

순서형 프로빗 모형을 적용한 공사장 교통 사고심각도 분석

홍지연 · 김경태 · 이수범[†]

서울시립대학교 교통공학과

(2010. 8. 24. 접수 / 2011. 3. 22. 채택)

Developing the Accident Injury Severity on a Field of Construction Work Using Ordered Probit Model

Jiyeon Hong · Kyungtae Kim · Soobeom Lee[†]

Department of Transportation Engineering, University of Seoul

(Received August 24, 2010 / Accepted March 22, 2011)

Abstract : The traffic accidents at a construction site, which happen due to construction vehicles' frequent access to a construction site, its subsequent conflicts with ordinary vehicles and pedestrians, and inappropriate installation & management of traffic security facilities, have not many proportions in all traffic accidents, but obviously, the accident damage is quite serious when comparing the level of the fatal per one accident. This research conducted an analysis of traffic accident injury severity using Ordered Probit Model in relation to 241 traffic accident cases that occurred caused by construction sites among the traffic accidents that took place in Seoul and Gyeonggi-do region for two years from 2006 until 2007. As a result, the significant variables enough to explain traffic accident injury severity were analyzed to be the state of road surface, linear shape of an accident spot & whether the damaging car belongs to the vehicle for construction, and whether vehicles have access to a construction site at the time of an accident. Through this, this research found out some fact as follows: first, there need to be more aggressive management of the vehicles for construction and a year-round placement of the manpower who can control vehicular access to a construction site. Second, it is necessary to get drivers to recognize the fact that there exists a construction site on the construction section which is on the border of curved roads in advance to prevent a traffic accident, helping to reduce socio-economic loss & costs incurred by a traffic accident.

Key Words : accident injury severity, a field of construction work, ordered probit model, flagger system

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도로점용공사를 비롯한 각종 공사현장은 주변 교통 혼잡을 야기시키고, 교통사고의 위험도 가중시켜 해당지역 주민을 비롯한 도로 이용자들에게 교통안전과 소통 측면에서 상당한 피해를 주고 있다. 특히, 도로상에서 이루어지는 공사 현장으로의 빈번한 공사차량의 출입과 이로 인한 일반차량 및 보행자와의 상충, 적절치 못한 교통안전시설물 설치와 관리 등 적절한 안전조치가 취해지지 않을 경우 운전자 및 보행자에게 심각한 교통사고를 유발시킬 위험요소를 내재하고 있다.

도로교통공단의 교통사고 통계자료¹⁾에 따르면, 우리나라 고속도로의 전체교통사고는 2001년 6,685건에서 2007년 3,661건으로 약 45.2% 감소하였으나, 도로공사로 인한 교통장애가 원인이 되어 발생한 사고건수로 정의하는 도로공사구간의 사고는 2001년 55건에서 2007년 45건으로 사고 감소율이 18.2%에 불과한 것으로 나타나 도로공사구간에 사고 발생률이 높음을 알 수 있다. 또한 고속도로 공사구간의 사고 1건당 사망자수 0.18명으로 2007년 기준 전체 구간 사고 1건당 사망자수인 0.11명에 비해 1.64배나 높은 것으로 나타났다. 이는 일반 구간에서의 교통사고보다 공사구간 교통사고 발생시 인명피해정도가 보다 심각함을 의미하며, 공사구간 교통사고에 대한 정확한 원인규명과 이에 대한 안전대책 마련의 당위성을 제공한다.

따라서 공사장 교통사고로 인한 사회경제적 손

[†] To whom correspondence should be addressed.
mendota@uos.ac.kr

실을 최소화하고 주변 교통에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 공사장에서 발생한 교통사고가 지닌 특성을 분석하고 그 원인규명을 통해 교통사고를 사전에 예방할 수 있는 합리적인 개선대책을 마련해야 할 것이다.

