

# 기상 및 교통조건이 고속도로 화물차 사고 심각도에 미치는 영향분석

최새로나\* · 김미정\*\* · 오철\*\*\* · 이기영\*\*\*\*

Choi, Saerona\*, Kim, Mijoeng\*\*, Oh, Cheol\*\*\*, Lee, Keeyong\*\*\*\*

## Effects of Weather and Traffic Conditions on Truck Accident Severity on Freeways

### ABSTRACT

Understanding the characteristics of truck-involved crashes is of keen interest because such crashes are highly associated with greater potential leading to severer injury. The purpose of this study is to identify factors affecting injury severity of truck-involved crashes on freeways. In addition, a binary logistic regression technique is applied to identify causal factors affecting truck crash severity under normal and adverse weather conditions. Major findings from the analyses are discussed with truck operations strategies including speed enforcement, variable speed limit, and truck lane restriction, from the safety enhancement point of view. The results of this study would be useful for developing traffic control and operations strategies to reduce truck-involved crashes and injury severity in practice.

**Key words :** Truck accident, Injury severity, Binary logistic regression, Road weather conditions

### 초록

교통안전 측면에서 화물차 관련 교통사고 심각도는 화물차의 차량 중량, 물류수송특성, 후행차량의 시거제약 등과 관련된다. 본 연구는 고속도로 화물차사고의 심각도에 미치는 기상 및 도로·교통요인을 도출함에 그 목적이 있다. 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 사고심각도의 확률적 증가에 영향을 미치는 요인을 기상별로 비교분석하였다. 분석 결과 속도 단속, 속도 관리전략, 화물차 전용차로 등과 같은 교통류 관리전략이 사고심각도 감소를 위한 대책으로 제안되었다. 본 연구의 결과는 향후 화물차 사고발생 및 사고심각도 감소를 위한 교통 관제 및 운영관련 전략 수립시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**검색어 :** 화물차 사고, 사고 심각도, 이항 로지스틱 회귀분석, 도로기상조건

## 1. 서론

지난 2011년 발생한 교통사고 중 화물차 사고로 인한 사망자가 1,121명으로 전체 교통사고 사망자 수인 5,229명의 21%를 차지한 것으로 나타났다. 화물차 교통사고 발생건수는 총 사고건수 221,711건의 13% 수준인 29,143건이다(도로교통공단). 이 중 고속도로에서 발생한 화물차 사고는 1,034건으로 총 2,640건 중 약 40%에 달하며, 사망자는 총 265명 중 39% 수준인 103명으로 나타났다(한국도로공사).

교통안전 측면에서 화물차 관련 교통사고 심각도는 두 가지 특성으로 설명할 수 있다. 첫째, 물리학의 운동에너지 법칙을 적용해 볼 때 차량 충돌시 충격량은 물체의 중량에 비례하므로 화물차 사고는 승용차 사고보다 교통사고 심각도가 높게 나타난다(Evans

\* 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 교통·물류공학과 박사과정 (Corresponding Author · Hanyang University · saerona@hanyang.ac.kr)

\*\* 정회원 · 한양대학교 교통·물류공학과 석사과정 (Mijoeng@hanyang.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 한양대학교 교통·물류공학과 부교수 (cheolo@hanyang.ac.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (kylee@ex.co.kr)

Received July 5 2012, Revised July 30 2012, Accepted January 30 2013

et al., 1993). 둘째, 물류수송 특성을 갖는 화물차량은 심야 또는 장거리 운행으로 운전자 피로에 의한 졸음운전 발생 가능성이 높고, 위험상황 발생시에도 대처 능력이 감소하게 된다(Cantor et al. 2008). 따라서 이러한 화물차 사고 감소 및 심각도 저하를 위한 교통류 관리전략의 필요성은 이미 국내 뿐 만 아니라 국외에서도 대두되고 있다.

본 연구에서는 고속도로에 설치된 루프검지기를 통하여 수집된 속도, 교통량자료와 기상청에서 수집된 강우·강설자료를 비집계된 교통사고케이스의 사·공간적 배경을 고려하여 매칭함으로써 사고 발생 직전의 기상 및 교통상황을 나타내는 잠재적인 요인을 분석하고자 하였다. 또한, 기상조건을 고려한 화물차 사고심각도 통계모형을 구축함으로써 사고심각도의 확률적 증가에 영향을 미치는 요인을 기상별로 비교분석함으로써 사고심각도 감소 대책을 제안하고자 하였다.

본 연구의 2장에서는 본 연구와 관련된 국내·외 기존 연구를 검토하였으며, 3장에는 분석데이터 구축 및 통계모형 구축 과정에 대해 제시하였다. 3장에는 본 연구의 분석결과를 기술하였으며, 4장에는 분석결과를 통하여 얻은 화물차 사고심각도 저감을 위한 화물교통 관리전략을 제안하였다.

## 2. 기존연구 검토

국외에서는 화물차 사고 발생률 및 사고심각도 감소를 위한 노력의 일환으로 고속도로 화물차 교통사고 발생원인 및 사고심각도 증가 요인을 분석하기 위한 연구가 수행되었다. 화물차 운영관련 기존 연구는 교통류를 균질하고 안정적으로 관리하기 위한 전략인 화물차 전용차로의 최적 운영기법 도출 및 효과평가를 위하여 현장 시험데이터 및 시뮬레이션 기반 수집자료를 활용한 분석을 수행하였다(Fontaine., 2008, El-Tantawy et al., 2009, Fontaine et al., 2009). 다른 접근법으로는 동적속도제한을 이용한 화물차 관리전략을 제시하기도 하였다(Korkut et al., 2010).

