

# 다항로짓모형을 이용한 고속도로 다중추돌사고 특성 분석

## An Analysis of Multiple-Vehicle Accidents on Freeways Using Multinomial Logit Model

전 현 명\* · 김 진 희\*\*

\* 주저자 : 한국건설기술연구원 건설시험인증본부 박사후연구원

\*\* 교신저자 : 연세대학교 도시공학과 조교수

Hyeonmyeong Jeon\* · Jinhee Kim\*\*

\* Construction Test & Certification Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\* Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University

† Corresponding author : Jinhee Kim, kim.jinhee@yonsei.ac.kr

Vol.19 No.5(2020)

October, 2020

pp.1~14

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.5.1>

2020.19.5.1

Received 1 July 2020

Revised 20 July 2020

Accepted 26 August 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

본 연구는 고속도로 교통사고의 사고차량대수에 따른 요인의 영향을 분석하기 위해 다항로짓모형을 이용하여 연구를 수행하였다. 기존의 교통사고 심각도 연구에서는 사고차량대수에 대한 분석이 미흡하였다. 그러나 다중추돌사고는 인명피해 사고로 이어질 가능성이 높고, 사고 지속시간과 사고처리를 위한 사회적 비용이 크기 때문에, 다중추돌사고에 영향을 미치는 요인을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 사고차량대수를 사고의 요인이 아닌 사고의 결과로 해석하고, 이에 미치는 사고요인별 영향을 분석하였다. 분석결과, 야간사고와 고속도로 본선, 터널, 교량에서 발생한 사고, 운전자과실, 도로장애물, 노면문제로 인한 사고, 내리막 경사, 중차량 연관 사고가 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높은 것으로 분석되었다.

핵심어 : 교통안전, 고속도로 교통사고, 다중추돌사고, 다항로짓모형, 사고 심각도

### ABSTRACT

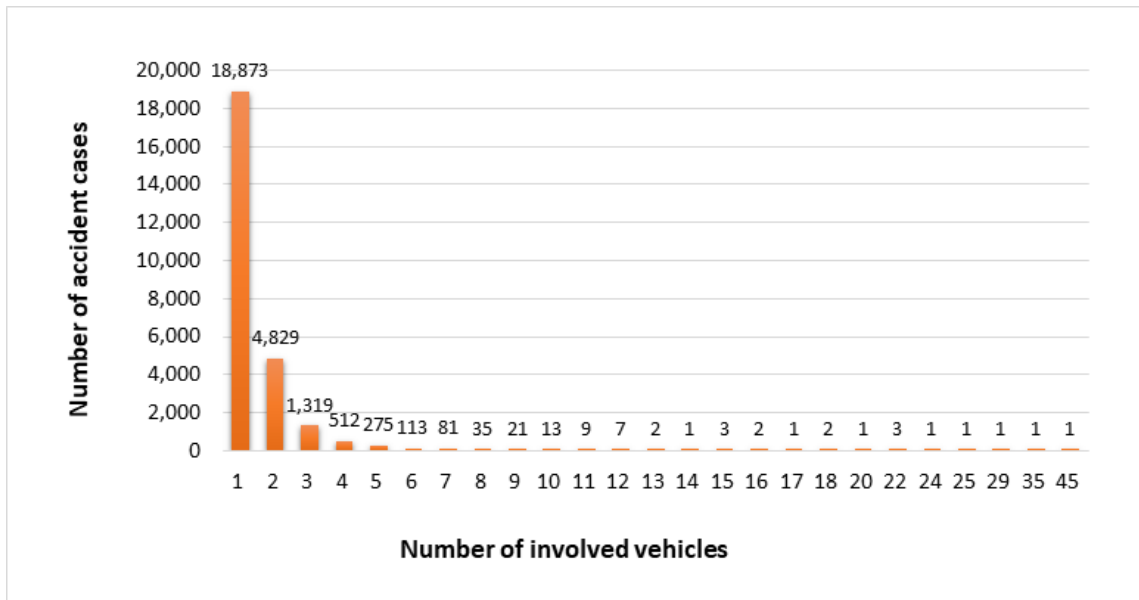
The aim of this study is to analyze effects of factors on the number of vehicles involved in traffic accidents on freeway sections. In previous studies about traffic accident severity, the analysis of accidents involving multiple vehicles was insufficient. However, multiple-vehicle accidents are likely to cause casualties and are the main reasons increasing accident duration and social costs. In this study, the number of vehicles involved in an accident was interpreted as the result of the accident, not as the cause of the accident, and the impacts of each accident factor were analyzed using a multinomial logit model. The results indicate that multiple-vehicle accidents are mainly related to following factors: nighttime, driver's faults, obstacles on the road, a downhill slope, heavy vehicles, and freeway mainline sections including tunnels and bridges.

Key words : Road traffic safety, Freeway accidents, Multiple-vehicle accidents, Multinomial logit model, Accident severity

## 1. 서론 및 선행연구 고찰

국내에서 2016년부터 2019년까지 연간 1만 2천 건 이상의 고속도로 교통사고가 발생했다(Korea Road Traffic Authority, 2020). 교통사고 통계자료는 일반적으로 사고의 빈도수와 부상 및 사망 등 인명피해 수를 중심으로 데이터를 제공하고 있다. 교통안전분야 연구에서도 교통사고 심각도 연구는 주로 차량 탑승자의 부상과 사망 여부를 기준으로 분석한 사례가 많았다(Shankar et al., 1995; Golob and Recker, 2003; Eluru et al., 2012). 그러나 교통사고 심각도는 탑승자의 부상/사망 여부뿐만 아니라 사고차량대수(교통사고에 연관된 차량 수), 사고처리비용(인적, 물적, 사회적비용), 사고처리시간 등 다양한 관점에서 해석할 수 있다. 일부 선행 연구에서는 사고차량대수가 사고처리비용과 시간에 미치는 영향에 대한 결과를 제시하였다. 사고차량대수가 많을수록 사고처리시간이 증가하고(Jones et al., 1991; Chung, 2010), 교통사고로 인한 비용이 증가한다는 연구결과가 있었다(Bardal and Jørgensen, 2017).