본 연구에서는 공사장 사고 특성을 규명하고, 일반적인 도로·환경적 요인 및 요철, 공사로 인한 차로축소여부 등의 공사현장의 특수한 환경적 요인, 가해차량의 공사용 차량 여부 및 사고차량의 공사장 진출입 및 공사장 내부 통행 여부 등의 설명변수를 통해 공사장 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다. 이를 통해 공사장 교통안전 대책 수립과 공사장 교통사고 감소에 기여하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 경찰의 교통사고통계 관리시스템(TAMS: Traffic Accident Management System)에서 제공하는 2006년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 서울 및 경기도 지역에서 발생한 교통사고 자료를 활용하였으며, 공사장 교통사고를 공사장이 원인이 되어 발생한 교통사고 즉, 해당공사장 공사차량에 의한 사고, 공사장 진출입시 발생한 사고, 공사로 인해 차로 감소 및 도로포장상태 불량 등

공사장이 위치함으로 해서 발생한 사고라 정의하였다. 이에 따라 단순히 범규위반이나, 음주운전 등 운전자 원인이 되어 발생한 사고 장소가 공사현장 인근인 경우는 공사장 교통사고 범주에서 제외하였다.

본 연구는 공사장에서 발생한 교통사고 피해 정도와 가해차량의 특성, 가해차량의 동선 및 공사현장의 환경요건 등과의 관계를 분석하기 위하여 확률선택모형 중에서 오차항의 분포를 와이ابل 분포로 가정한 순서형 프로빗 모형을 적용하여 공사장 사고 심각도 모형을 개발하였으며, 이를 통해 공사장 사고심각도에 영향을 미치는 주요 설명변수들에 대한 분석을 실시하였다. 본 연구에서 수행한 연구의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

2. 문헌 고찰

2.1. 공사구간 사고분석에 관한 연구

Satish Mohan 등(2006)은 1989년부터 2001년까지의 뉴욕주 교통부의 공사구간 사고 자료를 활용하여 사고를 심각도별로 분류하여 연도별 사고건수 및 사고 경향을 분석하였으며, 이에 따른 교통안전에 대한 대안을 제시하였다²⁾.

Janice Daniel 등(2000)은 조지아 교통부의 사고 자료를 활용하여 공사구간에서 발생하는 치명적인 사고를 비공사구간에서 발생하는 사고와 비교하였으며, 공사구간에서는 충돌의 방식, 조명, 중차량 비율, 도로의 기능적 분류에 의해 특징지어지는 교통사고가 발생하는 반면, 평면 및 종단 선형에 따른 사고는 비공사구간에 비해 공사구간에 영향을 덜 미치는 것으로 분석하였다³⁾.

박태훈 등(2008)은 고속도로 23개 노선을 중심으로 2003년부터 2005년까지 3년간 한국도로공사의 교통사고 통계자료를 활용하여 교통통제가 이루어진 고속도로 공사구간에서 발생한 교통사고 특성을 연구하였다. 사고원인별로는 전방주시태만으로 인한 사고가 가장 많이 발생하였고, 사고유형별로는 추돌사고 발생비율이 가장 높았으며, 공사장 유형별로는 작업량이 많은 확장공사구간에서 교통사고 발생률이 가장 높았으므로 분석하였다⁴⁾.

2.2. 사고심각도 분석에 관한 연구

Kelvin K. W. Yan(2004)는 홍콩에서의 사고자료를 분석하여 사고발생시 부상에 대한 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 로지스틱 회귀모