교통안전 측면에서의 화물차 사고를 분석한 국외 연구에서는 화물차 관련 사고의 사고심각도 영향요인을 규명하기 위한 분석을 수행하였으며, 통계적인 분석기법을 이용하여 화물차 사고 예측모형, 화물차 사고심각도 모형을 제시하기도 하였다(Golob et al., 1987, Zhu et al., 2011, Duncan et al., 1998, Khattak et al., 2003, Chang et al., 1999, Khorashadi et al., 2005, Lemp et al., 2011). 특히, 사고심각도 영향요인과 관련해서는 졸음운전 등의 운전자 인적요소와 화물차 사고심각도의 관계를 도출하기 위한 분석이 수행되었다(Cantor et al., 2010, Gander et al., 2006, Zhu et al., 2011, Häkkinen et al., 2001). 또한 특정 화물차 사고유형(차로별 사고, 전복사고 등)을 분석한 연구도 수행되었다

(Hallmark et al., 2009, Young et al., 2007).

화물차 교통운영에 있어 교통안전상 효과적인 전략을 도출하기 위해서는 미시적인 관점에서 볼 때 화물교통 자체의 특성을 이해하고 타 차종과의 상호작용을 분석할 필요성이 있다. 특히 화물교통은 승용차 등과는 달리 상업적 특성을 가지며, 통행의 결정이 개인적 효용의 영향을 많이 받는 승용차 운전자보다 야간, 악천후 등과 같은 도로상황에서 운전하는 빈도가 높다(USDOT, 2006, NIOSH, 2007). 특히 관련 연구에서는 강우, 강설과 같은 악천후 상황에서 도로의 소용능력이 감소한다고 알려져 있으므로(Keay et al., 2005, Knapp et al., 2000, Shi et al., 2011) 일반적인 기상조건과 강우, 강설 등의 기상조건을 각각 고려하여 화물차 사고를 분석할 필요성이 있다.

국내에서도 화물차 교통사고 관련 연구가 수행되었다. 고속도로 화물차 사고 데이터를 이용하여 대형 화물차량 사고의 원인 및 특성을 직접적 원인과 환경적 원인으로 분류하여 분석함으로써 사고개선 대책을 제시하였으며(정시문, 2007)대형차 교통사고 특성 및 문제점을 분석하고 대형차 운전자 설문조사를 통한 개선방안을 제시하였다(채범석, 2006). 또한, 사고 요인별 상관계수를 도출하여 화물차 사고발생과 상관성이 높은 사고 인자를 제시하였다(김성용 등, 2001). 그러나 기존 국내 연구에서는 주로 집계된 자료(평균 사고발생 건수 등)를 이용하여 화물차 사고 발생원인별 특성 분석을 수행하였으며, 도로·교통환경에서 매우 중요한 요소인 기상 상태를 고려한 화물차 사고분석은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기상 및 교통조건을 고려한 화물차 사고분석의 필요성을 인식하고 국내 고속도로에서 수집된 기상자료, 사고자료, 교통자료를 이용, 화물차 교통사고 심각도 영향요인 분석을 수행하였다.

## 3. 분석개요

본 연구의 목적인 화물차 사고 심각도에 미치는 기상 및 교통조건 영향 분석을 위하여, Fig. 1의 분석절차에 따라 연구를 수행하였다. 분석에 사용할 데이터베이스를 구축하고, 분석방법론 및 독립변수를 설정하였다. 이항 로지스틱 회귀분석을 활용하여 화물차 교통사고 심각도의 확률적 증가에 영향을 미치는 기상 및 교통조건 관련요인을 도출하였다.

본 연구의 대상차량인 화물차의 범위는 한국도로공사의 고속도로 차종분류 기준에 화물차로 정의된 차종을 고려하여 분석을 수행하였으며 차종 분류 기준 중 화물차 기준은 Table 1과 같다.

본 연구에서는 기상조건 중 맑음, 흐림, 비, 눈을 고려하여 분석을 수행하였다. 안개의 경우 사고발생 케이스의 수가 매우 적어 분석시 고려하지 않았다. 또한, 운전자의 시인성 및 노면마찰력 저하를 유발하는 비, 눈을 이상기후(Adverse weather condition)

로, 그 외의 맑음, 흐림을 정상기후(Normal weather condition)로 정의하여 분석을 수행하였다.

### 3.1 데이터베이스 구축

본 연구에서는 화물차 사고 심각도 모형구축을 위하여 고속도로 사고자료, 교통자료, 기상자료를 이용한 통합 데이터베이스를 구축하였다. 교통사고자료에 나타난 공간적, 시간적 배경과 일치하도록 교통자료(속도 및 교통량)와 기상자료(강수량 및 강설량)를 매칭하였다. 데이터 베이스 구축절차는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 화물차 사고에 미치는 기상 및 교통조건의 영향을 분석하기 위한 분석대상노선으로 남해선, 영동선, 중부내륙선을 선정하였다. 분석대상노선의 전 구간을 고려하였으며, 대상노

선 선정기준은 강우, 강설시 사고발생이 잦은 노선, 타 노선대비 과속사고가 많은 노선, 화물차 사고가 잦은 노선 등을 고려하였다.

