후 사망했거나 부상 정도가 심하여 보행이 불가능하다고 판단되는 경우 ‘보행 불가능’으로 구분하였다. 마지막으로 2, 3차 충격 여부는 사고 과정에서 택시-이륜차 간 1차 충돌 이후 이륜차 운전자의 2, 3차 충격 여부를 구분하였다.

본 연구에서는 인천택시공제조합에서 수집한 기존의 사고 기록 자료에서 사고자 수, 가해자/피해자 구분, 택시 및 이륜차 사고원인, 이륜차 운전자 진단 정보를 변수로서 활용하였다. 여기서 이륜차

Table 1. Descriptive Statistics of Taxi-Two Wheeler Crash Data

Category	Variable definition	Description and coding input value
Vehicle characteristics	Taxi vehicle maneuver	If straight through: 1, otherwise: 0 If right and left turn: 1, otherwise: 0 If U-turn: 1, otherwise: 0
	TW maneuver	If straight through: 1, otherwise: 0 If right and left turn: 1, otherwise: 0 If U-turn: 1, otherwise: 0
Human characteristics	TW driver gender	If TW driver was male: 1, otherwise: 0
Environmental characteristics	Weather	If rainy: 1, otherwise: 0
	Road surface condition	If dry: 1, otherwise: 0 If wet: 1, otherwise: 0 If snow: 1, otherwise: 0
	Time period	If daytime periods (07:00-18:00): 1, otherwise: 0
	Sight obstruction	If near parking: 1, otherwise: 0

Table 1. Descriptive Statistics of Taxi-Two Wheeler Crash Data (Continued)

Category	Variable definition	Description and coding input value
Road characteristics	Number of lanes	1, 2, 4, 6, 8, 10 (ratio scale)
	Road section	If near intersection: 1, otherwise: 0 If intersection: 1, otherwise: 0 If near crosswalk: 1, otherwise: 0 If crosswalk: 1, otherwise: 0 If roadway segment: 1, otherwise: 0 If segregation: 1, otherwise: 0
	Segregation of vehicle and pedestrian paths	If segregation: 1, otherwise: 0
	Median	If median on the road: 1, otherwise: 0
Crash characteristics	Traffic control type	If normal: 1, otherwise: 0 If flashing: 1, otherwise: 0 If none: 1, otherwise: 0
	Number injured	1, 2, 3+ (ratio scale)
	Assault/Victim	If assault: 1, otherwise: 0
	Helmet	If wear: 1, otherwise: 0
	Vehicle speed	Running speed (running speed prior to starting break) Crash speed (speed at the crash moment reconstructed by VBB)
	TTC (Time To Collision)	Time difference between braking start and crash moment (ratio scale)
	Taxi damage	If damage: 1, otherwise: 0
	TW damage	If damage: 1, otherwise: 0
	Crash cause(taxi)	If passenger getting on/off taxi: 1, otherwise: 0 If driver was running at the red light signal: 1, otherwise: 0 If merging in traffic, otherwise: 0 If passing, otherwise: 0 If driver distracted: 1, otherwise: 0 If driver was crossing the central line: 1, otherwise: 0 If other factors: 1, otherwise: 0
	Crash cause(TW)	If normal driving: 1, otherwise: 0 If two wheeler was jaywalking: 1, otherwise: 0 If two wheeler was running at the red light signal: 1, otherwise: 0 If merging in traffic, otherwise: 0 If passing, otherwise: 0 If two wheeler was crossing the central line: 1, otherwise: 0
	Vehicle type	If motor cycle: 1, bicycle: 0
	Crash location	If head-on collision: 1, otherwise: 0 If rear-ending: 1, otherwise: 0 If broadside collision: 1, otherwise: 0 If sidewipe: 1, otherwise: 0
	TW rollover	If rollover: 1, otherwise: 0
	2nd impact of TW driver	If 2nd impact of driver: 1, otherwise: 0
3rd impact of TW driver	If 3rd impact of driver: 1, otherwise: 0	
TW driver impairment level	If not standing after crash: 1, otherwise: 0	
Injury severity	Injury level	Complaints of pain: 0, visible injury: 1, incapacitating injury: 2, and fatality: 3