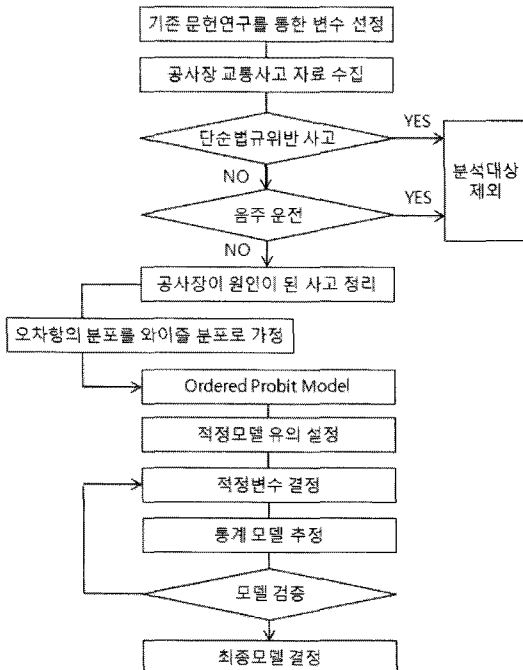


Fig. 1. Research Folw,

형을 적용하여 분석한 결과 승용차와 도로폭, 운전자의 성별, 차량의 연식, 사고발생 시간대 및 도로 조명 등이 부상에 대한 심각도 결정에 중요한 용인으로 나타났다⁵⁾.

Kara Maria Kockelman(2002)는 미국의 GES(General Estimates System) 데이터를 이용하여 사고 심각도에 영향을 미치는 요소를 찾기 위해 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하였다. 이 연구에서는 차량 단독사고, 차량 대 차량사고, 모든 사고형태에 대해 3가지 사고형태에 따라 분석을 실시하였다. 그 결과 차량 단독사고에 있어서 화물차가 승용차에 비해 안전성이 낮은 것으로 나타났고 차량 대 차량사고에서 운전자의 사고 심각도는 작은 반면에 조수석에 위치한 탑승자의 사고 심각도가 높게 나타났다. 또한 차량의 연식이 얼마 되지 않은 새로운 차의 운전자이고, 어릴수록, 저속으로 주행하였을수록 사고 심각도가 낮은 것으로 나타났다⁶⁾.

이주연(2008)은 사고심각도에 영향을 미치는 요인들을 도로요인, 운전자요인 및 환경요인 등으로 구분하고 구조방정식 모형을 이용하여 각각의 변수들이 사고 심각도에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 도로 및 환경요인은 통계적으로 유의한 수준에서 사고심각도와 강한 관계를 가지는 것으로 나타났다⁷⁾.

하오근(2005)은 교차로 교통사고의 사고 심각도에 영향을 미치는 요인들을 분석하고자 순서형 프로빗 모형을 적용하였고 교차로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 변수로 부도로 교통량, 주도로 중차량 비율, 주도로 우회전 비율, 주도로 조명시설, 주도로 제약시설, 부도로 좌회전 유도선 등을 분석하였다⁸⁾.

심관보(1998)는 성별, 차종, 연령 등 운전자 특성 및 교통사고 발생유형에 따른 사고심각도를 로짓모형을 적용하여 분석하였다. 그 결과 20세 미만의 이륜차 운전자 및 41~50세의 택시운전자가 가장 위험한 집단으로 분석되었다. 또한 남성보다는 여성이 승용차와 택시 및 이륜차 등에 관계되었을 때 사고심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 사고 유형의 경우 정면충돌과 앞지르기시, 우회전시의 사고가 심각도에 대한 기여위험도가 높은 것으로 분석되었다⁹⁾.

2.3. 기본 이론

2.3.1. 순서형 프로빗 모형

본 연구에서는 사고 자료의 특성을 고려하여 순

서형 확률모형 중 데이터의 오차항의 분포를 정규 분포로 가정한 순서형 프로빗 모형을 적용하여 최적의 공사장 교통사고 심각도 모형을 개발하고자 한다.

일반적으로 순서를 지니지 않은 종속변수의 경우에는 프로빗 또는 로짓모형을 통해 분석이 가능하나 본연구의 경우처럼 종속변수가 순서를 지닌 경우는 일반적인 프로빗 또는 로짓모형은 오류를 범할 수 있다. 또한 회귀분석의 경우 종속변수가 $y = 0, y = 1$ 간의 차이와 $y = 1, y = 2$ 간의 차이를 동일한 것으로 인식하여 분석을 함으로써 오류를 범할 수 있는 한계점을 지닌다¹⁰⁾.

