

확률회귀모형을 이용한 고속도로의 사고요인 분석

이 기 영 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

이 용 택 한국교통시스템연구원 첨단도로교통연구실장

요약

본 연구는 사고요인과 사고모형의 문헌고찰을 통해 고속도로를 주행하는 버스와 화물차의 사고모형을 개발하고 그 적용방안에 대해 고찰하고자 수행되었다. 고속도로 사고 중 대형차로 인한 차량당 사고율은 승용차보다 월등히 높아 사고의 심각성을 나타내고 있으며, 따라서 이에 대한 별도의 검토가 필요한 시점에 와 있다.

특히 본 연구에 활용된 자료는 비집계된 사상자수로 구간자료를 집합화함으로써 발생하는 문제점을 해소할 수 있다. 모형의 분석기법으로 국내의 경우, 대부분 단순회귀식으로 사고모형을 개발, 적용하여 왔으나 사고수와 사상자수의 특성상 이산적 확률변수로 해석하여 포아송분포와 음이항분포로 적용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 버스와 화물차의 사고유형별로 적합한 사고모형을 개발하여 이로 인한 인사사고 요인에 대한 영향을 분석하고 그 적용방안을 제시하였다.

이러한 연구는 도로설계, 운영, 교통법규, 교통행정 등의 분야에서 거시적인 정책적 방향성을 제시하리라 판단된다. 특히 본 연구는 고속도로 운영주체인 한국도로공사의 고속도로사고조서를 바탕으로 사고유형별 사고모형을 개발, 적용한 것으로 고속도로의 안정성 향상을 위한 제반 정책 수립에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

1. 서론

1) 연구의 배경 및 목적

고속도로사고는 1991년 이후 매년 10.4% 증가추세를 보였으나, 1997년을 정점으로 감소되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 2001년 한해에도 사망 456명, 부상 2,331명의 인적피해를 입고 있어 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 특히 고속도로 사고는 타 도로에 비해 사고의 치명도가 매우 높게 나타나고 있는 실정이다.

차종별 교통사고현황을 살펴보면, 2001년 기준으로 승용차, 버스, 화물, 기타차량 순으로 각각 48.5%, 7.5%, 43.2%, 0.8%의 대인, 대물사고를 나타내고 있다. 그러나 버스와 화물차 이용비중이 승용차의 10% 수준임을 감안할 때, 사고비중은 매우 높은 편이며 특히 버스는 대중교통 수단임으로 상대적으로 매우 높은 인적피해사고를 발생시킬 가능성이 매우 높다. 따라서 화물차나 버스의 경우 승용차에 비해 운전자가 상당기간 이용패턴이 고정되어 있다는 장점을 살려서 교통안전에 관련된 항목들을 집중적으로 관리한다면, 교통사고 및 인적피해를 크게 줄일 수 것으로 판단된다.

고속도로사고에 영향을 미치는 일반적인 인자를 살펴보면, 크게 운전자, 자동차, 도로로 분류할 수 있다. 이때 운전자관련인자는 연령, 성별, 운전경력, 수입, 학력 등이, 자동차관련인자는 차종, 안전장치(ABS등) 등이, 도로관련인자는 구배, 곡선반경, 차선평, 중앙분리대유형 등이

있다. 앞에서 언급한 사고관련인자들을 합리적으로 관리하기 위해서는 사고모형의 개발이 필수적이다. 즉 버스와 화물차의 사고모형을 통해 고속도로상의 사고발생인자의 특성을 파악하고 분석하여 도로설계, 운영, 교통단속 등에 활용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 한국도로공사의 고속도로사고조서를 바탕으로 대형차의 사고유형별 사고모형을 개발함으로써 고속버스의 안정성 향상을 위한 합리적 정책 수립을 위한 기초 연구를 수행하고자 한다.

2) 연구의 범위 및 수행방법

(1) 연구의 범위

연구의 내용적 범위는 고속도로상에 발생하는 버스와 화물차사고의 영향을 분석하며, 시간적 범위는 1998년 한해의 교통사고자료를, 공간적 범위로 98년 현재 운영 중인 우리나라 전역의 고속도로를 대상으로 분석하였다.

(2) 연구의 수행방법

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법을 이용하여 수행되었다.

(1단계) 기존의 문헌자료를 고찰하여 교통사고요인과 분석기법을 고찰한다.

(2단계) '한국도로공사 고속도로사고조서'(1998)상의 차량, 운전자, 도로자료를 분류하여 분석목적에 맞게 정리한다.

(3단계) 사상자수와 운전자요인, 도로요인 및 기타 요인을 설명할 수 있는 적합한

회귀모형을 개발한다.
 (4단계) 정립된 관계식을 이용하여 운전자, 도로요인과 사상자수와의 관계를 비교, 분석하고 정책적 시사점을 도출한다.