운전자 진단 정보를 사고 심각도 변수로 활용하기 위해 경찰청(the Korean National Policy Agency: KNPA)에서 제시한 기준을 활용하였다. 1) 교통 호소, 미발급 또는 응급치료; 2) 육안 부상, 전치 2주 이하로 진단받은 경우; 3) 활동 불가, 전치 3주 이상으로 진단받은 경우; 4) 사망. Table 1은 본 연구에 적용된 변수와 변수의 특성을 정리한 것이다.

4. 사고 심각도 분석

4.1 순서형 프로빗 모형

본 연구는 이륜차 운전자의 사고 심각도를 4단계(교통 호소, 육안 부상, 활동 불가, 사망)로 구분하였으며, 사고 심각도에 대한 영향인자를 도출하기 위해 순서형 프로빗모형을 적용하였다. 순서

형 프로빗모형은 2개 이상의 순위가 있는 종속변수와 설명변수 간 관계 파악에 적합한 방법으로서 모형의 수리적 표현은 다음 Eq. (1)과 같다.

$$y_i^* = x_i'\beta + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N[0,1] \quad (1)$$

Eq. (1)에서 x_i' 는 설명변수 벡터, β 는 추정될 파라메타 벡터, 그리고 ε_i 는 정규분포를 따르는 것으로 가정한 오차항을 의미한다. 또한 y_i^* 는 i 번째 이륜차 운전자의 사고 심각도를 나타내는 잠재적 종속변수를 의미한다. y_i 는 순서형 프로빗모형의 종속변수를 의미하며, Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_i = \begin{cases} 0 & \text{if } -\infty \leq y_i^* \leq \mu_0 \text{ (complaint of pain)} \\ 1 & \text{if } \mu_0 \leq y_i^* \leq \mu_1 \text{ (visible injury)} \\ 2 & \text{if } \mu_1 \leq y_i^* \leq \mu_2 \text{ (incapacitating injury)} \\ 3 & \text{if } \mu_2 \leq y_i^* \leq \infty \text{ (fatality)} \end{cases} \quad (2)$$

Eq. (2)에서는 y_i 의 범위에 따라 고통 호소(complaint of pain): 0, 육안 부상(visible injury): 1, 활동 불가(incapacitating injury): 2, 사망(fatality): 3으로 종속변수를 설정하였다. μ_0, μ_1 , 그리고 μ_2 는 각 설명변수의 추정계수 β 를 취하여 추정 가능한 미지의 값이다. 이를 통해 각 사고가 특정 심각도 수준에 포함될 확률을 계산할 수 있으며, 이러한 잠재변수 y_i^* 가 특정 구간에 포함될 확률을 Eqs. (3)-(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(y_i = 0) = \int_{-\infty}^{-x_i'\beta} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = F(-x_i'\beta) \quad (3)$$

$$P(y_i = 1) = \int_{-\infty}^{\mu_1 - x_i'\beta} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = F(\mu_1 - x_i'\beta) - F(-x_i'\beta) \quad (4)$$

$$P(y_i = 2) = \int_{-\infty}^{\mu_2 - x_i'\beta} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = F(\mu_2 - x_i'\beta) - F(\mu_1 - x_i'\beta) \quad (5)$$

$$P(y_i = 3) = \int_{-\infty}^{\mu_3 - x_i'\beta} f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i = 1 - F(\mu_2 - x_i'\beta) \quad (6)$$

여기서, $f(*)$ 는 표준정규확률밀도, $F(*)$ 는 누적분포함수를 의미한다.