둘째, 최근 3년간 대상노선에서 발생한 화물차 관련 사고자료를 수집하였다. 사고자료에서 본선일반구간, 터널, 교량 이외의 램프, IC, JC, 톨게이트에서 발생한 사고의 경우 차량의 엇갈림이 발생하는 기하구조로 인하여 사고특성이 본선구간과 다르므로 제외하였다. 고속도로 사고자료<sup>1)</sup>에서 사고심각도는 사망자수 및 부상자수에 따라 A, B, C급으로 구분되며 기상상태는 맑음, 흐림, 비, 눈, 안개, 강풍으로 구분되는데, 일반적으로 이러한 사고심각도 및 기상별 사고데이터의 불균형문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 데이터 불균형문제를 보완하고자 경부선, 외곽순환선 등의 사고 케이스를 추가하여 사고자료를 구성하였다.

셋째, 사고자료의 케이스별 시간 및 공간적 범위가 일치하는 기상자료 및 검지기자료를 매칭하였다. 각 자료의 수집단위는 기상자료의 경우 1시간, 검지기자료의 경우 15분이다.

넷째, 자료 수집시 이상치 및 결측치가 발생한 자료에 대하여 보정을 실시하였다. 검지기자료의 속도 및 교통량에 이상치 및 결측치가 발생한 경우, 동일 검지기의 전·후 시간대의 평균값을 이용하여 보정하였다. 전·후 시간대에도 이상치 및 결측치가 발생한 경우, 또는 보정이 가능하더라도 보정치가 사고케이스 별로 50%가 넘는 경우 해당 사고위치의 특성을 잘 반영하지 못한다고 판단하여 사고 케이스를 삭제하였다. 기상자료의 경우 이상치 및 결측치는 발생하지 않았으나 사고자료의 기상상태와 기상자료의 강수량 측정값이 일치하지 않는 경우가 발생하였다. 예를 들어, 기상자료에는 강수량 측정값이 존재함에도 사고자료에는 맑음으로 표시되는 경우가 발생하였는데 이러한 경우 사고자료 기록상의 문제점으로 파악되어 사고 케이스를 삭제하였다.

Table 2와 같이 구축된 데이터 베이스의 자료 개수는 총 377개이며 기상조건에 따라 이 중 정상기후<sup>2)</sup>는 261개, 비는 97개, 눈은 19개이다. 심각도별 개수는 심각한사고가 52개, 경미한사고가 325개로 나타났다.

#### Step 1. Set-up database

- Matching weather and traffic data including speed, volume, and crashes
- ① Selection of study area
- ② Traffic accident data collection
- ③ Matching weather and traffic data
- ④ Correction missing or abnormal data

#### Step 2. Methodology and setting dependent variables

- Using binary logistics regression
- Characteristics related driver, road condition, traffic condition, environment

#### Step 3. Analysis factors affecting truck accident injury severity

- Derivation weather and traffic Condition factors affecting probabilistic increase of Truck Accident Severity

Fig. 1. Process of analysis

Table 1. Truck classification criteria on freeway

Truck classification	Vehicle weight	Vehicle Specifications
·Light Duty truck class 1	·below 2.5 ton	·two axle truck, Track tread below 279.4mm
·Light Duty truck class 2	·2.5~5.5 ton	·two axle truck, Track tread exceed 279.4mm, track width below 1,800mm
·Medium Duty truck class 1	·5.5~10 ton	·two axle truck, Track tread exceed 279.4mm, track width exceed 1,800mm
·Medium Duty truck class 2	·10 ~20 ton	·three axle truck
·Heavy Duty truck	·exceed 20 ton	·more than four axle

1) 한국도로공사 고속도로 사고자료(2008~2010년)

2) 본 연구에서는 운전자의 시인성 및 도로 노면마찰력에 아무런 영향이 없는 기상상태를 ‘정상기후’로, 강우 또는 강설로 인하여 운전자의 시인성을 저하시키고, 도로 노면마찰력을 감소시키는 기상상태를 ‘이상기후’로 정의하였다.

Table 2. Crash frequencies by freeway line, weather condition and injury severity

Freeway line	Case of accident				
	Weather			Injury severity	
	Normal	Rain	Snow	Fatal	Non-fatal
Namhae	54	44	2	10	90
Youngdong	82	36	8	17	109
Jungbu naeryuk et al.	125	17	9	25	126
Total	261	97	19	52	325

Table 3. Accident occurrence probability of Logistic Model

	Curve (X=1)	Straight (X=0)
Fatal accident occurrence probability	$P_1 = \frac{\exp(\alpha + \beta X)}{1 + \exp(\alpha + \beta X)}$	$P_0 = \frac{\exp(\alpha)}{1 + \exp(\alpha)}$
Non-fatal accident occurrence probability	$1 - P_1 = \frac{1}{1 + \exp(\alpha + \beta X)}$	$1 - P_0 = \frac{1}{1 + \exp(\alpha)}$

### 3.2 분석방법론 선정

본 연구에서는 종속변수가 심각한 사고와 경미한 사고의 이분형으로 나타나며, 화물차 교통사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건에 관련된 요인을 분석하고자 이항 로지스틱 회귀분석을 적용하였다. 본 연구에서는 종속변수로 사고 심각도를 고려하였으며 1은 교통사고 심각도 분류기준 A, B에 속하는 사망자 1명 이상 또는 부상자 5명 이상의 심각한 사고를 의미하며, 0은 부상자 1명 이상의 경미한 사고를 의미한다.