2015년 인천국제공항고속도로 영종대교에서는 106중 추돌사고가 발생하여 2명이 사망하고, 63명이 부상을 당한 사고가 있었다(Korea JoongAng Daily, 2015). 또한 2016년에는 영동고속도로에서 대형버스가 차량 5대를 연쇄추돌하여 4명이 사망하고, 37명이 부상을 당한 사고가 발생했다(Yonhap News Agency, 2016). 2016~2018년 동안 한국도로공사가 운영하는 고속도로에서 발생한 교통사고 데이터를 검토한 결과, 차량 5대 이상이 연관된 사고는 574건이었고, 이 중에서도 10대 이상이 연관된 교통사고는 49건이 발생했으며, 최대 45대가 연관된 대규모 사고도 있었다(Fig. 1). 이처럼 다수의 차량이 연관된 교통사고는 그 규모가 클 뿐만 아니라 부상/사망사고 등 인명피해로도 이어질 가능성이 높아 사회적 이슈가 되고 있다. Chang and Manning(1999)의 연구에서도 사고차량대수가 많을수록 부상/사망사고로 이어질 가능성이 증가한다는 결과가 있었다. 따라서 다중추돌사고를 예방하기 위해서는 사고의 요인을 파악하고, 요인별 영향을 분석하는 연구가 필요하다.



<Fig. 1> The number of accident cases in 2016-2018

지금까지 교통사고관련 연구에서 사고차량대수에 관한 연구는 미흡한 실정이며, 일부 연구에서는 사고차량대수를 사고 심각도의 설명변수로만 해석하였다. 그러나 인명피해 사고 심각도나 사고처리비용에 대한 분석으로는 다중추돌사고의 특성을 직접적으로 분석하기에 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 사고차량대수를 사고로 인한 결과로 해석하고, 사고차량대수에 미치는 요인의 영향을 분석하였다. 우리나라에서는 다수의 차량이 연관된 사고를 다중추돌, 연쇄추돌, 다중충돌 등 사고의 유형에 따라 그 의미를 구분하여, 용어를 달리 사용하고 있다(Park et al., 2010; Han, 2012; Lim et al., 2019). 추돌사고는 주행 중인 차량과 그 차량의 뒤에서 주행 중이던 차량이 부딪히는 사고를 의미하고, 충돌사고는 차량의 진행방향이 다른 경우나 측면에서 부딪힌 사고를 의미한다. 고속도로 사고의 경우 같은 방향으로 진행하는 교통류에서 사고가 발생하기 때문에 대부분 추돌사고에 해당한다. 따라서 본 논문에서는 사고의 유형을 추돌사고와 충돌사고를 구분하지 않고, 이를 포괄하는 용어로써 ‘다중추돌사고’라는 표현을 사용하였다.

## II. 데이터 및 분석방법

### 1. 교통사고 데이터

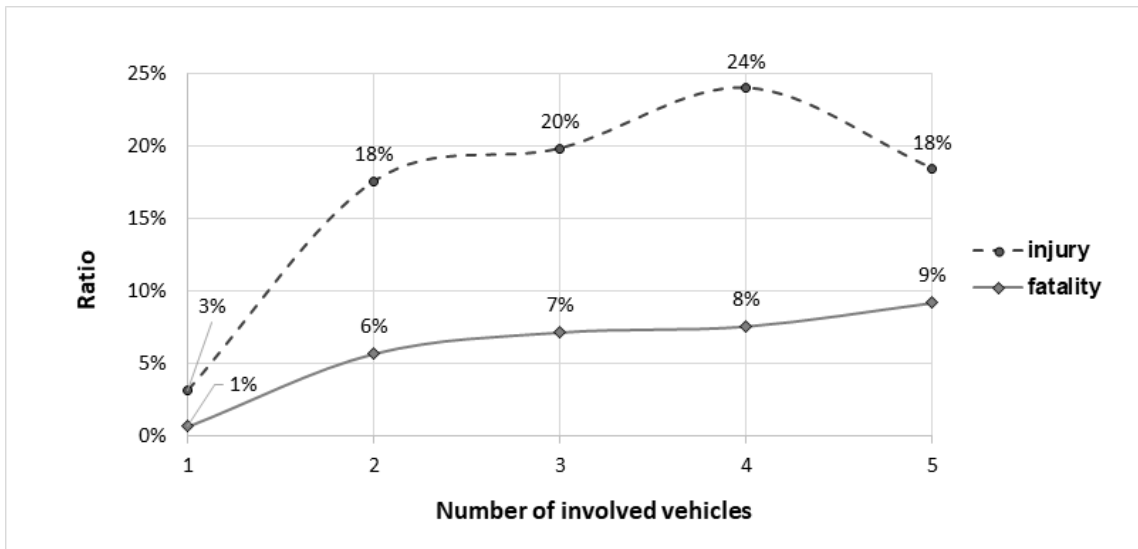
교통사고 분석을 위해, 전국 고속도로 사고 중 한국도로공사가 운영하는 고속도로에서 2016~2018년 동안 발생한 교통사고 데이터를 활용하였다. 선행연구에서 제시한 교통사고 인명피해 심각도와 사고차량대수와의 관계를 확인하기 위해 사고 발생비율을 비교하였다. 사고차량대수를 1대, 2대, 3대, 4대, 5대 이상으로 구분하고, 각 구분에서 부상사고와 사망사고가 차지하는 비율을 나타내었다(Fig. 2). 단독차량사고보다 다중추돌사고에서 부상/사망사고의 발생비율이 높았다. 단독차량사고에서는 부상사고와 사망사고 발생비율이 각각 3%, 1%로 나타난 반면, 5대 이상이 연관된 다중추돌사고에서는 부상사고가 18%, 사망사고가 9%를 차지하는 것으로 나타났다.