2. 기존연구 고찰

1) 사고모형의 이론적 고찰

사고모형은 유형별로 크게 단순선형회귀식, 포아송 회귀식, 음이항 회귀식으로 분리된다. 먼저 단순선형회귀식은 고속도로사고 발생에 영향을 미치는 인자들을 분석하는 가장 단순한 기법이며, 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i = ax_i + \varepsilon_i \quad (\text{식 1})$$

여기서, y_i : 구간 i 에서 사고건수, 사고율 또는 사상자수(종속변수)

x_i : 구간 i 에서 사고요인(독립변수)

ε_i : 구간 i 에서 정규분포 $\bar{N}(0, \sigma^2_u)$

그러나 이 방법은 변수값이 증가할수록 분산이 증가하여 선형회귀식의 일반 가정인 동분산성(Homoscedasticity) 가정에 위배된다. 이는 변수의 유의수준에 변화를 주어, 변수에 대한 통계적 유의성을 떨어뜨린다. 뿐만 아니라 사고수와 같은 양의 변수에 대해 음(Negativity)의 사고수를 예측한다는 문제점이 있다. 특히 일정기간 동안 사고가 발생하지 않았거나 낮은 사고건수에 대해서 음의 예측값을 나타낸다. 또한 음의

사고예측값에 대한 문제를 해결하기 위해 0의 사고를 제거하고 분석하는 기법(Left-Truncating the Accident Frequency at Zero)을 사용할 수 있으나, 표본수가 줄어들 뿐만 아니라, 모형의 개념이 타 모형에 비해 열악하다.

이러한 문제점으로 인해, Jovanis와 Chang(1986), Joshua와 Garber(1990) 등은 사고수를 이산적 확률변수(Discrete Random Variable)로 해석하는 포아송회귀식(Poisson Regression)을 도입하였으며, 이는 개념적으로 선형회귀식에 비해 합리적인 모형이다. 포아송 회귀식의 일반식을 서술하면 식 2와 같다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (\text{식 2})$$

여기서, $P(n_i)$: 사고 n 이 고속도로 지점 i 에서 사상자가 발생할 확률

λ_i : 평균사상자수

$$\lambda_i = \exp(X_i) \quad (\text{식 3})$$

여기서, X_i : 사고수를 결정하는 고속도로지점 i 의 운전자, 도로환경 등의 속성

β : 추정된 계수

λ_i 형태의 β 계수를 추정하기 위해서는 표준 최우추정법(Standard Maximum Likelihood Method)을 사용하는데 이때 우도함수(L(β))는 식 4와 같다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{n_i}}{n_i!} \quad (\text{식 4})$$

그러나 이러한 포아송모형은 분산과 평균이 같다는 기본 전제조건을 만족하여야하나, 실 사고수의 경우 분산이 평균보다 큰 과분산(Overdispersion)문제가 발생하게된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 Miaou와 Lum(1993) 등은 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항회귀식(Negative Binomial Regression)을 사용하는 것이 바람직하다고 보고하고있다. 음이항분포는 사고수(λ)항에 오차항(ε_i)이 포함되며 이는 식 5와 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (\text{식 5})$$

여기서, $\exp(\varepsilon_i)$: 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

이를 조건부확률로 나타내면 다음과 같다.

$$P(n_i | \varepsilon) = \exp[-\lambda_i \exp(\varepsilon_i)] [\lambda_i \exp(\varepsilon_i)]^{n_i} \quad (\text{식 6})$$

식 6으로부터 ε 을 합하면 n_i 의 비조건분포를 산출한다.

$$P(n_i | \varepsilon) = \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{[\Gamma(\theta) \cdot n_i!]} \cdot U_i^\theta (1 - u_i)^{n_i} \quad (\text{식 7})$$

여기서, $u_i = \theta / (\theta + \lambda_i)$, $\theta = \frac{1}{\alpha}$

이때 우도함수는 식 8과 같으며, 이를 최대화하는 α, β 를 산출한다.

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\Gamma(\theta + n_i)}{[\Gamma(\theta) \cdot n_i!]} \left[\frac{\theta}{\theta + \lambda_i} \right]^\theta \left[\frac{\lambda_i}{\theta} + \lambda_i \right]^\theta \quad (\text{식 8})$$

여기서, N : 고속도로상 사고지점의 총수

이 두 모형의 사용을 판별하기 위해서는 식 9가 사용되며, α 가 0에 가까우면, 포아송회귀식이 적합하며, 0에 가깝지 않으면 음이항회귀식을 사용하는 것이 바람직하다.

$$Var[n_i] = E[n_i][1 + \alpha E[n_i]] \quad (\text{식 9})$$

2. 국내외 개발현황

(1) 국외사례

Jovanis와 Chang(1986)은 미국 인디애나주의 유료도로에 대해 차량간의 추돌유형별로 통행시간과 사고수와의 관계를 설명하는 사고모형을 개발하였다. 본 연구는 선형회귀방식의 문제점을 지적하면서 포아송회귀모형을 개발하도록 권고하고 있다. 모형분석 결과 트럭과 승용차의 통행거리가 증가할수록 사고수가 증가하며, 승용차의 사고수가 트럭의 사고수에 비해 우천시 상황에 큰 영향을 받는 것으로 보고하고 있다.