4.2 추정된 모형의 평가

분석 결과, 충돌 직전 택시의 속도, 택시 파손 여부, 이륜차 파손 여부, 사고 후 이륜차 운전자의 보행 여부, 이륜차 운전자의 2, 3차 충격 여부가 이륜차 운전자의 사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 2 참조). 즉, 충돌 직전의 택시 속도가 높을수록, 택시 또는 이륜차의 파손이 발생한 경우, 사고 후 이륜차 운전자의 보행이 불가능할 경우, 그리고 이륜차 운전자의 2, 3차 충격으로 사고가 이어진 경우 이륜차 운전자의 사고 심각도가 높아지는 것으로 나타났다.

4.3 모형의 해석

순서형 프로빗 모형을 적용하여 추정된 변수는 한계효과를 통해 모형 해석이 가능하다. 한계효과는 독립변수의 한 단위 변화가 종속변수(사고 심각도)에 미치는 영향을 나타낸다. 사고 심각도에 대한 순서형 프로빗 모형은 비선형이기 때문에, 추정된 계수는

Table 2. Results of Ordered Probit Model on Injury Severity

Variables	Coefficient	p-value	95% confidence interval	
Crash speed	0.148	0.004	0.005	0.249
Taxi vehicle damage	0.569	0.004	0.185	0.952
TW damage	0.558	0.018	0.097	1.018
TW driver impairment level	1.042	0.000	0.675	1.410
2nd impact of driver	0.394	0.000	-0.038	0.826
3rd impact of driver	0.922	0.074*	0.419	1.425
μ_0	0.417		0.034	0.800
μ_1	2.144		1.678	2.611
μ_2	5.053		4.193	5.913
Number of crashes	248			
McFadden's ρ^2	0.299			
LR chi2	169.30			

한계효과를 나타내지 못한다. 따라서 각 독립변수에 대한 사고 심각도라는 조건부 확률의 편미분을 통해 한계효과를 도출한다. Table 3은 사고 심각도 추정 모형을 바탕으로 각 독립변수에 대한 한계효과를 제시한 것이다.

먼저, 사고 후 이륜차 운전자의 보행이 불가능할 경우 ‘활동 불가’ 및 ‘사망’ 확률이 각각 20.8%, 2.9% 증가하고, ‘고통 호소’ 및 ‘육안 부상’ 확률이 각각 21.6%, 2.0% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 사고 심각도를 크게 경상(고통호소, 육안부상)과 중상(활동 불가, 사망) 2가지로 나누면, 중상 확률을 높이고, 경상 확률을 낮추는 것으로 해석할 수 있다(Chung et al., 2014). 이러한 결과는 이륜차 운전자의 부상 정도가 심각하여, 사고 현장을 신속하게 대피하지 못하는 위험성을 고려할 때 타당한 결과라고 판단된다. 또한 택시-이륜차 간 1차 충돌 이후 이륜차 운전자의 2차 충격이 발생한 경우 활동 불가 및 사망 확률이 각각 7.9%, 1.1% 증가하고, 3차 충격이 발생한 경우에는 각각 18.4%, 2.5% 증가하는 것으로

나타나, 2차 충격보다 3차 충격에 대한 중상 확률이 더 높다는 것을 알 수 있다. 이는 충격 횟수가 많을수록 더 심각한 부상을 입을 것이라는 상식적인 판단과 부합한다. 그리고 택시 파손이 발생했을 경우 활동 불가 및 사망 확률이 각각 11.4%, 1.6% 증가하는 것으로 나타났으며, 마찬가지로 이륜차 파손이 발생했을 경우에도 각각 11.1%, 1.5% 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 차량의 파손이 발생했을 경우 이륜차 운전자에게 전해지는 더 큰 충격이 가해질 수 있기 때문에, 차량의 파손이 사고 심각도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 마지막으로 충돌 직전 택시의 속도는 연속형 변수로서, 한계효과를 해석할 때 그래프를 활용하여 해석하는 것이 용이하다(Chung et al., 2014). Fig. 1은 충돌 속도에 대한 한계 효과를 나타낸 것으로, 이를 통하여 충돌 속도가 증가할수록 활동 불가 및 사망 확률은 증가하고, 고통 호소 및 육안 부상 확률은 감소하는 것을 파악할 수 있다. 이러한 결과는 충돌 속도가 증가할수록 부상 수준이 높아질 것이라는 기존 연구결과와 부합한다(Chung et al., 2014).