이와 같은 한계점을 해결하기 위해 종속변수가 순서를 지닌 경우($y = 0, 1, 2, \dots$)에 사용할 수 있는 순서형 확률모형(Ordered Probability Model)중에서 오차항의 분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포를 따른다고 가정하는 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하였다.

일반적인 순서형 자료로 y 가 0,1,2,3,..., y_i 까지 가는 자료형태를 가지고 있다면, 순서형 확률모형은 다음과 같이 표현할 수 있다^{8,11)}.

$$\begin{aligned}
 y &= \beta X_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N[0, 1] \\
 y &= 0 \text{ if } y \leq 0 \\
 y &= 1 \text{ if } 0 < y \leq \mu_1 \\
 y &= 2 \text{ if } \mu_1 < y \leq \mu_2 \\
 &\dots \\
 y &= y_i \text{ if } \mu_{y-1} < y
 \end{aligned}$$

여기서, y 는 측정이 불가능한 잠재효용으로 측정이 가능한 효용(βx_i)과 측정이 불가능한 효용(ε_i)으로 나타낼 수 있다. μ 들은 각 설명변수의 추정계수 β 와 함께 추정하는 한계값(Threshold)이라 하며, 이를 통하여 선택 대안에 대한 선택확률을 계산하는데 이용할 수 있는데 각 대안별(순서에 따른)에 대한 선택확률은 다음과 같이 표현할 수 있다^{8,11)}.

$$\begin{aligned}
 Prob[y = 0] &= \Phi(-\beta \hat{x}) \\
 Prob[y = 1] &= \Phi(\mu_1 - \beta \hat{x}) - \Phi(-\beta \hat{x}) \\
 Prob[y = 2] &= \Phi(\mu_2 - \beta \hat{x}) - \Phi(\mu_1 - \beta \hat{x}) \\
 &\dots \\
 Prob[y = y_1] &= 1 - \Phi(\mu_{y_1-1} - \beta \hat{x})
 \end{aligned}$$

각 설명변수에 대하여 편미분을 적용하면 설명 변수에 대한 한계효과(marginal effect)를 다음과 같

이 나타낼 수 있다. 예로, 더미변수인 경우($x=0$ 또는 1), 설명변수가 사고심각도에 미치는 영향도를 나타내는 한계효과는 다른 설명변수를 고정한 상태에서 설명변수가 1인 경우의 선택확률과 0인 선택확률의 차이(= $Prob(1) - Prob(0)$)를 의미한다. 따라서, 각 설명변수에 대한 한계효과의 합은 0이 된다^{8,11)}.

$$\frac{\partial Prob[y=0]}{\partial x} = -\psi(\beta\hat{x})\beta$$

$$\frac{\partial Prob[y=1]}{\partial x} = [\psi(-\beta\hat{x})\beta - \psi(\mu - \beta\hat{x})]\beta$$

$$\frac{\partial Prob[y=2]}{\partial x} = -\psi(\mu - \beta\hat{x})\beta$$

2.3.2. 모형의 적합도 판정^{8,11)}

최종적으로 도출된 모형에 대하여 모형의 검증 방법은 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 모형의 적합성을 검증하는 χ^2 (Chi-Square)값을 이용한다. ρ^2 (우도비)는 Mcfadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가되며 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad \bar{\rho}^2 = \frac{(N-K)}{N} \rho^2$$

여기서, 로그우도값(L)에 대해 살펴보면 다음과 같다. $L(0)$ 는 어떤 정보도 없는 상황에서의 로그우도값으로 정의된다. 어떤 정보도 없기 때문에 어떤 개인이 특정 대안을 선택할 확률은 $1/K$ 가 된다. $L(C)$ 는 선택대안 더미만이 설명변수에 입력되었을 때의 로그우도값으로 정의된다. 이러한 경우 어떤 개인이 특정의 대안 K를 선택할 확률은 N_k (대안 K를 선택한 표본수)/ N (전체표본수)가 된다. $L(\beta)$ 는 모든 설명변수가 포함되었을 때의 로그우도값으로 정의되고, 개인별 설명변수를 로짓모형에 대입하여 산정된 대안별 로그우도함수에 대입하여 산정한다.