Zeeger(1988)는 미국의 7개주 5,000마일에 이르는 2차선도로에 대한 자료를 기초로 사고유형별 사고율(단독차량사고, 전복사고)을 종속변수로 도로종단선형, 일평균교통량, 차선폭, 전체노면폭을 독립변수로 하는 사고모형을 개발하였다. 모형분석 결과, 종단선형이 완만할수록 사고율이 줄어들 뿐만 아니라, 일평균교통량(ADT)이 적을수록, 차선폭, 전체노면폭이 넓을수록 사고

수가 적었다. 또한 도로변의 가드레일이나 표지판보다 나무와의 충돌사고가 더 많은 것으로 분석되었고, 중상 및 사망사고의 경우, 방호벽이나 펜스보다 나무, 가로등, 암거 등에 의한 사고율이 높은 것으로 보고하고 있다.

Miau(1992)는 미국 북부 캐롤라이나의 고속도로에 대해 기하구조와 트럭사고사이의 관계를 설명하기 위해 차선당 연평균일교통량(AADT), 종단곡선, 종단구배와 트럭사고수와의 관계를 포아송분포를 사용하여 모형을 개발하였다. 모형분석 결과 교통량, 종단구배가 증가하고, 종단곡선이 작을수록 사고수가 증가한다고 보고하고 있다.

Mohammed A. Hadi와 Jacob Aruldas 등(1998)은 미국 플로리다주를 대상으로 도로등급별로 사고모형을 개발하였다. 모형에 사용한 독립변수로는 균일한 도로구간길이, AADT, 차선폭, 길어깨폭, 중앙분리대 유형과 폭, 곡선부의 유무, 속도제한, 교차로수, 구배 등이며, 종속변수로는 4년간 발생한 사고발생건수를 백만차량-킬로당 사고건수(C/MVKM)로 사용하였다. 모형분석 결과, 차선폭, 중앙분리대 유형 및 폭, 길어깨폭을 늘림으로써 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 4차선도로에서 중앙분리대의 폭을 높이는 것이 안전도를 향상시키며, 양방도로, 좌회전차선분리대가 있는 도로가 비분리도로보다 안전하다고 보고하고 있다.

John Milton과 Fred Mannering(1998)은 워싱턴주 주요간선도로부의 1992~1993년도 31,306건의 사고자료를 활용하여, 본선거리, 구배, 연평균일교통량, 차선수, 길어깨, 종단구배,

횡단구배와 사고건수와의 관계를 음이항회귀식을 사용하여 모형을 개발하였다. 모형분석 결과, 도로구간길이가 0.4km 증가할 때마다 0.319씩 사고수가 증가하며, 종단구배가 1% 보다 크고 차선당 연평균일교통량이 증가하면 사고수가 증가하였다. 피크시간이 길수록 사고수가 줄어드는데 이는 차량이 몇 시간에 집중화됨으로 나머지 평균적인 AADT는 낮아지게 되기 때문이다. 차선수가 많을수록, 차선폭이 좁을수록 사고수가 감소하였다. 또한 길어깨가 1.5m보다 작으면 사고가 증가하였는데, 이는 차량이 미끄러지거나 줄음 운전으로 잠시 정상운행에서 이탈했을 때, 공간부족으로 원상복구가 힘들기 때문으로 분석되었다. 종단 곡선의 반경이 증가하고 종단 곡선의 중앙값이 작을수록 사고수는 감소하였으며, 이것은 작은 곡선반경은 급격한 종단곡선을 만들고 운전상 장애를 유발하는 것으로 분석되었다.

Mohammad M. Hamed와 A.S. Jaradat 등(1998)은 요르단의 미니버스의 운영정책개선을 위하여 사고모형을 개발하였다. 이를 위해 438명의 미니버스 운전자들에게 인터뷰를 통해 자료를 수집, 포아송회귀식을 이용하여 모형을 개발하였다. 본 모형의 독립변수로는 운전자의 운전경력, 결혼여부, 나이, 월수입, 자가미니버스 소유여부, 가구 인원, 정규적 휴식 유무, 운전면허 유형, 노동시간, 운전면허취득 후 사고수, 교통사고간의 시간차, 사고유형, 교통사고발생시간, 교통사고원인, 포장상태, 버스노선위치, 버스 수익을 사용하였으며, 종속변수로는 사고건수와 사상자수를 사용하였다. 모형의 분석 결과,

미혼자가, 이전사고와의 간격이 짧을수록 사고율이 높으며, 운전경력이 길고 면허취득 후 사고 발생까지의 기간이 길수록 사고율이 적은 것으로 보고하고 있다.

(2) 국내 사례

도로의 기하구조요인을 중심으로 교통사고에 미치는 영향을 분석한 논문은 국내에서도 다수 발표되었으나 사람과 차종별 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 이에 대한 연구를 살펴보면, 먼저 한국건설기술연구원(1990)은 지방국도의 교통사고다발지점의 기하구조개선으로 인한 편익을 추정하기 위해, 선형과 구배에 따른 사고율과의 관계를 선형회귀식을 이용하여 개발하였다. 분석 결과, 선형은 곡선반경이 300m이상일 경우, 사고율이 급격히 증가하였으나, 구배의 경우 유의한 통계치를 얻지 못했다.