Table 3. Marginal Probability Effects of Estimated Model

Variables	Average Marginal Probability Effects				
	Average change	Complaint of pain	Visible injury	Incapacitating injury	Fatality
TW driver impairment level	0.118	-0.216	-0.020	0.208	0.029
3rd impact of driver	0.105	-0.191	-0.018	0.184	0.025
Taxi vehicle damage	0.065	-0.118	-0.011	0.114	0.016
TW damage	0.063	-0.116	-0.011	0.111	0.015
2nd impact of driver	0.045	-0.082	-0.008	0.079	0.011
Crash speed	0.002	-0.003	-0.000	0.003	0.000

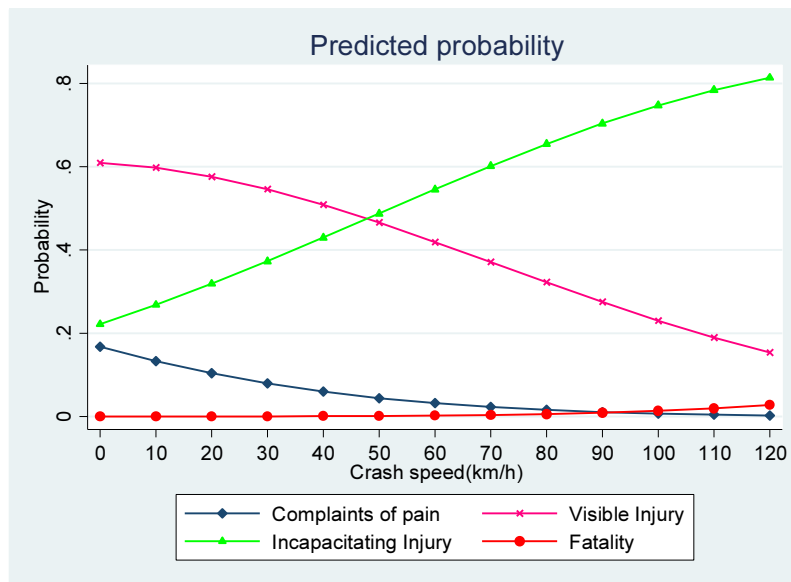


Fig. 1. Predicted Probabilities by Crash Speed

5. 결론

본 연구는 택시 블랙박스 자료 기반 순서형 프로빗모형을 활용하여 이륜차 운전자의 사고 심각도를 분석하였다. 연구를 위해 248건의 블랙박스 영상 자료 및 이에 대한 사고 기록 자료를 활용하였으며, 영상 정보를 통해 택시와 이륜차의 파손여부, 주행 방향, 충돌 속도, 충돌 위치, 사고 후 이륜차 운전자의 보행여부, 그리고 2, 3차 충격 여부 등 기존 경찰조사 자료에서 수집할 수 없었던 새로운 인자를 추가하였다. 분석 결과, 충돌 직전의 택시 속도가 높을수록, 택시 또는 이륜차의 파손이 발생한 경우, 사고 후 이륜차 운전자의 보행이 불가능할 경우, 그리고 2, 3차 충격으로 사고가 이어진 경우 이륜차 운전자의 사고 심각도를 높이는 것으로 나타났다. 그리고 한계효과 분석을 통하여 이상의 변수들이 모두 중상(활동 불가, 사망) 확률을 증가시키고, 경상(고통호소, 육안부상) 확률을 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 사고 후 이륜차 운전자의 보행이 불가능한 경우가 이륜차 운전자의 사고 심각도 영향인자 중 가장 치명적인 것으로 나타났으며, 다음으로 이륜차 운전자의 3차 충격, 택시 파손, 이륜차 파손, 이륜차 운전자의 2차 충격이 발생한 경우, 그리고 충돌 직전 택시의 속도 순으로 나타났다. 이러한 결과는 이륜차 운전자의 사고 심각도 감소 전략 수립을 위한 기반 정보로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 택시 블랙박스 영상 자료를 활용하여 이륜차 운전자의 사고 심각도를 분석하였다. 그러나 분석자가 블랙박스 영상의 전방 상황을 토대로 사고 인자를 수집하였기 때문에, 측방 및 후방에서 발생하는 사고 상황을 파악하기 어렵다. 또한 기존 경찰조사 자료에서 수집할 수 없었던 새로운 인자를 추가한 연구를 수행하였으나, 택시 내부의 인적특성은 파악할 수 없다는 한계가 존재한다. 따라서 향후 연구에서는 차량 내부도 촬영가능한 장비를 활용하여 차량 내부 운전자 개인 행태를 고려한 연구가 진행될 수 있을 것이다. 그리고 이러한 블랙박스 기반 자료를 활용하여, 택시-승용차, 택시-화물차 등의 사고 심각도 분석도 이루어 질 수 있을 것이다. 또한, 차량 블랙박스의 장점은 가해자와 피해자에 대한 정확한 구분이 가능하기 때문에, 가해자와 피해자 입장에서의 사고 심각도 분석도 흥미로운 결과를 제시할 수 있을 것이다. 마지막으로 구조방정식, 다항로지트모형 등의 모형 추정 결과와 본 연구의 결과를 비교하는 연구가 수행될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 정부(국도교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.18TLRP-B148386-01, 사업용 차량용 이용한 도로교통 정보 수집 및 활용기술 개발).

References

- Choi, J. W. and Kum, K. J. (2014). "Analysis of factors influencing severity of motorcycle accidents using ordered probit model." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 143-154 (in Korean).