교통사고에 미치는 설명변수를 설정하기 위해 선행연구에서 제시하는 사고요인을 검토하였다. Seo et al.(2012)은 고속도로 인명피해 사고에 미치는 요인에 대해 분석하였다. 분석방법으로 로짓모형을 이용하여 사고발생요인, 도로의 기하구조요인, 환경요인, 운전자요인의 영향을 분석하였다. 사고발생요인으로는 사고의 직접적인 원인 중 운전자과실과 과속사고의 영향을 분석하고, 도로기하구조 요인으로는 평면선형과 종단선형, 환경요인으로는 기상상태와 주간/야간 구분, 운전자요인으로는 운전자 성별과 연령 그리고 안전벨트 착용여부의 영향을 분석하였다. Lee et al.(2014)은 야간의 시인성 저하가 고속도로 교통사고에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 기상조건과 교통량조건에 따른 주간/야간 사고의 특성에 대해 음이향분포를 이용하여 분석한 결과, 기상조건이 맑은 날의 경우 야간의 시인성 저하는 교통사고 발생에 양(+)의 영향을 미치지만, 강우 시에는 주간과 야간의 차이가 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 서비스수준(level of service, LOS) A 상태에서 주간과 야간의 차이가 교통사고 발생에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. Park et al.(2019)은 고속도로 교통사고의 심각도를 부상없음, 부상, 사망 3가지로 구분하고, 도로기하구조가 기상상태에 따라 심각도에 미치는 영향을 분석하였다. 강우와 강설 시 각각의 상황에서 도로의 평면선형과 종단선형, 도로시설 등이 사고 심각도에 미치는 영향을 분석한 결과, 강우 시에는 틀게이트와 램프구간, 강설 시 적설량 1cm 미만의 경우에는 내리막 경사구간, 적설량 5cm 이상의 경우에는 곡선구간에서 심각도가 증가하는 것으로 나타났다.

선행연구에서는 교통사고에 미치는 요인으로, 사고발생의 원인, 도로의 기하구조요인, 날씨와 주간/야간

등의 환경요인, 운전자요인에 대한 영향을 중심으로 교통사고를 분석하였다. 본 논문에서는 선행연구에서 제시한 요인들을 고려하여, 사고차량대수에 미치는 변수로 주간/야간 시간대와 사고발생지점, 사고의 주요원인, 날씨, 도로포장, 도로의 평면/종단선형, 사고의 원인차량 운전자의 성별, 그리고 중차량 연관유무에 대한 변수를 포함하였다. 분석에 포함된 설명변수는 모두 더미변수로서, 변수에 해당하면 1, 그렇지 않으면 0 값을 부여하였다.

사고차량대수에 따른 요인별 사고건수의 기초통계 자료를 <Table 1>에 제시하였다. 사고요인의 특성을 구분하고, 같은 특성 안에서 세부 유형(요인)별 사고건수의 비율을 나타내었다. 5대 이상의 차량이 연관된 사고에서 그 이하의 차량대수가 연관된 사고보다 야간사고의 비율이 높은 것을 알 수 있다. 또한 사고발생지점에 따른 비율에서는 고속도로 본선에서 발생한 사고의 비율이 전반적으로 높았고, 단독차량사고는 톨게이트와 램프에서 발생한 사고의 비율이 다중추돌사고의 비율보다 상대적으로 높았으며, 3대 이상이 연관된 사고는 터널에서 발생한 사고의 비율이 상대적으로 높게 나타났다. 톨게이트의 경우 차로가 서로 독립되어 있고, 차로수가 많은 본선과 다르게 램프구간은 1~2차로로 제한되어 있기 때문에 단독차량사고와 다중추돌사고에서의 사고 발생비율이 다르게 나타난 것으로 추론할 수 있다. 또한, 단독차량사고와 다중추돌사고는 사고원인별 발생비율에서도 차이가 있었다. 단독차량사고에 비해 다중추돌사고의 경우 과속사고의 비율이 낮고, 운전자과실로 인한 사고와 도로장애물에 의한 사고의 비율이 높은 것으로 나타났다. 여기서, 운전자과실은 전방주시태만, 안전거리 미확보 등 운전자의 운전행태에 의한 요인을 포함한다. 그리고 도로기하구조에 따른 사고 발생비율에서는 5대 이상이 연관된 사고에서 내리막 경사 사고의 비율이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이러한 기초통계 분석결과를 토대로 다음 절에서 다항로지모형 분석결과를 제시하고 요인별 영향을 비교하였다.