강정규(1995)는 고속도로를 대상으로 선형, 구배에 따른 백만차량-km(MVK)당 사고율을 단순선형회귀식으로 개발하였다. 모형분석 결과, 교통량과 구배가 클수록 사고가 증가하며, 구배가 6%이상일때 사고가 급격히 증가하는 것으로 보고하고 있다.

김태원(1996)은 경부고속도로 93년, 94년 사고자료를 근거로 차선수, 차선당 AADT, 선형, 구배, 유출입부, 기본구간에 따른 사고의 영향을 일반선형회귀식과 포아송회귀식으로 개발하였다. 분석 결과, 경부고속도로의 경우 차선수가 많을수록 사고가 감소하며, 곡선반경 1,000m 이하와 종단구배 3%이상인 지점부터 사고가 급격히 증가가 한다고 보고하고 있다.

3. 모델 개발

1) 분석 방법

1998년 한국도로공사 사고조서를 기초로 사고에 영향을 미치는 기하구조, 운전자, 기타 환경요인을 <표 1>과 같이 정리하였다. 해당 설명변수의 운전자요인은 나이, 운전경력, 기하구조 및 환경요인은 노면상태, 날씨, 사고시간대, 종단구배, 평면선형, 통행제한상태, 작업구간포장, 기타요인은 사고유형과 관련 차량수로 구분하였다.

본 연구는 종속변수로 지점의 사상자수를 비집계한 개별자료를 활용하였다. 이는 기존의 연구에서 구간의 사고건수를 사용함으로써 발생하던 속성의 집합화 문제점을 해소할 수 있으며, 이로 인해 변수간의 변동을 민감하게 고려할 수 있다.

2) 버스관련 모델 구축

(1) 분석 결과

본 분석에서는 버스 및 화물차 사고로 인한 사망자, 중상, 경상 및 종합(Pooling)한 사상자수를 종속변수로 <표 1>에 제시된 변수를 독립변수로 하여 모형을 개발하였다. 모형 개발시, 상용프로그램인 LimDep 7.0v을 활용하였다.

사고모형은 <표 2>와 같이 도출되었으며, 모형의 적합도를 검증하기 위해 부호의 적합성, t-통계값, χ^2 -통계값, α 값을 분석하였다. 그 결과 Pooling자료와 경상자료의 경우, 음이항회귀식

<표 1> 사고모형의 독립변수

구분	변수	처리 방법	비고	
인적 (운전자)요인	차종구분	1) 소형 2) 버스류 3) 화물차량 4) 특수, 긴급차량		
	나이(β_1)	연속 변수	-M.M.Hamed와 A.S.Jaradat(1998)의 연구결과 ; 예상부호(-)	
	운전경력(β_2)	1) 10년미만 : 0 2) 10년 이상 : 1	-M.M.Hamed와 A.S.Jaradat(1998)의 연구결과 ; 예상부호(+)	
	자가차량여부 (β_3)	1) 직업운전 : 1 2) 자가운전 : 0	-자가버스와 영업버스가 인사사고에 미치는 영향 분석	
기하구조 및 환경요인	노면건조여부 (β_4)	1) 건조 : 0 2) 안건조 : 1(습윤, 결빙 등)	-Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과 ; 예상부호(+)	
	날씨여부 (β_5)	1) 맑음 : 0 2) 안그러면 : 1	-Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과 ; 예상부호(+)	
	사고시간대 (β_6)	1) 낮(7:00-19:00) : 0 2) 밤(19:00-7:00) : 1	-주간운전과 야간운전에 인사사고에 미치는 영향 분석	
	종단구배별(β_7)	1) $\pm 5\%$ 미만 : 0 2) $\pm 5\%$ 이상 : 1	-강정규(1995), Zeeger(1988), Miao(1992) J.milton과 F. Mannering(1998)의 연구결과 ; 예상부호(+)	
	평면선형(β_8)	1) 500m 미만 : 0 2) 500m 이상 : 0	-강정규(1995), 한국건설기술연구원(1990), Miao(1992), J. milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과 ; 예상부호(-)	
	통행제한 상태여부(β_9)	1) 제한시 : 1 2) 비제한시 : 0	-J. milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과 ; 예상부호(-)	
	작업(확장) 구간(β_{10})	1) 제한시 : 1 2) 비제한시 : 0	-공사구간이 인사사고에 미치는 영향분석	
	포장종류(β_{11})	1) 아스팔트 : 1 2) 콘크리트 : 0	-포장종류가 인사사고에 미치는 영향분석	
	기타	사고형태(β_{12})	1) 차-시설일때 : 0 2) 아닐 때 : 1	-안전시설물이 인사사고에 미치는 영향분석
		관련차량수(β_{13})	1) 관련차량수를 변수로 채택	-사고 1건당 관련차량의 수가 인사사고에 미치는 영향분석

주 : ()는 독립변수의 계수

이 중상과 사망의 경우, 포아송회귀식이 적합한 것으로 판단된다. 이는 경상과 Pooling자료의

사상자수가 타 사고에 비해 분산의 정도가 큼을 의미한다.