χ^2 (Chi-Square)값은 모형개발시 각 변수들 간에 독립성을 검증하기 위하여 사용하며 χ^2 (Chi-Square)값과 χ^2 분포표를 이용하여 임계치를 비교함으로써 모형의 적합성을 검증할 수 있다. χ^2 (Chi-Square) 통계량은 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)에서 절편을 제외한 모든 회귀계수가 동시에 0이라는 귀무가설에 대한 우도비 χ^2 (Chi-Square) 유의

성 검정으로 다음과 같은 절차를 통하여 실시하는데 우선은 가설설정을 통하여 변수가 종속변수에 영향을 미치는 변수임을 검증하게 된다.

귀무가설: $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

대립가설: 최소한 하나의 $\beta_j \neq 0$ ($j = 1, 2, \dots, k$)

귀무가설은 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)에 포함된 독립변수들이 어떤 사건이 발생할 확률에 전혀 정보를 제공하지 못한다는 의미이고, 대립가설은 적어도 하나 이상의 유의한 영향을 미치는 독립변수가 모형에 포함되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 유의수준이 α 일 때 귀무가설의 기각여부를 결정하는 임계값은 자유도 k인 χ^2 (Chi-Square)분포에서 상위 $100*\alpha\%$ 에 해당하는 $\chi^2_{\alpha, k}$ 이 되는데 본 연구에서는 신뢰구간을 90%로 정하였기 때문에 α 은 0.1이 되고 이를 기준으로 χ^2 (Chi-Square)를 실시한다.

3. 공사장 교통사고 특성 분석

3.1. 고속도로 구간

우리나라 고속도로의 전체교통사고는 2001년 6,685건에서 2007년 3,661건으로 약 45.2% 감소하였으나, 도로공사구간의 사고는 2001년 55건에서 2007년 45건으로 사고 감소율이 18.2%에 불과한 것으로 나타나 도로공사구간에 사고 발생율이 높음을 알 수 있다. 또한 고속도로 공사구간의 사고 1건당

Table 1. Traffic accident on a field of construction work at freeway

연도	고속도로 전체구간			도로공사 구간			B/A
	사고건수	사망자수	사고1건당 사망자수(A)	사고건수	사망자수	사고1건당 사망자수(B)	
2001	6,685	597	0.09	55	6	0.11	1.22
2002	6,528	552	0.08	55	8	0.15	1.88
2003	5,844	526	0.09	48	4	0.08	0.89
2004	4,941	502	0.10	28	7	0.25	2.50
2005	4,113	402	0.10	40	11	0.28	2.80
2006	3,943	467	0.12	49	7	0.14	1.17
2007	3,661	420	0.11	45	8	0.18	1.64
평균	5,102	495	0.10	46	7	0.16	1.60
증가율	-45.2%	-29.6%		-18.2%	33.3%		

주: 도로공사구간에서의 사고건수는 도로교통공단에서 제공하는 '교통사고통계'에서 도로공사로 인한 교통장해가 원인이 되어 발생한 사고건수를 말함

자료: 도로교통공단, 교통사고통계, 각년도

Table 2. 2007 Traffic accident on a field of construction work in Seoul and Gyeonggi-do

구 분	전체사고			공사장 사고			B/A
	발생 건수	사망 자수	사고1건당 사망자수(A)	발생 건수	사망 자수	사고1건당 사망자수(B)	
서울	39,410	452	0.0115	72	4	0.056	4.84
경기	41,517	1,218	0.0293	61	3	0.049	1.68
계	80,937	1,670	0.0206	133	7	0.053	2.55

사망자수 0.18명으로 2007년 기준 전체 구간 사고 1건당 사망자수인 0.11명에 비해 1.64배나 높은 것으로 분석되었다. 이는 일반 고속도로 구간에서의 교통사고보다 도로공사로 인한 교통장애가 원인이 되는 공사구간 교통사고가 보다 큰 인명피해를 내고 있음을 나타내며, 도로공사구간의 사고발생율도 높아 공사구간 안전에 대한 대책마련이 절실한 상황임을 보여준다.