이항 로지스틱 회귀분석(BLR)은 종속변수가 범주형으로 관측된 데이터를 적합 시킬 때 유용하게 사용되는 기법으로, 모형의 종속변수인 심각한 교통사고를 1로, 경미한 교통사고를 0으로 설정하는 Binary classification 문제에 효과적으로 응용가능하다. 또한 odds-ratio, Wald 통계량 등을 이용하여 종속변수의 확률적 증가에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 독립변수 판단시 유용하게 사용할 수 있다. 이항 로지스틱 회귀분석의 기본 수식은 (1)과 같다.

$$P(y = 1|x_1, \dots, x_i) = \frac{\exp[f(x_i, \beta_i)]}{1 + \exp[f(x_i, \beta_i)]} \quad (1)$$

$P(y = 1|x_1, \dots, x_i)$  = Fatal accident occurrence probability

$x_i$  = Factors effecting truck accident

$\beta_i$  = Estimated parameters

모형내 변수의 계수의 부호가 양인 경우 해당 변수는 심각한 사고발생의 확률적 증가에 영향을 미친다고 해석할 수 있으며, 부호가 음인 경우 심각한 사고발생 확률을 감소시키는 것을 의미한다. 로지스틱 회귀분석의 결과물 중 하나인 독립변수의 승산비

(Odds ratio)는 다른 변수가 고정되었을 때 해당 독립변수의 위험도를 설명할 수 있다. 예를 들어 ‘커브여부(curve)’ 변수는 기하구조가 곡선일 때 1로, 직선일 때 0으로 코딩된 변수인데, 승산비가 1 이상일 경우 심각한 사고발생의 확률적 증가에 유의한 영향을 미치며, 변수값이 1 또는 0일 때 각각의 교통사고발생 확률은 Table 3의 수식을 활용하여 도출할 수 있다.

### 3.3 변수 설정

분석을 위한 종속변수는 이분형으로 나타나는 사고심각도이다. 독립변수는 교통사고자료에 나타난 인적특성, 기하구조특성, 교통특성, 환경특성에 대한 변수를 설정하였다. 인적특성에서는 성별, 연령을 고려하였고, 기하구조특성에서는 오르막여부, 내리막여부, 커브, 사고위치(교량, 터널, 본선일반구간)를 고려하였다. 교통특성에서는 사고위치 최근접 상류부 검지기에서 수집되어 15분 간격으로 수집된 속도 및 교통량과 상·하류부 속도차이, 속도의 변동계수, 교통량·용량비를 고려하였다. 대상노선의 구간별 제한속도를 고려하여 상류부 15분전 속도가 제한속도를 초과한 경우에도 이를 변수화하였다. 제한속도는 기상상태를 고려하여 폭우·폭설 등 시간당 20mm 이상의 강한 비·눈이 내릴 경우 제한속도의 50% 수준을 적용하며, 그 이하의 비·눈이 내릴 경우 20% 수준을 적용하는 도로교통법 시행규칙 제19조의 법령을 적용하여 설정하였다. 환경특성에서는 주야, 주중여부를 고려하였으며, 주야의 경우 월 평균 일출, 일몰시간을 고려하여 설정하였다. 2011년 월 평균 일출, 일몰시간은 Table 4와 같다.

명목형 변수에 대한 설정은 교통사고 심각도 증가에 상대적으로 많은 영향을 미칠 것으로 판단되는 집단을 1로, 그렇지 않은 집단을 0으로 코딩하였다. 연속형 변수는 각 변수의 특성을 반영하

Table 4. Annual average sunrise and sunset

Month	Sunrise	Sunset
1	07:35	17:31
2	07:15	18:03
3	06:35	18:32
4	05:50	19:00
5	05:17	19:26
6	05:05	19:45
7	05:16	19:42
8	05:40	19:15
9	06:06	18:32
10	06:34	17:48
11	07:05	17:17
12	07:30	17:10

<http://astro.kasi.re.kr/>

Table 5. Summary of database

Variables		Normal condition		Adverse condition		Total	Description		
		Fatal	60	17	77				
		Non-fatal	201	99	300	Weather condition : Normal or adverse Injury severity : Fatal or non-fatal			
Dependent variable		injury severity		1	0	1	0	-	0: non-fatal, 1: fatal
Independent variables	Nominal variable	day_night	1	39	95	7	29	170	0: day, 1: night ; regarding sunrise and sunset
			0	21	106	10	70	207	
		week	1	51	168	15	80	314	0: weekend (Saturday, Sunday), 1: weekday (Mon ~ Fri)
			0	9	33	2	19	63	
		gender	1	60	200	16	96	372	0: female, 1: male
			0	0	1	1	3	5	
		grade_up	1	21	70	5	34	130	0: non-up grade, 1: up grade
			0	39	131	12	65	247	
		grade_dn	1	21	83	9	37	150	0: non-down grade, 1: down grade
			0	39	118	8	62	227	
		curve	1	21	81	10	44	156	0: non-curve, 1: curve
			0	39	120	7	55	221	
		location	1	4	12	2	2	20	0: mainline, 1: bridge or tunnel
			0	56	189	15	97	357	
Continuous variable	age		46.17	45.30	45.00	45.10	-	median of age group	
	up_sp15b		91.77	91.74	80.06	81.59	-	15-min average speed prior to accident occurrence (archived from adjacent upstream detection station)	
	up_speeding		1.12	0.48	4.29	6.92	-	amount of speeding when up_sp15b exceeds speed limit (When up_sp15b does not exceed speed limit, up_speeding is set to be '0')	
	df_sp15b		7.65	7.97	9.18	8.72	-	difference between up_sp15b and dn_sp15b	
	sp_cv		0.06	0.07	0.12	0.08	-	coefficient of variation of speed	
	v/c ratio		0.22	0.23	0.26	0.25	-	volume/capacity ratio	

여 설정하였다.