<표 2> 버스의 사고유형별 사고모형

사고유형 모형종류	경 상				중 상			
	포아송회귀식		음이항회귀식*		포아송회귀식*		음이항회귀식	
	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
β_0	0.3452	0.819	0.4319	0.398	1.6764	1.598	1.6548	0.982
β_1	-0.0052	-1.635	-0.0047	-1.579	-0.0119	-0.927	-0.0119	-0.896
β_2	0.1449	1.165	0.1073	0.414	-0.4017	-1.234	0.3896	0.575
β_3	-0.2661	-2.064	-0.2786	-1.007	-0.3050	-0.960	-0.2934	-0.454
β_4	0.0771	0.479	0.0310	0.086	0.0031	0.019	0.0142	0.018
β_5	0.0762	0.557	0.0854	0.475	0.5290	1.684	0.5209	0.802
β_6	0.3690	2.804	0.3018	1.645	-0.6155	-2.102	-0.6110	-0.837
β_7	0.6274	4.556	0.7648	2.306	0.3115	0.770	0.3041	0.672
β_8	-0.6473	-2.476	-0.5301	-0.798	-0.3869	-1.009	-0.3944	-0.385
β_9	0.0671	0.516	0.0610	0.223	-0.1517	-0.448	-0.1566	-0.196
β_{10}	0.0569	0.054	0.0335	0.020	-0.6537	-1.016	-0.6438	-0.110
β_{11}	-0.0820	-0.705	-0.0391	-0.160	-0.0943	-0.316	-0.0749	-0.158
β_{12}	0.3711	2.661	0.4892	1.299	0.0680	0.229	0.0733	0.110
β_{13}	0.1074	2.492	0.1130	0.884	0.0274	0.245	0.0246	0.117
α	-	-	0.6701	3.417	-	-	0.0638	0.398
통계치	관측치 = 109 Log-likelihood func. at Convergence = -352.1121 Log-likelihood func. at Zero = -384.3072 Global χ^2 = 64.39		관측치 = 109 Log-likelihood func. at Convergence = -247.8268 Log-likelihood func. at Zero = -352.1121 Global χ^2 = 106.57		관측치 = 48 Log-likelihood func. at Convergence = -74.639 Log-likelihood func. at Zero = -81.671 Global χ^2 = 14.06		관측치 = 48 Log-likelihood func. at Convergence = -74.29 Log-likelihood func. at Zero = -74.63 Global χ^2 = 0.698	

사고유형 모형종류	사 망				Pooling 자료			
	포아송회귀식*		음이항회귀식		포아송회귀식		음이항회귀식*	
	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값	계수	t-값
β_0	3.1335	2.350	2.9954	1.098	1.8008	5.252	1.7920	2.261
β_1	-0.0489	-1.935	-0.0462	-0.918	-0.0133	-1.984	-0.0168	-0.991
β_2	-0.2543	-0.655	-0.3578	-0.755	-0.0374	-0.377	-0.0336	-0.176
β_3	-0.0793	-0.204	-0.0777	-0.117	-0.7092	-6.557	-0.6585	-2.681
β_4	0.6542	1.195	0.5920	0.473	0.0699	0.524	0.0251	0.188
β_5	0.6957	1.890	0.6388	0.645	0.2487	2.201	0.2158	0.984
β_6	-0.5630	-1.644	-0.5450	-0.718	0.0153	0.141	0.0444	0.241
β_7	0.7162	1.246	0.6997	0.668	0.6874	5.771	0.6724	2.917
β_8	-0.8066	-1.545	-0.7704	-0.646	-0.6523	-3.664	-0.5286	-1.201
β_9	-0.2683	-0.631	-0.2520	-0.305	-0.1373	-1.230	-0.03091	-0.143
β_{10}	-1.0137	-0.861	-1.0072	-0.009	0.0525	0.114	0.0057	0.100
β_{11}	-0.1690	-0.347	-0.1734	-0.179	-0.0984	-1.012	-0.0901	-0.524
β_{12}	0.2700	0.687	0.2530	0.345	0.3988	3.640	0.4499	1.652
β_{13}	0.0008	0.004	0.0122	0.030	0.0692	1.913	0.1059	1.855
α	-	-	0.0331	0.079	-	-	0.6564	4.026
통계치	관측치 = 32 Log-likelihood func. at Convergence = -45.89 Log-likelihood func. at Zero = -56.63 Global χ^2 = 21.49		관측치 = 32 Log-likelihood func. at Convergence = -45.88 Log-likelihood func. at Zero = -45.89 Global χ^2 = 0.724		관측치 = 149 Log-likelihood func. at Convergence = -493.5745 Log-likelihood func. at Zero = -555.8366 Global χ^2 = 124.52		관측치 = 149 Log-likelihood func. at Convergence = -336.5579 Log-likelihood func. at Zero = -493.5745 Global χ^2 = 214.03	

주) : β_0 : 상수항
 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \beta_{13}$: 독립변수의 계수
 α : 과분산계수
* : 자료 특성에 적합한 모형