<Fig. 2> Accident injury severity ratio

<Table 1> Summary statistics of selected variables for traffic accidents in 2016–2018

Characteristics	Type	The number of involved vehicles					Total
		1	2	3	4	≥5	
Number of accidents		18,773 (72.3%)	4,829 (18.5%)	1,319 (5.0%)	519 (2.0%)	574 (2.2%)	26,107 (100%)
Time of day							
	Day	67.5%	60.3%	59.7%	63.3%	56.6%	65.4%
	Night	32.5%	39.7%	40.3%	36.7%	43.4%	34.6%
Facility types							
	Freeway mainline	58.0%	83.2%	83.8%	81.8%	82.9%	65.0%
	TG (Tollgate; Hi-pass or TCS)	15.6%	2.9%	1.7%	1.8%	0.7%	11.9%
	Ramp	19.2%	5.3%	2.5%	2.9%	2.1%	15.1%
	Tunnel	3.5%	6.1%	9.9%	12.3%	13.1%	4.7%
	Bridge	0.6%	0.6%	0.7%	0.4%	0.7%	0.6%
	Others or not reported	3.1%	1.9%	1.4%	0.8%	0.5%	2.7%
Major causes of the accident							
	Speeding	29.6%	10.8%	8.0%	6.8%	5.9%	24.0%
	Drowsiness	10.7%	19.3%	8.7%	7.0%	7.5%	12.1%
	Driver's faults	29.6%	52.5%	55.9%	55.7%	47.2%	36.0%
	Load problems	1.3%	0.6%	1.1%	0.4%	1.9%	1.2%
	Obstacles on road	9.5%	8.1%	16.2%	18.0%	21.1%	10.0%
	Road defects	3.5%	2.1%	4.0%	4.9%	8.4%	3.4%
	Vehicle defects	10.1%	2.5%	2.9%	3.7%	3.7%	8.1%
	Others or not reported	5.7%	4.1%	3.2%	3.5%	4.3%	5.2%
Weather							
	Clear	60.3%	71.9%	74.1%	75.2%	70.9%	63.7%
	Rain	24.0%	13.0%	10.4%	8.0%	11.5%	20.7%
	Snow	3.6%	2.6%	2.5%	3.5%	4.0%	3.3%
	Fog	0.3%	0.4%	0.7%	0.8%	1.1%	0.4%
	Others or not reported	11.8%	12.1%	12.3%	12.5%	12.5%	11.9%
Road pavements							
	Concrete	53.9%	54.6%	54.7%	55.5%	58.3%	54.2%
	Asphalt	39.5%	39.3%	39.1%	36.1%	36.1%	39.3%
	Not reported	6.6%	6.1%	6.2%	8.4%	5.6%	6.5%
Curve							
	No curve	63.9%	68.0%	69.4%	70.1%	70.6%	65.2%
	Curve	26.6%	23.5%	21.2%	20.7%	21.2%	25.5%
	Not reported	9.5%	8.5%	9.4%	9.2%	8.2%	9.3%
Slope							
	Flat	52.4%	49.1%	50.2%	50.2%	51.1%	51.6%
	Uphill	13.7%	17.4%	14.9%	14.6%	10.6%	14.4%
	Downhill	16.7%	17.8%	20.7%	18.2%	23.7%	17.3%
	Not reported	17.2%	15.7%	14.2%	17.0%	14.6%	16.7%
Driver gender							
	Male	84.3%	85.2%	84.4%	86.9%	84.0%	84.5%
	Female	13.0%	11.1%	10.2%	9.6%	8.0%	12.3%
	Not reported	2.7%	3.7%	5.4%	3.5%	8.0%	3.2%
Involvement of heavy vehicles							
	Truck involvement	30.3%	35.0%	39.4%	38.5%	36.1%	31.9%
	Bus involvement	0.4%	0.5%	1.1%	1.0%	0.7%	0.4%

## 2. 분석방법

사고차량대수에 따른 요인별 영향을 분석하기 위해 다항로짓모형을 이용하였으며, 분석도구로 데이터분석 소프트웨어인 R을 활용하였다. 다항로짓모형은 이산선택분석(discrete choice analysis)에서 주로 사용하는 방법으로써, 교통분야에서는 수단선택모형(McFadden, 1974; Ben-Akiva and Lerman, 1985; Kim and Lee, 2007) 뿐만 아니라 교통사고(Tay et al., 2011; Geedipally et al., 2011)와 같이 종속변수가 명목형 이산변수 일 때 이에 미치는 독립변수의 영향을 분석하기 위해 사용된다. 이 때, 종속변수가 2개이면 이항로짓, 3개 이상이면 다항로짓모형의 형태가 된다. 사고 심각도를 분석할 때, 종속변수를 순서형 변수로 해석하여 순서형 로짓모형을 이용하여 분석할 수 있다(Na and Park, 2012). 그러나 이 경우, 독립변수의 영향이 하나의 계수 값으로 추정되기 때문에, 종속변수가 한 단위 변할 때, 독립변수가 동일한 영향을 준다는 평행성 가정을 만족해야 한다. 다항로짓모형의 경우 종속변수별 독립변수의 계수가 각각 추정되기 때문에, 추정된 계수의 통계적 유의성을 토대로 요인별 영향을 독립적으로 분석할 수 있다는 장점이 있다.

다항로짓모형은 식(1-3)과 같은 기본 형태를 따른다(McFadden, 1974; Ben-Akiva and Lerman, 1985). 식(1)의  $V_{ni}$  은 결정적 효용(deterministic utility),  $\varepsilon_{ni}$  은 확률적 효용(random utility)을 나타내며, 확률적 효용은 관측할 수 없는 요소를 의미한다. 로짓모형은 확률적 효용을 와이블(Weibull) 분포로 가정하며, 선택확률은 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni}, \quad V_{ni} = \alpha_i + \beta_{1i}' x_{1ni} + \beta_{2i}' x_{2ni} + \dots \dots \dots (1)$$

$$P_{ni} = P(U_{ni} \geq U_{nj}) = P(V_{ni} - V_{nj} \geq \varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni}) \dots \dots \dots (2)$$

$$P_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}} \dots \dots \dots (3)$$

여기서,

$U_{ni}$ : 효용함수

$V_{ni}$ : 측정 가능한 효용

$P_{ni}$ : 대안선택확률

$i$ : 종속변수, 선택대안

$n$ : 개별 사고

$j$ : 종속변수 집합

$x$ : 독립변수.