3.2. 수도권 지역 국도 및 시·군·구도 구간

지난 2007년 서울·경기 지역의 국도 및 시·군·구도에서 발생한 공사장 교통사고 1건당 사망자수는 전체사고의 사고 1건당 사망자수의 2.5배이며, 특히 서울시의 경우 4.8배로 분석되었다. 이는 공사구간에서 교통사고가 났을 경우 사망률이 일반 교통사고의 사망률보다 2.5배나 높다는 것을 의미하며, 공사구간에서의 교통사고로 인한 인명피해정도가 심각함을 알 수 있다.

3.3. 공사장 교통사고 사례

지난 2007년 4월 오전 11시경 경기도 00시 00동 00공단 앞 도로상에서 공사장 작업인부(남, 55세)가 사망하는 교통사고가 발생하였다. 이 사고는 가해차량이 H빔 하역 작업을 하기 위해 후진을 하던 중 우측에서 차량 진행 수신호를 하던 피해자인 작업인부를 뒷바퀴 부분으로 충격하여 발생하였으며, 사고 당시 도로는 직선의 평지였으며, 도로포장상태도 양호하고 건조한 노면 상태였다. 본 사고는 도로공사현장에서 작업 중에 발생한 사례로 가해자 또는 피해자 상호간 수신호 등을 통한 의사소통이 제대로 이루어지지 않고 공사장 안전관리가 미비해서 발생한 사고로 분석되었다.

다른 사례로, 2007년 3월 서울시 00구 00동 00빌라 앞 도로상에서 발생한 교통사고는 가해차량이 중앙선 구분이 없는 오르막 경사진 도로를 주행하던 중 신축아파트 공사현장 앞 피해차량인 공사차량이 주정차 되어 있는 것을 미처 발견하지 못

하고 추돌하고 이후 뒤로 밀려 건물과 2차 충돌하는 과정에서 가해차량 운전자가 사망한 사고이다. 사고 당시 도로는 직선의 오르막 단일로였으며, 도로포장이 되어 있었고 습기가 있는 노면 상태였다. 본 사고는 오르막 경사로 인해 시거가 확보되지 않은 상태에서 갑자기 나타난 공사현장으로 인해 추돌이 발생하고 습윤한 노면에서 뒤로 미끌어지면서 2차 충돌에 의해 사망까지 이룬 사고로 사전에 안전시설 또는 표지판 등이 설치되어 있어서 전방 공사 진행 중임을 알았더라면 발생하지 않았을 사고로 분석되어진다.

3.4. 시사점

전체 교통사고 중에서 공사장 교통사고 발생건수는 많지 않지만, 사고발생시 사망자수가 전체 교통사고에 비해 높게 나타나는 등 인명피해가 큰 것으로 나타나 이에 대한 각별한 안전관리가 필요하다. 특히, 고속도로 구간에서는 전체 사고 건수의 감소하는 추세와 비교하여 도로공사구간에서의 사고발생율이 높은 것으로 분석되어, 공사구간 교통사고에 대한 정확한 원인구명과 이에 대한 안전대책 마련이 절실한 상황이다.

또한, 공사장 관련 교통사고 사례를 통해 공사구간의 허술한 관리는 교통사고의 원인이 될 수 있으므로 각종 교통안전시설물이 제 기능을 할 수 있도록 안전관리에 최선을 다하여 함을 알 수 있다.

일반적으로 공사구간에서는 제한속도를 낮추도록 조정하지만 운전자들은 공사구간에서 요구하는 제한속도를 지키지 않는 경향이 강하며, 이러한 운전자들의 경향과 반응시간 등을 고려하여 교통안전시설물의 설치 및 유지관리, 전방 공사안내 표지판 등을 설치하는 등 교통 흐름을 유도하고 제지하며 통제하는 공사구간 교통안전 관리가 필요한 것으로 판단된다.