통상적으로 통계기법을 이용한 모형 개발시 독립변수간 상관성이 높은 변수를 같이 투입할 경우 다중공선성<sup>3)</sup> 문제가 발생할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 다중공선성 문제를 예방하기 위하여 독립변수간 상관관계를 분석하여 상관계수가 0.7 이상으로 높게 나타나는 변수들은 분석에서 제외하였다. 예를 들어, 상·하류 부 교통량 관련 변수는 교통량-용량비와의 높은 상관성으로 제외되었다.

상관분석 결과를 바탕으로 본 연구에서 최종적으로 사용한 독립변수에 대한 변수설정 방법 및 기술통계를 Table 5에 제시하였다. 독립변수 중 명목형 변수에 대해서는 종속변수인 사고심각도의 집단별 케이스 수를 제시하였으며, 연속형 변수의 경우 사고심각도 집단별 평균값을 제시하였다.

3) 두 변수가 서로 선형적인 관계에 있으며 강한 관련성을 보일 때 분산이 비정상적으로 커지는 현상

Table 6. Factors affecting injury severity by weather conditions

	Normal weather condition model					Adverse weather condition model				
	Coef.	S.E.	t	P> t	odds.	Coef.	S.E.	t	P> t	odds.
day_night	0.9153	0.3749	2.44	0.015	2.4975	0.3741	0.7205	0.52	0.604	1.4536
weekend	0.2753	0.4487	0.61	0.540	1.3169	1.0026	0.9617	1.04	0.297	2.7254
gender	0.0055	0.0152	0.36	0.716	1.0056	-0.0098	0.0306	-0.32	0.748	0.9902
age	-0.0056	0.4090	-0.01	0.989	0.9944	1.2294	1.0569	1.16	0.245	3.4193
grade_dn	-0.2745	0.4059	-0.68	0.499	0.7599	1.6945	0.9954	1.70	0.089	5.4439
curve	-0.0737	0.3307	-0.22	0.824	0.9290	0.5372	0.6389	0.84	0.400	1.7112
location	0.3456	0.6483	0.53	0.594	1.4128	3.4761	1.5798	2.20	0.028	32.3341
up_sp15b	-0.0089	0.0161	-0.56	0.578	0.9911	0.0876	0.0424	2.06	0.039	1.0916
up_speeding	0.1280	0.0649	1.97	0.048	1.1366	-0.1139	0.0653	-1.74	0.081	0.8924
df_sp15b	0.0420	0.0285	1.47	0.141	1.0428	-0.0472	0.0401	-1.18	0.240	0.9539
sp_cv	-10.1785	5.5820	-1.82	0.068	$3.8 * 10^{-5}$	20.8062	8.2802	2.51	0.012	$1.09 * 10^9$
v/c ratio	0.7905	1.1142	0.71	0.478	2.2046	0.3260	2.0998	0.16	0.877	1.3854
constant	-1.2574	1.8208	-0.69	0.490	-	-12.0710	4.5035	-2.68	0.007	-
Log likelihood	-132.9925					-37.8285				
Number of observation	261					116				
LR $\chi^2(14)$	15.58					21.01				
Pseudo $R^2$	0.0554					0.2174				

#### 4. 분석 결과

종속변수가 범주형으로 관측된 데이터를 적합 시킬 때 유용하게 사용되는 기법인 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 화물차 교통사고의 심각도에 영향을 미치는 도로·교통특성 분석을 수행하였다. 기상조건에 따라 화물차사고 심각도에 미치는 영향요인에 차이가 있을 것으로 판단하여 정상기후 및 이상기후에 대한 분석결과를 각각 제시하고 각 결과에서 통계적으로 유의하게 도출된 변수들을 비교분석하였다. 또한, 각 기상별 모형의 통계적 유의성과 두 모형이 통계적으로 차이가 있는지 비교분석하였다. 분석결과는 Table 6에 제시하였다.

##### 4.1 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과

정상기후시 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는  $\chi^2$ 는 15.58로 자유도가 12일 때  $\chi^2$ 의 5%의 수준인 21.0보다 작으므로 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는  $\rho^2$ (우도비)는 0.0554로 비교적 낮게 나타났다.

정상기후에서는 통계적으로 유의하게 나타난 독립변수는 ‘주야’, ‘제한속도초과값’, ‘속도의 변동계수’의 P-value가 0.1 이하로 나타나 심각한 사고의 발생 확률 증가에 통계적으로 유의한 영향을

미치는 변수로 도출되었다. ‘주야’변수의 odds-ratio는 2.4975로 나타나, 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 주간보다 약 2.5배 증가하며, ‘제한속도초과값’ 변수는 odds-ratio가 1.1366으로 나타났다으며, 제한속도 초과값이 1kph 증가할 때마다 심각한 사고일 확률은 약 1.14배 증가하였다.

‘속도 변동계수’는 계수가 -10.1785로 속도의 변동계수가 감소할수록 사고의 심각도는 증가하는 결과가 나타났다. 일반적으로 차량간 속도차를 의미하는 속도의 변동계수, 즉 차량들의 시·공간적인 속도 표준편차가 클 때 사고발생 개연성 및 사고심각도는 증가하게 되나 본 모형에서는 반대의 결과가 도출되었다. 본 연구에서는 이와 같은 결과가 자료의 한계로 도출된 것으로 판단하고 데이터베이스의 상세한 검토를 수행하였다. 속도의 변동계수는 속도의 표준편차를 속도의 평균으로 나눈 값으로 산출되며, 분자인 속도의 표준편차가 작고 분모인 속도의 평균이 클 경우 속도의 변동계수가 작아진다. 본 모형에서 속도 변동계수가 작을 때 사고심각도가 높게 나타난 것은 정상기후시 일반적으로 차량 속도가 고속으로 나타나며, 이 때 속도의 표준편차가 작더라도 사고심각도가 증가할 수 있음을 의미하는 결과라 판단된다.