다항로짓모형은 변수의 계수추정 결과를 비교하여 종속변수에 미치는 독립변수의 영향을 분석한다. 종속변수 선택확률에 영향을 미치는 것은 효용의 절댓값이 아닌 효용의 차이(식(1-2))이기 때문에, 모형추정 관점에서는 선택확률의 비교를 위해 계수의 차이를 분석한다. 이 때, 종속변수 간 독립변수 영향을 분석하기 위해서는 하나의 종속변수가 참조변수로 작용하고, 추정된 계수는 참조변수에 대한 상대적인 값을 의미한다.

효용함수의 계수를 추정하기 위해서, 최우도추정법(maximum likelihood estimation)을 이용하여 로그우도함수가 최대가 되는 계수를 추정한다(식(4-5)). 식(5)은 선택확률의 log-likelihood function을 나타내고, 이 값을 이용해 식(6)과 같이 모형의 적합도(goodness of fit)를 나타낼 수 있다. 식(6)의  $\rho^2$ 은 0~1의 값을 가지며 1에 가까울수록 모형의 설명력이 높다.

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N (P_{ni})^{y_{ni}} \dots\dots\dots (4)$$

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^N [y_{ni} \ln P_{ni}] \dots\dots\dots (5)$$

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\hat{\beta})}{LL(c)} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  
 $y_{ni}$ : Indicator function, 실제  $n$ 이  $i$ 을 선택하면 1, 아니면 0  
 $\rho^2$ : Mcfadden Pseudo- $R^2$ , Log-likelihood ratio  
 $LL(\hat{\beta})$ : Log-likelihood at convergence  
 $LL(c)$ : Log-likelihood at constant.

사고차량대수에 미치는 독립변수의 영향력을 한계효과를 통해 확인하였다. 다항로짓모형을 통해 추정된 독립변수의 계수 값을 활용하여 한계효과를 분석할 수 있으며, 이는 식(7)과 같다(Shaheed and Gkritza, 2014). 이 식은 직접한계효과를 나타내며,  $x_{nik}$ 가 한 단위 변화할 때, 사고  $n$ 이 결과  $i$ 로 나타날 선택확률의 변화를 나타낸다. 이 때,  $\beta_{ik}$ 은 종속변수  $i$ , 독립변수  $k$ 의 계수를 나타낸다.

$$\frac{\partial P_{ni}}{\partial x_{nik}} = \beta_{ik} P_{ni} (1 - P_{ni}) \dots\dots\dots (7)$$

### III. 분석결과

사고차량대수에 대한 다항로짓모형 분석결과를 <Table 2>에 제시하였다. 분석결과는 단독차량사고에 대비하여 다중추돌사고에 미치는 독립변수별 영향을 제시한다. 독립변수의 계수추정 결과가 (+) 값일 때, 변수에 해당하는 사고(변수 값이 1)일 경우 단독차량사고보다 다중추돌사고로 이어질 확률이 높다는 것을 의미한다. 뿐만 아니라, 모형 내 계수추정 값을 비교하여 요인별 영향을 비교할 수 있다. 계수추정 결과의 절댓값이 클수록 사고 발생확률에 미치는 변수의 영향이 크다고 판단한다. 또한, 계수추정 결과만으로 독립변수의 영향을 해석하는데 한계가 있기 때문에, 독립변수가 각 종속변수에 미치는 한계효과를 함께 분석할 수 있다. 사고차량대수에 미치는 변수의 한계효과를 <Table 3>에 제시하였다.

전반적인 분석결과, 주간/야간 영향과 사고발생지점, 사고주요원인, 중차량 연관유무의 계수추정 결과는 통계적 유의성이 높게 나타났다. 특히, 사고발생지점에 따른 영향이 다른 변수에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이것은 단독차량사고와 다중추돌사고 발생에 있어 사고발생지점의 유형이 주요한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 그러나 날씨, 도로포장, 도로선형, 운전자 성별에 대한 영향은 일부 변수를 제외하고 전반적으로 통계적으로 유의하지 않은 결과가 도출되었다. 한계효과 분석결과에서도 사고발생지점과 사고주요원인, 중차량 연관 변수의 영향이 날씨변수의 영향에 비해 약 2~5배 높은 것으로 나타났다. 도로포장, 도로선형, 운전자 성별은 날씨변수보다 그 영향력이 더 낮은 것을 알 수 있다.

개별변수의 추정결과, 주간시간에 발생한 사고는 야간보다 다중추돌사고로 이어질 확률이 낮게 나타났다. 이것은 반대로 야간사고의 경우 다중추돌사고로 이어질 확률이 높다는 것을 의미한다. 사고발생지점별 영향에서는 본선과 터널, 교량에서 발생한 사고는 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높았고, 사고차량대수가 많을수록 그 영향이 더 크게 나타났다. 반면, 톨게이트와 램프에서 발생한 사고는 다중추돌사고보다는 단독차량

사고로 이어질 가능성이 높았다. 이 결과는 기초통계에서 나타나듯이, 본선구간과 톨게이트/램프구간의 차로 특성 차이에서 비롯된 것으로 판단할 수 있다. 한계효과 분석결과, 터널과 교량사고의 경우 다른 지점에서 발생한 사고보다 다중추돌사고로 이어질 가능성을 높이는 것으로 나타났다. 사고의 주요원인별 영향은 과속 사고와 차량결함으로 인한 사고의 경우 다중추돌사고보다 단독차량사고로 이어질 가능성이 높았으며, 운전자과실, 도로의 장애물, 노면문제(포트홀 등)로 인한 사고는 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높았다. 과속사고의 경우, 교통량이 적을 때 과속운전이 가능하기 때문에 교통량의 영향으로 다중추돌사고가 적게 발생하는 것으로 추론할 수 있다. 또한 차량결함의 경우, 한 차량에서 차량문제가 발생해 갓길에 정차하는 경우가 많아 단독차량사고로 이어질 확률이 높은 것으로 판단된다. 반면, 도로의 장애물이나 노면문제로 인한 사고는 운전자의 대비가 불가능하고, 차량제어가 어려운 상황이 발생하기 때문에 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높은 것으로 판단된다.