- 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. and Chang, I. (2015). "How accurate is accident data in road safety research? An application of vehicle black box data regarding pedestrian-to-taxi accidents in Korea." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 84, pp. 1-8.
- 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.
- Chung, Y. and Won, M. (2018). "A novel framework for sustainable traffic safety programs using the public as sensors of hazardous road information." *Sustainability*, Vol. 10, No. 11, p. 3892.
- Goldstein, J. P. (1986). "The effect of motorcycle helmet use on the probability of fatality and the severity of head and neck injuries: A latent variable framework." *Evaluation Review*, Vol. 10, No. 3, pp. 355-375.
- Klop, J. and Khattak, A. (1999). "Factors influencing bicycle crash severity on two-lane, undivided roadways in north carolina." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1674, pp. 78-85.
- Na, H. and Park, B. (2012). "Analysis on the accident severity of motorcycle using ordered logit model." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 47, No. 4, pp. 233-240 (in Korean).
- Oh, J., Kim, E. and Kim, D. (2007). "A study on the bicycle accident injury severity at urban intersections." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 27, No. 4D, pp. 389-395 (in Korean).
- Quddus, M. A., Noland, R. B. and Chin, H. C. (2002). "An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models." *Journal of Safety Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 445-462.
- Savolainen, P. and Mannering, F. (2007). "Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 39, No. 5, pp. 955-963.
- Shankar, V. and Mannering, F. (1996). "An exploratory multinomial logit analysis of single-vehicle motorcycle accident severity." *Journal of Safety Research*, Vol. 27, No. 3, pp. 183-194.
- Shin, H.-J., Hong, J.-Y. and Lee, S.-B. (2012). "A study on the factors affecting the severity of bicycle-related accidents." *Journal of Transport Research*, Vol. 19, No. 1, pp. 67-78 (in Korean).
- Weiss, A. A. (1992). "The effects of helmet use on the severity of head injuries in motorcycle accidents." *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 87, No. 417, pp. 48-56.
- Yan, X., Ma, M., Huang, H., Abdel-Aty, M. and Wu, C. (2011). "Motor vehicle-bicycle crashes in beijing: Irregular maneuvers, crash patterns, and injury severity." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, No. 5, pp. 1751-1758.