(2) 모델의 해석

① 인적 요인

운전자나이의 계수 β_1 은 모두 음수로 M.M. Hamed와 A.S. Jaradat(1998)의 연구 결과와 일치하고 있다. 이는 운전자의 나이가 많을수록 인사사고 발생확률이 작아짐을 나타내고 있다. 또한 운전 경력의 계수 β_2 는 모두 음수로 M.M. Hamed와 A.S. Jaradat(1998)의 연구 결과와 일치하고 있다. 운전자의 운전경력이 많을수록 인사사고 발생확률이 줄어든다. 특히 운전 경력이 많을수록 경상사고에 비해 중상과 사망사고율이 급격히 줄어드는 것으로 분석되었다. 자가차량여부를 나타내는 계수 β_3 는 전반적으로 양수로 운수회사에 고용되어 고정 노선을 운행하는 운전자가 자가소유의 관광, 통근버스운전자에 비해 인사사고를 발생할 확률이 작은 것으로 분석되었다. 따라서 자가버스의 운전자의 안전 교육을 보다 체계적으로 유도하는 동시에 자가버스에 대한 정기점검 등 안전법규와 행정을 강화할 필요가 있다.

② 도로 요인

노면건조여부를 나타내는 계수 β_4 는 모두 양수로 Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과와 일치하고 있다. 이는 노면이 습윤하고 결빙되어 있는 경우 인사사고가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 특히 사고유형별로 사망사고와 같은 대형사고에 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 따라서 도로운영자는 우천시 도로의 노면관리와 함께, 운전자에게 우천시 도로의 위험요소에 대한 주

의정보를 가변정보표지판과 표지판 등을 통해 주시시켜야 한다.

날씨를 나타내는 계수 β_5 는 모두 양수로 Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과와 일치하고 있다. 이는 날씨가 흐릴 때 사고가 많이 발생하며, 특히 중상과 사망사고에 대해 큰 영향을 주는 것으로 분석된다. 사고시간대를 나타내는 계수 β_6 은 전반적으로 음수이므로 이는 밤일 경우 사고가 감소하는 것을 나타낸다. 이는 야간버스 운행은 주로 운수회사가 고정적으로 운행하는 버스가 대다수로 해당노선에 대한 정확한 도로 정보를 운전자가 가지고 있고 상대적으로 교통량이 낮시간대에 비해 적기 때문으로 판단된다.

중단구배를 나타내는 계수 β_7 은 모두 양수로 강정규(1995), Zeeger(1988), Miao(1992) J.milton과 F. Mannering(1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 중단구배가 클수록 인사사고가 증가하는 것을 의미한다. 평면선형 계수 β_8 은 모두 음수로 강정규(1995), 한국건설기술연구원(1990), Miao(1992), J. milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 곡선반경이 커짐에 따라 인사사고가 감소하는 것을 의미한다. 특히 곡선반경은 타 사고유형에 비해 사망사고에 큰 영향을 주는 인자로 해당구간의 제한속도를 엄수하도록 단속과 교육을 강화해야한다. 통행제한상태를 나타내는 계수 β_9 는 모두 음수로 J. milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 통행을 일부 제한할 때 인사사고가 감소하는 것을 의미한다. 사고유형별로 살펴보면, 경상사고수의 경우 차량통행제한시 사고의 증가를 보이고 있으나

중상, 사망사고의 경우 사고가 감소하는 것으로 분석된다. 이는 본선구간 차선을 통제함으로 차량속도가 줄어들어 접촉사고 등은 증가하나 전복 등 치명적인 인사사고는 피할 수 있는 것으로 판단된다. 공사구간의 여부에 대한 계수 β_{10} 은 전반적으로 양수로 공사구간이 있을 경우 인사사고가 증가하고 있다. 사고유형별로 살펴보면, 경상사고는 공사구간이 있을 경우 증가하는 반면 중상사고와 사망사고는 줄어드는 것으로 분석되는데 이는 감속의 효과로 판단된다. 포장 유형을 나타내는 계수 β_{11} 은 모두 음수로 이는 아스팔트의 경우 인사사고의 유형에 관계없이 사고수가 감소하는 것으로 분석된다.

③ 기타 요인

사고유형을 나타내는 계수 β_{12} 는 모두 양수로 이는 차가 도로시설물에 충돌했을 때 보다 차량간의 충돌시 인사사고가 많이 발생한다는 것을 의미한다. 따라서 차량간의 직접적인 상충을 줄이는 선형과 도로안전시설물을 확대 설치하는 것이 필요하다. 관련차량수를 나타내는 계수 β_{13} 은 모두 양수로, 이는 사고 1건당 관련차량이 많을수록 사상자가 증가함을 나타내고 있다. 따라서 차량간의 안전거리확보 등을 통하여 연쇄 사고의 위험을 줄이도록 해야한다.

3) 화물차관련 모델 구축

(1) 분석 결과

본 연구에서는 모형을 종속변수에 따라 개발

하였다. 모형 1은 화물차사고로 인한 사망자, 중상자를 종합(Pooling)한 사상자수를 사용하였으며, 모형 2는 사상자유형별로 치명도의 가중치를 사용하였다. 여기서는 사망의 경우 12, 중상의 경우 3을, 경상의 경우 1을 적용하였다.