날씨의 영향으로는 강우 시에 2~4대의 다중추돌사고보다 단독차량사고로 이어질 가능성이 높았고, 강설 시에 2대의 차량이 연관된 사고보다 단독차량사고로 이어질 가능성이 높았다. 강우/강설 시에는 운전자들이 상대적으로 안전운전을 하는 경향이 높아 다중추돌사고로 이어질 가능성이 낮은 것으로 판단된다. 그리고 한계효과 분석결과에서 안개 변수가 다른 날씨변수보다 다중추돌사고로 이어질 확률을 높이는 것으로 나타났다. 도로선형의 영향으로는 곡선구간의 경우 단독차량사고보다 2~3대의 다중추돌사고 발생확률이 낮은 반면, 오르막/내리막 경사 구간에서는 단독차량사고보다 다중추돌사고 발생확률이 높게 나타났다. 이 결과를 통해, 도로의 평면선형보다 중단선형이 사고차량대수 측면에서 사고의 위험성을 더 높이는 요인임을 알 수 있다. 마지막으로 중차량 연관유무에 대한 분석결과에서는 화물차량과 버스가 연관된 사고일 때, 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높았다.

탑승자 부상심각도와 사고차량대수에 미치는 요인별 영향의 차이를 비교하기 위해 같은 방법으로 인명피해 심각도에 대해 분석하였다(Table 4). 분석결과, 주간/야간 영향과 사고발생지점, 사고원인 중 운전자과실, 날씨, 내리막 경사, 중차량 연관유무 등 다중추돌사고에 (+)요인으로 작용한 변수는 부상/사망 심각도를 증가시키는 것으로 분석되었다. 그러나 일부 모형추정 결과에서 심각도를 증가(감소)시키는 요인의 영향이 사고차량대수 모형과 부상심각도 모형에서 다르게 분석되는 차이를 보였다. 과속사고의 경우, 다중추돌사고로 이어질 가능성은 낮았으나 부상사고의 위험을 높이는 요인이었다. 또한 줄음운전의 경우, 부상심각도 모형에서는 줄음운전이 부상사고와 사망사고의 가능성을 높이는 요인으로 작용하였는데, 사고차량대수에 대한 영향은 2대 차량 사고의 가능성을 높이긴 했으나 그보다 더 많은 차량이 연관된 사고에 대한 영향은 유의하지 않았다. 이러한 결과는 과속운전과 줄음운전이 사고차량대수보다 부상심각도 측면에서 더 심각한 사고로 이어질 가능성이 높다는 것을 의미한다. 도로의 장애물과 노면문제로 인한 사고는 다중추돌사고로 이어질 가능성은 높았지만, 부상/사망사고로 이어질 가능성은 낮았다.



<Table 2> Multinomial logit model results for the number of involved vehicles

Variables	The number of involved vehicles							
	2		3		4		≥5	
	Estimate	Pr(> t )	Estimate	Pr(> t )	Estimate	Pr(> t )	Estimate	Pr(> t )
Constant	-2.660	0.000**	-4.402	0.000**	-5.988	0.000**	-5.681	0.000**
Time of Day								
Day	-0.152	0.000**	-0.291	0.000**	-0.150	0.121	-0.433	0.000**
Facility types								
Freeway mainline	1.225	0.000**	1.479	0.000**	2.028	0.000**	2.319	0.000**
TG	-1.579	0.000**	-2.052	0.000**	-1.440	0.017**	-1.935	0.012**
Ramp	-0.382	0.005**	-0.806	0.007**	-0.020	0.971	-0.007	0.991
Tunnel	1.280	0.000**	2.121	0.000**	2.863	0.000**	3.318	0.000**
Bridge	1.108	0.000**	1.329	0.002**	1.353	0.124	2.041	0.009**
Major causes of the accident								
Speeding	-0.437	0.000**	-0.325	0.096	-0.563	0.065	-1.115	0.000**
Drowsiness	0.751	0.000**	0.063	0.739	-0.254	0.389	-0.354	0.171
Driver's faults	1.145	0.000**	1.438	0.000**	1.313	0.000**	0.999	0.000**
Load problems	-0.091	0.689	0.674	0.038*	-0.518	0.494	1.000	0.010**
Obstacles on road	-0.091	0.353	0.881	0.000**	0.845	0.001**	0.888	0.000**
Road defects	-0.142	0.294	0.931	0.000**	0.997	0.002**	1.384	0.000**
Vehicle defects	-1.407	0.000**	-1.143	0.000**	-1.010	0.003**	-1.139	0.000**
Weather								
Clear	0.082	0.136	0.083	0.367	0.069	0.623	0.031	0.814
Rain	-0.245	0.000**	-0.432	0.000**	-0.693	0.001**	-0.171	0.353
Snow	-0.303	0.009**	-0.390	0.058	-0.016	0.954	0.249	0.330
Fog	-0.138	0.642	0.459	0.244	0.663	0.229	0.967	0.040*
Road pavements								
Asphalt	-0.019	0.604	0.047	0.456	-0.038	0.701	-0.012	0.895
Curve								
Curve	-0.116	0.009**	-0.226	0.004**	-0.181	0.135	-0.181	0.112
Slope								
Uphill	0.155	0.002**	0.075	0.399	0.016	0.910	-0.270	0.065
Downhill	-0.004	0.939	0.224	0.005**	0.065	0.612	0.350	0.002**
Driver gender								
Male	0.077	0.128	-0.101	0.236	0.146	0.296	-0.117	0.343
Involvement of heavy vehicles								
Truck involvement	0.474	0.000**	0.917	0.000**	0.857	0.000**	0.857	0.000**
Bus involvement	0.862	0.001**	1.772	0.000**	1.600	0.001**	1.411	0.010**
$LL(\hat{c})$					-22,415			
$LL(\hat{\beta})$					-19,156			
$\rho^2$					0.1454			