결과적으로 정상기후 조건에서는 야간일 때, 제한속도 초과시 발생한 화물차 교통사고는 심각도가 높게 나타난다.

### 4.2 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과

이상기후 모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는  $\chi^2$ 는 21.01이며, 모형의 설명력을 나타내는  $\rho^2$ (우도비)는 0.2174로 나타나 모형의 설명력이 비교적 높게 나타났다. 심각한 사고발생 확률에 유의한 영향을 미치는 독립변수로는 ‘내리막여부’, ‘사고위치’, ‘상류부평균속도’, ‘제한속도초과값’, ‘속도의 변동계수’로 도출되었다.

‘내리막여부’의 odds-ratio는 5.4439로 평지나 오르막보다 심각한 사고 발생확률이 약 5.4배 높으며, ‘사고위치’변수는 odds-ratio가 32.3341로 교량 또는 터널일 때 심각한 사고가 발생할 확률은 본선일반구간보다 32.3배로 매우 증가하였다. ‘속도’는 odds-ratio가 1.0916으로, 속도가 1kph 증가할 때마다 심각한 사고 발생확률은 1.0916배 증가하였다. ‘속도의 변동계수’는 계수가 20.8062, odds-ratio는  $1.09 \times 10^9$ 로 매우 큰 값으로 나타나 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고발생확률이 대단히 증가하는 결과가 도출되었다.

‘제한속도초과값’의 경우 계수가 음수로, 제한속도 초과값이 작을 때 심각한 사고발생확률이 증가하는 결과가 나타났다. 제한속도의 경우 도로교통법 시행규칙 제19조에 의거, 제한속도가 100kph일 때 20mm미만의 강우 및 강설시 제한속도는 80kph로 적용하였으며, 본 변수는 이 제한속도와 차량의 평균 속도의 차이를 나타낸 변수인데, 제한속도를 초과하지 않은 경우 0으로 설정된다. 데이터베이스 검토 결과, 차량 속도가 제한속도를 초과하지 않은, 즉 변수의 값이 0으로 설정된 케이스의 비중이 매우 큰 것으로 나타났다. 결과적으로 ‘제한속도초과값’이 감소할수록 심각한 사고 발생확률이 증가하는 결과가 도출된 것으로 나타난 것은 본 연구에서 사용한 데이터베이스 특성으로 판단된다. 계수가 -0.1139로 종속변수에 미치는 영향은 다소 미비하나, 이 경우 결과의 해석상 매우 유의해야할 필요성이 있다.

결과적으로 이상기후 조건에서는 내리막일 때, 교량 또는 터널의 구조물 구간에서, 차량의 속도 및 속도 변동계수가 증가할 때 화물차 교통사고 심각도는 증가하게 된다.

### 4.3 모형비교

본 연구에서는 화물차사고의 심각도 영향요인 분석에서 정상기후 및 이상기후의 기상별 화물차 사고심각도 모형을 도출하였다. 두 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였으며 모형의 적합도를 나타내는 적합도 검증(Goodness of Fit test<sup>4)</sup>, Ulfarsson et al., 2004, Chen et al., 2011) 결과를 Table 7에 제시하였다. 모형 비교<sup>5)</sup> 결과에서는  $\chi^2$ 값이 26.77로 나타나 자유도 12일 때  $\chi^2$ 의 5% 수준인 21.0보다 크므로 95% 신뢰수준에서 정상기후와 이상기후 모형은 서로 다르다고 말할 수 있다. 적합도 검증에서는 Pearson의 P-value가 기상별로 각각 0.3420, 0.1269로 0.05보다 큰 것으로 나타나 95% 신뢰구간에서 정상기후 및 이상기후의 모형이 적합하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 도출된 회귀모형이 적합하며, 모형이 Data를 잘 설명한다고 할 수 있다.

## 4. 화물차 사고심각도 영향요인

분석결과를 통하여 얻은 고속도로 화물차 관련 사고심각도 영향요인 및 사고심각도 저감을 위한 대책은 다음과 같다.

### 4.1 고속주행 가능성이 높은 교통조건

정상기후 모형에서 야간시 주간보다 심각한 사고 발생확률이 크게 나타난 것은 제한속도 초과값 변수가 유의하게 나타난 결과와 연결해볼 때 운전자의 고속주행 경향으로 판단된다. 따라서 정상기후 후, 야간 등 운전자의 고속주행 가능성이 높은 조건에서 V/C가 낮더라도 제한속도를 준수하도록 함으로써 차량이 안전속도를 유

Table 7. Model Comparison

		Normal weather condition model	Adverse weather condition model
Model comparison	log-likelihood for integrated model using all data	-184.2061	
	Comparison	26.77	
	Prob > $\chi^2$	26.77 > 25.00	
Goodness of Fit test	Number of observation	261	116
	covariate patterns	260	116
	Pearson $\chi^2$	255.48	119.53
	Prob > $\chi^2$	0.3420	0.1269

4) 주어진 표집이 가정된 어떤 전집분포와 일치하는지 검증하는 방법.  $D = -2(LL_{(N)} - LL_{(A)})$  N: null 모형, A: Alternative 모형

5) 본 연구에서는 두 모형의 Log likelihood의 비교를 통하여 모형의 통계적 차이가 있는지 검증하였다.