사고모형은 <표 3>과 같이 도출되었으며, 모형의 적합도(Fitness)를 검증하기 위해 부호의 적합성, t-통계값, χ^2 -값을 분석하였다. 그 결과 모형 1, 2 모두 음이항회귀식이 적합한 것으로 분석되었다.

(2) 모델의 해석

① 인적 요인

운전자 나이의 계수 β_1 은 모두 음수로 M. M. Hamed와 A.S. Jaradat(1998)의 연구 결과와 일치하고 있다. 이는 운전자의 나이가 많을수록 인사사고 발생확률이 작아짐을 나타내고 있다. 또한 운전 경력의 계수 β_2 는 모두 음수로 M.M. Hamed와 A.S. Jaradat(1998)의 연구결과와 일치하고 있다. 운전자의 운전경력이 많을수록 인사사고 발생확률이 줄어든다.

자가차량여부를 나타내는 계수 β_3 은 모두 음수로 운수회사에 고용되어 비교적 고정 노선을 운행하는 운전자가 자가소유의 트럭운전자에 비해 인사사고를 발생할 확률이 작은 것으로 분석되었다. 따라서 자가트럭 운전자의 안전 교육을 보다 체계적으로 유도하는 동시에 자가트럭에 대한 정기 점검 등 안전법규와 행정을 강화할 필요가 있다.

< 표 3 > 화물차의 사고유형별 사고모형

유형	Model 1		Model 2	
모형종류	음이항회귀식		음이항회귀식	
	계수	t-값	계수	t-값
β_0	1,122	4,123	1,453	8,070
β_1	-0.006	-1,036	-0.004	-1,066
β_2	-0.228	-1,332	-0.013	-1,375
β_3	-0.130	-1,185	-0.008	-1,113
β_4	0.298	2,255	0.040	0,422
β_5	0.068	1,527	0.124	1,529
β_6	-0.287	-2,520	0.192	2,646
β_7	0.267	2,473	0.114	1,141
β_8	-0.154	-1,242	-0.031	-0,837
β_9	-0.096	-0,806	-0.073	-0,930
β_{10}	-0.003	-0,592	-0.116	-0,558
β_{11}	-0.208	-1,019	-0.076	-1,107
β_{12}	0.166	1,636	0.439	5,741
β_{13}	0.105	2,543	0.071	2,273
통계치	관측치 = 354 Log-likelihood func at Convergence = -625.33 Log-likelihood func at Zero = -660.50		관측치 = 709 Log-likelihood func at Convergence = -1960.53 Log-likelihood func at Zero = -3204.63	

주) β_0 : 상수항, $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5 \beta_6 \beta_7 \beta_8 \beta_9 \beta_{10} \beta_{11} \beta_{12} \beta_{13}$: 독립변수의 계수

② 도로 요인

노면건조여부를 나타내는 계수 β_4 는 모두 양수로 Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과와 일치하고 있다. 이는 노면이 습윤하고 결빙되어 있는 경우 인사사고가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 특히 사고유형별로 사망사고와 같은 대형사고에 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 따라서 도로운영자는 우천시 도로의 노면관리와 함께,

운전자에게 우천시 도로의 위험요소에 대한 주의정보를 가변정보 표지판과 표지판 등을 통해 주지시켜야한다.

날씨를 나타내는 계수 β_5 는 모두 양수로 Jovanis와 Jang(1986)의 연구결과와 일치하고 있다. 이는 날씨가 흐릴 때 사고가 많이 발생하며, 특히 중상과 사망자수보다 사고의 치명도에 대해 큰 영향을 주는 것으로 분석된다. 사고시간대를 나타내는 계수 β_6 은 음수와 양수 부호가 동

시에 나타나고 있다. 먼저 밤일 경우 중상과 사망사고로 인한 사상자수는 감소하나 사고의 치명도는 증가하는 것을 나타내고 있다. 먼저 모형 1을 살펴보면, 야간트럭운행은 주로 운수회사가 고정적으로 운행하는 트럭이 대다수로 해당 노선에 대한 정확한 도로정보를 운전자가 가지고 있으며, 상대적으로 교통량이 낮시간대에 비해 적기 때문에 사고수가 전체적으로 줄어드는 것으로 판단된다. 또한 모형 2를 살펴보면, 야간트럭사고는 일단 발발하면, 매우 치명적인 대형사고로 이어진다고 해석할 수 있다.