Note: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.025$

<Table 3> Estimated marginal effects

Variables	The number of involved vehicles			
	2	3	4	≥5
Time of day				
Day	-0.019	-0.012	-0.003	-0.008
Facility types				
Freeway Mainline	0.201	0.087	0.048	0.062
TG	-0.067	-0.014	-0.004	-0.002
Ramp	-0.022	-0.007	0.000	0.000
Tunnel	0.219	0.194	0.137	0.186
Bridge	0.164	0.072	0.018	0.052
Major causes of the accident				
Speeding	-0.032	-0.005	-0.003	-0.006
Drowsiness	0.145	0.002	-0.003	-0.005
Driver's faults	0.204	0.099	0.038	0.027
Load problems	-0.007	0.030	-0.003	0.033
Obstacles on road	-0.011	0.065	0.028	0.039
Road defects	-0.014	0.051	0.027	0.069
Vehicle defects	-0.074	-0.020	-0.009	-0.011
Weather				
Clear	0.012	0.004	0.002	0.001
Rain	-0.023	-0.010	-0.005	-0.002
Snow	-0.035	-0.014	0.000	0.006
Fog	-0.019	0.036	0.026	0.054
Road pavements				
Asphalt	-0.003	0.002	-0.001	0.000
Curve				
Curve	-0.014	-0.009	-0.003	-0.003
Slope				
Uphill	0.024	0.004	0.000	-0.004
Downhill	-0.001	0.012	0.001	0.010
Driver gender				
Male	0.010	-0.005	0.003	-0.002
Involvement of heavy vehicles				
Truck involvement	0.065	0.050	0.019	0.020
Bus involvement	0.131	0.170	0.064	0.045

<Table 4> Estimation results of occupant injury severity model

Variables	Occupant injury severity			
	Injury		Fatality	
	Estimate	Pr(> t )	Estimate	Pr(> t )
Constant	-3.494	0.000**	-5.102	0.000**
Time of Day				
Day	-0.216	0.000**	-0.790	0.000**
Location				
Freeway Mainline	0.589	0.000**	1.070	0.000**
TG	-1.705	0.000**	-2.176	0.000**
Ramp	-0.680	0.000**	-0.293	0.416
Tunnel	0.532	0.003**	0.830	0.021**
Bridge	0.860	0.006**	1.098	0.069
Major causes of the accident				
Speeding	0.528	0.000**	-0.271	0.275
Drowsiness	1.030	0.000**	1.075	0.000**
Driver's faults	1.033	0.000**	0.541	0.009**
Load problems	-1.921	0.008**	-18.116	0.996
Obstacles on road	-2.151	0.000**	-3.507	0.000**
Road defects	-2.986	0.000**	-18.029	0.993
Vehicle defects	-0.559	0.002**	-0.978	0.000**
Weather				
Clear	0.134	0.085	0.075	0.562
Rain	-0.301	0.003**	-0.444	0.019**
Snow	-0.941	0.000**	-0.545	0.072
Fog	0.533	0.089	0.823	0.056
Road pavements				
Asphalt	-0.025	0.619	0.086	0.327
Curve				
Curve	-0.092	0.137	-0.125	0.248
Slope				
Uphill	0.132	0.061	0.126	0.292
Downhill	0.139	0.038*	0.046	0.695
Driver gender				
Male	0.038	0.608	0.682	0.000**
Involvement of heavy vehicles				
Truck involvement	0.621	0.000**	0.838	0.000**
Bus involvement	1.075	0.000**	1.288	0.008**
$LL(c)$			-9,726	
$LL(\hat{\beta})$			-8,437	
$\rho^2$			0.1325	

Note: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.025$

## IV. 결 론

본 연구에서는 다항로짓모형을 이용하여 고속도로 교통사고의 사고차량대수 따른 사고요인별 영향을 분석하였다. 기존의 교통사고 심각도 연구에서는 사고차량대수를 사고의 인적피해 심각도나 사고처리시간 등에 영향을 미치는 설명변수로만 분석하였으나, 본 연구에서는 사고차량대수를 사고의 결과로 해석하였다. 우리나라 고속도로에서 3년간 발생한 교통사고 자료를 분석한 결과, 5대 이상 연관된 다중추돌사고는 574건이 발생하였는데, 이 중 18%가 부상사고, 9%가 사망사고로 이어졌다. 이처럼 다중추돌사고는 인적피해를 동반하는 부상/사망사고로 이어질 가능성이 높아, 다중추돌사고의 특성을 파악하고 예방하기 위해 단독차량사고와 다중추돌사고에 미치는 사고요인별 영향의 차이를 분석하는 것이 중요하다.