4. 공사장 사고심각도 모형 개발

4.1. 자료의 수집 및 기초분석

본 연구에서는 공사장 교통사고를 공사장이 원인 되어 발생한 교통사고 즉, 해당공사장 공사차량에 의한 사고, 공사장 진출입시 발생한 사고, 공사로 인해 차로 감소 및 도로포장상태 불량 등 공사장이 위치함으로 해서 발생한 사고로 정의하였다.

이에 따라 2006년 및 2007년 경찰청 사고 DB(TAMS)를 바탕으로 사건 개요 및 발생지점 등을

Table 3. Definition of variables

변수	분석을 위한 표시방법
사고심각도	공사장 사고시의 심각도 [물피=0, 부상 및 경상=1, 중상=2, 사망=3]
가해차량 특성	가해차량의 공사차량 여부 [공사차량이다=1, 아니다=0]
진출입 통행	사고차량들의 공사장 진출입 통행여부 [진출입 통행이다=1, 아니다=0]
내부 통행	사고차량들의 공사장 내부 통행여부 [공사장 내부통행이다=1, 아니다=0]
도로상태	사고시 도로 요철여부 [도로요철 있다=1, 도로요철 없다=0]
도로점용 상태	사고시 도로점용여부 [공사현장 차선축소=1, 차선유지=0]
선형	사고지점의 선형 [곡선=1, 평행=0]
경사	사고지점의 경사 [경사=1, 평지=0]
주야간	사고발생 시각 [주간=0, 야간=1]
기상상태	사고시 기상상태 [맑음=1, 흐림=2, 비=3, 기타=4]
노면상태	사고시 노면상태 [건조=1, 습윤=2, 빙설=3, 기타=4]

토대로 공사구간에서 발생한 교통사고를 추려내어 이 중에서 단순히 법규위반이나, 음주 운전 등 운전자 인적요인으로 인해 발생한 사고 장소가 공사 현장근인 경우는 제외하고 본 연구에서 정의한 공사장 교통사고와 부합되는 수도권 지역의 총 241건의 교통사고자료를 분석 대상으로 하였다. 공사장 사고 심각도 모델 개발을 위한 변수 표시방법에 관한 내용은 다음과 같다.

총 241건의 교통사고 자료 중 물적 피해만 발생한 사고는 126건으로 52.3%를 차지하며, 인적피해는 사망사고 9건을 포함하여 115건으로 47.7%를 차지하고 있다. 가해차량이 공사차량인 경우는 전체 분석대상사고의 27.4%인 66건이며, 공사장으로의 진출입시 사고가 발생한 경우는 100건으로 전체 사고건수의 41.5%이다. 대부분이 맑거나, 많은 공사장 사고가 맑은 날(43.6%)에 발생하고 건조한 노면(42.7%)에서 발생하였으나, 사고DB에 기록에 남아 있지 않은 기타의 경우가 오히려 더 많은 비율을 차지하고 있어, 공사장 사고 모형 구축 시 다소 오류가 발생할 것으로 예상된다.

공사장 교통사고 심각도 모형 개발에 앞서 종속 변수 및 독립변수들과의 관련성을 분석하기 위하여 Spearman 서열상관관계분석을 시행한 결과 종속변수인 사고심각도와 기상상태, 노면, 선형, 경사 및 진출입 통행여부가 95% 신뢰구간에서 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 독립 변수간 상관관계에서는 사고 발생시각과 공사차량여부 및 진출입 동선여부, 내부통행여부 등이 상관관계가 있는 것