중단구배를 나타내는 계수 β_7 은 모두 양수로 강정규(1995), Zeeger(1988), Miao(1992) J. Milton과 F. Mannering(1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 중단구배가 클수록 인사사고가 증가하는 것을 의미한다. 평면선형 계수 β_8 은 모두 음수로 강정규(1995), 한국건설기술연구원(1990), Miao(1992), J. Milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 곡선반경이 커짐에 따라 인사사고가 감소하는 것을 의미한다. 특히 곡선반경은 타 사고유형에 비해 사망, 중상사고수에 큰 영향을 주는 인자로 해당 구간의 제한속도를 엄수하도록 단속과 교육을 강화해야 한다. 통행제한상태를 나타내는 계수 β_9 는 모두 음수로 J. Milton과 F. Mannering (1998)의 연구결과와 일치한다. 이는 통행을 일부 제한할 때 인사사고가 감소하는 것을 의미한다. 이는 본선구간 차선을 통제함으로써 차량속도가 줄어들어 접촉사고 등은 증가하나 전복 등 치명적인 인사사고는 피할 수 있는 것으로 판단된다. 공사구간의 여부에 대한 계수

β_{10} 은 모두 음수로 공사구간이 있을 경우 치명적 인사사고가 감소하는 것으로 분석되는데 이는 감속의 효과로 판단된다. 포장 유형을 나타내는 계수 β_{11} 은 모두 음수로 이는 아스팔트의 경우 인사사고의 유형에 관계없이 사고수가 감소하는 것으로 분석된다.

③ 기타요인

사고유형을 나타내는 계수 β_{12} 는 모두 양수로 이는 차와 도로시설물이 충돌했을 때 보다 차량간의 충돌시 인사사고가 많이 발생한다는 것을 의미하여 모형 2의 계수가 매우 높아 사고의 치명도 역시 높은 것으로 판단된다. 따라서 차량간의 직접적인 상충을 줄이는 선형과 도로안전시설물을 확대 설치하는 것이 필요하다. 관련 차량수를 나타내는 계수 β_{13} 은 모두 양수로, 이는 사고 1건당 관련차량이 많을수록 사상자가 증가함을 나타내고 있다. 따라서 차량간의 안전거리 확보 등을 통하여 연쇄 사고의 위험을 줄이도록 해야 한다.

4. 결론 및 향후 연구과제

지금까지 사고요인과 사고모형의 문헌고찰을 통해 국내의 고속도로상에서 발생한 버스, 화물차 사고모형을 개발하고 적용방안에 대해 고찰하였으며, 이에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 국내에서 처음으로 운전자의 인적 자료를 활용한 사고모형의 개발을 통해 어떠한 인자가 사고에 어느 정도 영향을 주는지 파악할 수

있는 이론적 틀을 제공하였다. 또한 본 연구에서 사용된 인사사고 자료는 비집계화한 고속도로 전역의 인사사고자료라는 특징을 가지고있다. 이는 기존의 사고 모형들이 도로를 일부 구간으로 분리함으로써 요인간의 특성이 집합화된 상태로 모형식 내에 적용되어 모형이 요인의 변화를 민감하게 설명하지 못한다는 문제점과 그로 인해 표본수가 줄어드는 문제점을 극복하였다. 또한 모형의 분석기법에 있어서도 사고수와 사상자수를 이산적 확률변수로 적용한 포아송회귀식과 음이항회귀식을 사용하여 자료의 특성에 맞는 모형식을 개발하였다.

둘째, 사고유형별 사고모형 개발을 통해 인사사고 요인에 대한 영향을 분석하였으며 아울러 적용방안에 대해서도 고찰하였다. 이러한 연구는 도로설계, 운영, 교통법규, 교통행정 등의 분야에서 거시적인 정책적 방향성을 제시하리라 판단된다.

특히 본 연구는 고속도로 운영주체인 한국도로공사의 고속도로사고조서를 바탕으로 고속도로에서 트럭의 사고유형별 사고모형의 개발과 적용에 관한 것으로 고속도로에서 트럭의 안정성 향상을 위한 제반 정책 수립에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

향후 연구과제로 교통안전 개선효과를 정확히 분석하고 평가하기 위해서 이산적 자료를 통한 거시적 사고요인 분석에 관한 연구뿐만 아니라 연속자료를 이용한 미시적, 동적모형을 개발해야 하며, 이를 위해서는 사고자료의 합리적 데이터베이스화가 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 국토개발연구원, 도로기하구조와 안전성의 상호관계분석, 1996
2. 김태완, 도로기하구조가 교통사고에 미치는 영향-경부고속도로중심으로, 서울대 환경대학원 석사논문, 1996
3. 한국건설기술연구원, 교통사고 많은 지점 개선방안에 관한 연구, 1990
4. 강정규, "사망사고에서의 도로환경요인분석에 관한연구", 도로교통안전협회, 1995
5. John Milton and Fred Mannering, "The Relationship among Highway Geometrics, Traffic related element and Motor Vehicle Accident Frequency" Transportation Review pp393-413, 1998
6. Matthew G. Kalraftis and Andrezej P. Tarko "Heterogeneity Consideration in Accident Model" Vol.30 No.4 pp425-433, 1998
7. Mohammad A. Hadi and Jacob Aruldas, "Estimating Safty Effects of Cross-Section Design for various Highway Types Using Negative Binomial Regression" TRR1500,
8. Mohammad A. Hadi and A.S. Jaradat, "Analysis of Commercial Minibus Accidents", Accident Analysis and Prevention vol. 30 No. 5 pp555-567, 1998



9. Paul P. Jovanis and Hsin-li chang “
modelling the Relationship of

Accident to Miles Traveled” TRR 1068
pp42-51