분석결과, 단독차량사고와 다중추돌사고를 구분하는데 있어 사고발생지점별 요인이 다른 요인보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본선과 터널, 교량에서의 교통사고는 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높은 반면, 램프와 톨게이트에서 발생한 사고는 단독차량사고의 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이것은 차로별 교통류의 상호작용 여부가 사고차량대수에 영향을 미친것으로 판단된다. 그리고 사고원인에 따른 분석에서는 운전자가 대응하기 어려운 도로의 장애물이나 노면문제로 인한 사고가 다중추돌사고로 이어질 확률이 높은 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 다중추돌사고 예방을 위해 도로환경 관리가 필요하다는 것을 보여준다. 교통사고에 미치는 날씨의 영향은 안개 낀 날씨에 다중추돌사고로 이어질 가능성이 높았는데, 이는 안개로 인한 가시거리 감소가 다중추돌사고를 유발하는데 영향을 미친것으로 판단된다. 도로선형측면에서는 곡선구간보다는 내리막 경사 구간에서 다중추돌사고가 발생할 확률이 높았고, 화물차량과 버스 등 중차량이 연관되어 있을 경우 다중추돌사고로 이어질 확률이 높은 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과를 탑승자 부상심각도 모형 분석결과와 비교한 결과, 다중추돌사고에 미치는 영향요인과 부상심각도에 미치는 영향요인의 결과가 유사하게 도출되었다. 또한, 부상사고 또는 사망사고에 많은 차량이 연관될 경우 인명피해의 수가 늘어날 가능성이 높으므로, 다중추돌사고의 요인을 관리하고 사고를 예방하는 노력이 중요할 것이다.

다중추돌사고는 동시에 많은 차량이 한 사고에 연관되므로 도로구간의 교통량 또는 밀도와 관련성이 높다. 사고위험요인이 존재하더라도 교통량 수준에 따라 사고차량대수가 달라질 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 자료의 한계로 교통량과 밀도를 고려한 교통사고 분석이 불가능했으나, 추후 사고데이터와 사고당시의 교통량 데이터를 결합하여 더 심층적인 연구가 가능할 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2020년도 연세대학교 연구비의 지원을 받아 수행된 것임(2020-22-0097).

본 연구는 2019년 연세대학교 대학원 연구장학금 지원에 의한 것임.

## REFERENCES

- Bardal K. G. and Jørgensen F.(2017), “Valuing the risk and social costs of road traffic accidents-Seasonal variation and the significance of delay costs,” *Transport Policy*, vol. 57, pp.10-19.

- Ben-Akiva M. E. and Lerman S. R.(1985), *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*, MIT Press(Cambridge, MA), p.103.
- 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.(2010), "Development of an accident duration prediction model on the Korean freeway systems," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 1, pp.282-289.
- Eluru N., Bagheri M., Miranda-Moreno L. F. and Fu L.(2012), "A latent class modeling approach for identifying vehicle driver injury severity factors at highway-railway crossings," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 47, pp.119-127.
- Geedipally S. R., Turner P. A. and Patil S.(2011), "Analysis of Motorcycle Crashes in Texas with Multinomial Logit Model," *Transportation Research Record*, vol. 2265, no. 1, pp.62-69.
- Golob T. F. and Recker W. W.(2003), "Relationships Among Urban Freeway Accidents, Traffic Flow, Weather, and Lighting Conditions," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 129, no. 4, pp.342-353.
- Han I. H.(2012), "Reconstruction Analysis of Multi-Car Rear-End Collision Accidents: Empirical/Analytical Methods, and Application of Video Event Data Recorder," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 30, no. 2, pp.127-136.
- Jones B., Janssen L. and Mannering F.(1991), "Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 23, no. 4, pp.239-255.
- Kim G. T. and Lee J. S.(2007), "Multinomial Logit Modeling: Focus on Regional Rail Trips," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 25, no. 1, pp.109-119.
- Korea JoongAng Daily(2015.02.12.), <https://news.joins.com/article/17154224>, 2020.06.26.
- Korea Road Traffic Authority(2020), *Traffic Accident Analysis System*, Available at <http://taas.koroad.or.kr/>, 2020.06.09.
- Lee S. S., Kim T. H. and Son B. S.(2014), "Study on Effect of Low Visibility Condition at Nighttime on Traffic Accident," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 2, pp.12-26.
- Lim S., Park J., Kim J., Oh W., Choi J. and Park J.(2019), "Analysis of Multi-Car Rear-End and Chain Reaction Collision Using EDR," *Transactions of KSAE*, vol. 27, no. 2, pp.101-108.
- McFadden D.(1974), "The measurement of urban travel demand," *Journal of Public Economics*, vol. 3, no. 4, pp.303-328.
- Na H. and Park B. H.(2012), "Analysis on the Accident Severity of Motorcycle Using Ordered Logit Model," *Journal of Korea Planning Association*, vol. 47, no. 4, pp.233-240.
- Park J. T., Ko J. T. and Lee S. B.(2010), "Developing Older Driver's Accident Injury Severity Model for Accident Type: An Application of Ordered Probit Model," *Journal of Transport Research*, vol. 17, no. 4, pp.85-94.
- Park S. J., Kho S. Y. and Park H. C.(2019), "The Effects of Road Geometry on the Injury Severity of Expressway Traffic Accident Depending on Weather Conditions," *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 2, pp.12-28.
- Seo I. K., Lee K. Y., Lee S. K. and Park J. J.(2012), "The Analysis of Factors affecting Expressway

- Accident Involving Human Injuries using Logit Model,” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 3, pp.102-111.
- Shaheed M. S. and Gkritza K.(2014), “A latent class analysis of single-vehicle motorcycle crash severity outcomes,” *Analytic Methods in Accident Research*, vol. 2, pp.30-38.
- Shankar V., Mannering F. and Barfield W.(1995), “Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 27, no. 3, pp.371-389.
- Tay R., Choi J., Kattan L. and Khan A.(2011), “A Multinomial Logit Model of Pedestrian-Vehicle Crash Severity,” *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 5, no. 4, pp.233-249.
- Yonhap News Agency(2016.07.18.), <https://www.yna.co.kr/view/AKR20160718151000062>, 2020.06.26.