Comparison =  $-2(LL_{(T)} - LL_{(a)} - LL_{(b)})$  T: 전체 모형, A: 정상기후 모형, B: 이상기후 모형

지하도로 해야 하며, 이미 국외(미국 콜로라도)에서는 화물차 사고 예방을 위하여 차량 속도제어전략인 가변제한속도를 실시하고 있다. 본 시스템으로 인하여 화물차 교통량 증가에도 불구하고 화물차 사고는 감소한 사례가 있다. 따라서 운전자들의 제한속도 준수에 대한 인식을 더욱 고취시켜야 하며 상황에 맞는 속도관리전략의 적용 또한 고려할 필요성이 있다. 다른 대안으로는 화물차 전용 차로제의 시행을 통하여 동일 차로내 교통류의 동질성을 증대시켜 속도편차 감소를 유도하여 안전성을 제고하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다.

#### 4.2 열악한 기상조건에서 내리막 주행시

이상기후 모형에서 내리막 경사 변수가 심각도 증가요인으로 나타난 것은 이상기후 발생으로 노면상태가 악화된 상태에서 적절한 감속이 이루어지지 않을 경우 사고심각도가 증가하기 때문으로 판단된다. 관련 연구(Bowman et al., 1990)에서는 내리막 구간에서 발생하는 화물차 사고 발생확률은 타 지형에 비해 높게 나타나며 이의 직접적인 원인은 차량 제동문제라고 제시하고 있다. 이에 따라 기하구조가 내리막인 경우 운전자가 적절하게 감속할 수 있도록 속도관리전략, 속도감소 유도를 위한 노면표시 등을 적용할 필요성이 있으며, 이상기후 발생으로 인한 노면마찰력 저하를 예방하기 위하여 도로안전시설물의 추가적인 설치가 필요하다.

#### 4.3 교량, 터널 등 구조물 구간 주행시

교량 및 터널 등의 구조물 구간에서 사고발생시 본선 일반구간보다 심각한 사고 발생확률이 매우 높게 나타났는데, 이는 일반구간과 비교시 이상기후 조건에서 사고율과 사고심각도가 높게 나타난다는 기존 연구결과(강남원, 2009)와 같은 결과가 도출되었다. 또한 관련 연구(Ma et al., 2009)에서는 교량과 터널의 경우 일반구간과 비교할 때 상대적으로 구조물, 조명, 강풍 등으로 인한 시계제약이 발생하며, 특히 터널의 경우 2차사고의 위험 및 폐쇄된 공간으로 인한 열과 연기의 분산을 방해해 화재발생시 매우 위험하다고 제시하고 있다. 그러므로 운전자에게 교량 및 터널에서 안전한 속도로 통과할 수 있도록 사전에 경고정보 제공하는 방안이 필요하다.

#### 4.4 속도 및 속도분산 높은 교통조건

속도 및 속도의 변동계수는 기상상태가 악화될 경우 사고 심각도와 밀접한 관련이 있음을 다시 한 번 확인하였다. 특히, 이상기후시 차량의 과속 또는 차량간 속도분산이 클 경우 심각한 사고발생의 가능성이 높아지므로 이상기후시 교통안전 증진을 위한 효과적인 속도관리 전략이 필요하다. 이상기후로 인한 시인성 및 노면상태가 급격히 저하되는 위험구간(내리막, 교량, 터널)에는 차량들의 평균 속도를 안전속도로 유지하고 차량간 속도분산을 감소시키기 위한 강력한 속도단속대책이 필요하다.

### 5. 결론

고속도로 안전성 향상을 위한 공학적 분석시 사고발생 또는 사고심각도 증가에 영향을 미치는 도로·교통관련 요소들을 이해하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 다양한 교통사고 중에서도 차량 충돌시 치사율이 높게 나타나는 화물차사고에 집중하여, 화물차 사고 발생시 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 도로·교통요인을 기상별로 도출하여 비교분석하였다. 2008~2010년 사고자료, 교통특성자료, 기상자료를 수집 및 분석하여 통합 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 활용하여 이항 로지스틱 회귀모형을 기상별로 구축하여 화물차 사고에 영향을 미치는 교통상황 및 도로조건을 분석하였다. 분석결과를 통하여 얻은 고속도로 화물차 관련 사고심각도 저감을 위한 대책을 제시하였다.

본 연구에서는 화물차관련 교통안전 분석의 유용한 결과를 제시하였지만, 보다 활용도 높은 결과를 제시하기 위한 향후 연구가 수행되어야 한다. 모형 내 변수 중 회귀계수 추정값 부호가 분석자의 예상과 반대로 도출된 결과에 대해서는 데이터 특성을 고려한 결과해석을 위해 노력하였으나, 보다 신뢰성 높은 결과를 얻기 위해서는 데이터 한계를 보완한 추가적인 분석이 수행되어야 한다. 보다 미시적인 집계간격의 데이터 사용, 사고케이스의 확충 등을 고려할 수 있다. 또한, 본 연구에서 사고케이스 부족으로 고려하지 못한 안개, 강풍의 기상조건을 포함하여 본 연구의 한계를 보완해야 할 것이다. 이와 더불어 화물차 외의 타 차종, 계절 등의 환경적 요소를 고려한 심각도 분석 또한 추가적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 통계적 기법을 이용한 분석을 통하여 기상별 화물차 사고 영향 요인을 도출하고, 화물차 사고 심각도 감소를 위한 대안을 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 화물차의 교통안전 증진을 위한 교통류 관리전략 수립시 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029449)

### References

Kang, N. W. (2008). *Study on cause-analysis of the seohaean expressway traffic accident at each section*, MSc Thesis, Chonnam National University, Gwangju (in Korean).  
 Kim, S. Y., Chung, K. S. (2001). "Correlation in connection with freight vehicle accident on the expressway." *International Journal of Research Institute of Industrial Science and Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 63-72 (in Korean).



- Jung, S. M. (2007). *An analytical study of heavyweight trucks' traffic accidents and countermeasures : on the Gyeong-bu Expressway*, MSc Thesis, Inha University, Incheon (in Korean).
- Chae, B. S. (2006). "A study on measurement to prevent large vehicle accident." *Transportation Technology and Policy*, Vol. 3, No. 3, pp. 202-214 (in Korean).
- Bowman, B. L., Coleman, J. A. (1990). "Grade severity rating system." *ITE Journal*, Vol. 60, No. 7, pp.19-24.
- Cantor, D. E., Corsi, T. M., Grimm, C. M., Özpolat, K. (2010). "A driver focused truck crash prediction model." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 46, No. 5, pp. 683-692.
- Chang, L., Mannering, F. (1999). "Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck- and non-truck-involved accidents." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, pp.579-592.
- Chen, F., Chen, S. (2011). "Injury severities of truck drivers in single- and multi-vehicle accidents on rural highways." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, pp. 1677-1688.
- Duncan, C. S., Khattak, A. J., Council, F. M. (1998). "Applying the ordered probit model to injury severity in truck-passenger car rear-end collisions." *Transportation Research Record* 1635, pp. 63-71.
- El-Tantawy, S., Djavadian, S., Roorda, M. J., Abdulhai, B. (2009). *Safety evaluation of truck lane restriction strategies using microsimulation modeling*, Transportation Research Record 2099, pp. 123-131.
- Evans, L., Frick, M. C. (1993). *Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes*, Operating Sciences Department, General Motors Research Laboratories, Warren, MI 48090, USA.
- Fontaine, D. M., Bhamidipati, C. S., Dougald, L. E. (2009). *Safety impact of truck lane restrictions on multilane freeways*, Transportation Research Record 2096, pp. 25-32.
- Fontaine, M. D. (2008). *Effect of truck lane restrictions on four-lane freeways in mountainous areas*, Transportation Research Record 2078, Washington, D.C., pp. 135-142.
- Gander, P. H., Marshall, N. S., James, I., Quesne, L. L. (2006). "Investigating driver fatigue in truck crashes: Trial of a Systematic Methodology." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 9, No. 1, pp. 65-76.
- Korkut, M., Ishak, S., Wolshon, B. (2010). *Freeway truck lane restriction and differential speed Limits: Crash Analysis and Traffic Characteristics*, Transportation Research Record 2194, pp. 11-20.
- Golob, T., Recker, W., Leonard, L. D. (1987). "An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 19, No. 5, pp. 375-395.
- Hallmark, S. L., Hsu, Y. Y., Maze, T., McDonald, T., Fitzsimmons, E. (2009). *Investigating factors contributing to large truck lane departure crashes using the federal motor carrier safety administration's Large Truck Crash Causation Study (LTCCS) database*, Final report, USDOT Vople National Transportation Systems Center, U.S. Massachusetts.
- Häkkinen, H., Summala, H. (2001). "Fatal traffic accidents among trailer truck drivers and accident causes as viewed by other truck drivers." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 33, No. 2, pp. 187-196.
- Key, K., Simmonds, I. (2005). "The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, No. 1, pp. 109-124.
- Khattak, A. J., Schneider, R. J., Targa, F. (2003). *Risk factors in large truck rollovers and injury severity: analysis of single-vehicle collisions*, Transportation Research Board 82nd Annual Meeting, at Washington, D.C.
- Khorashadi, A., Niemeier, D., Shankar, V., Mannering, F. (2005). "Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: An Exploratory Analysis." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, No. 5, pp. 910-921.
- Knapp, K. K., Smithson, L. D. (2000). *Winter storm event volume impact analysis using multiple-source archived monitoring data*, Transportation Research Record 1700, pp. 10-16.
- Lemp, J. D., Kockelmanb, K. M., Unnikrishnanc, A. (2011). "Analysis of large truck crash severity using heteroskedastic ordered probit models." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, No. 1, pp. 370-380.
- Ma, Z., Shao, C., Zhang, S. (2009). "Characteristics of traffic accidents in chinese freeway tunnels." *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 24, No. 3, pp. 350-355.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2007). *Truck driver occupational safety and health. 2003 conference report and selective literature review, 2007-120*, Centers for Disease Control and Prevention, Department of Health and Human Services, U.S. Washington D.C.
- Shi, L., Cheng, Y., Jin, J., Ran, B., Chen, X. (2011). *Effects of rainfall and environmental factors on traffic flow characteristics on urban freeway*, Transportation Research Board 90th Annual Meeting, at Washington, D.C.
- Ulfarsson, G., Mannering, F. (2004). "Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 36, pp. 135-147.
- U.S. Department of Transportation. (USDOT) (2006). *Report to congress on the large truck crash causation study*, Report MC-R/MC-RRA, Federal Motor Carrier Safety Administration and National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
- Young, R. K., Liesman, J. (2007). "Estimating the relationship between measured wind speed and overturning truck crashes using a binary logit model." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, No. 3, pp. 574-580.
- Zhu, X., Srinivasan, S. (2011). "A comprehensive analysis of factors influencing the injury severity of large-truck crashes." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, pp. 49-57.
- Zhu, X., Srinivasan, S. (2011). "Modeling occupant-level injury severity: An application to large-truck crashes." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, No. 4, pp. 1427-1437.