Table 4. Basic Characteristics of Responses

항목	구분	관측자료수 (241건)	비율 (%)
사고심각도	물피	126	52.3
	부상 및 경상	61	25.3
	중상	45	18.7
	사망	9	3.7
가해차량특성	공사차량	66	27.4
	다른 유형	175	72.6
사고차량의 동선	진출입통행	100	41.5
	내부통행	14	5.8
도로상태	다른 유형	127	52.7
	도로요철 有	14	5.8
도로점용상태	도로요철 無	227	94.2
	차선감소 有	21	8.7
사고지점의 선형	차선유지	220	91.3
	곡선도로	122	50.6
사고지점의 경사	직선도로	119	49.4
	경사	129	53.5
사고발생시각	평지	112	46.5
	주간	103	42.7
기상상태	야간	138	57.3
	맑음	105	43.6
	흐림	9	3.7
	비	17	7.1
노면상태	기타	110	45.6
	건조	103	42.7
	습윤	24	10.0
	빙설	1	0.4
	기타	113	46.9

으로 분석되었으며, 기상상태는 노면상태는 상관성이 아주 높고, 사고지점의 선형과 경사 역시 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.

이에 따라 공사장 사고 심각도 모형개발을 위해서는 기상 및 노면상태, 선형 및 경사는 독립변수로 동시에 고려하지 않기로 하였다.

4.2. 모형의 추정 및 결과

본 연구에서는 공사장 사고심각도 모형을 개발하기 위하여 통계패키지 LIMDEP(Limited Dependent Variables, ver 8.0)을 이용하였다. 사용된 변수는 교통사고 심각도와 사고 장소의 물리적·환경적 요인과 공사현장의 특징 등에 관한 11개의 변수이며 오차항의 분포를 정규분포로 가정하고 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 적용하여 사

순서형 프로빗 모형을 적용한 공사장 교통 사고심각도 분석

Table 5. Results of Correlation Analysis

구분		사고 심각도	사고발생 시각	기상	노면	선형	경사	공사차량 여부	진출입 통행여부	내부통행 여부	도로요철 여부	차선축소 여부
사고심각도	상관계수	1.000	-0.072	-0.774	-0.798	-0.742	-0.687	0.110	0.131	-0.035	0.069	-0.048
	유의확률	.	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.087	0.043	0.588	0.283	0.459
사고발생 시각	상관계수		1.000	0.087	0.085	0.014	-0.002	-0.324	-0.251	-0.179	0.036	0.149
	유의확률		.	0.177	0.186	0.824	0.972	0.000	0.000	0.005	0.573	0.020
기상	상관계수			1.000	0.954	0.840	0.772	-0.073	-0.169	0.070	0.015	0.041
	유의확률			.	0.000	0.000	0.000	0.258	0.009	0.278	0.820	0.531
노면	상관계수				1.000	0.836	0.765	-0.084	-0.187	0.065	-0.015	0.034
	유의확률				.	0.000	0.000	0.192	0.004	0.314	0.817	0.595
선형	상관계수					1.000	0.760	-0.008	-0.128	0.103	-0.074	0.040
	유의확률					.	0.000	0.906	0.046	0.110	0.252	0.534
경사	상관계수						1.000	-0.043	-0.093	0.054	-0.018	0.052
	유의확률						.	0.502	0.149	0.408	0.786	0.423
공사차량 여부	상관계수							1.000	0.559	0.205	-0.113	-0.157
	유의확률							.	0.000	0.001	0.081	0.015
진출입 통행여부	상관계수								1.000	-0.209	-0.173	-0.230
	유의확률								.	0.001	0.007	0.000
내부통행 여부	상관계수									1.000	-0.062	-0.077
	유의확률									.	0.340	0.235
도로요철 여부	상관계수										1.000	-0.077
	유의확률										.	0.235
차선축소 여부	상관계수											1.000
	유의확률											.

Table 6. Results of the Accident Injury Severity on a Field of Construction Work

변수명	모형 1			모형 2			모형 3		
	추정계수	T-통계치	유의수준	추정계수	T-통계치	유의수준	추정계수	T-통계치	유의수준
상수	2.2581	8.788	0.0000	2.2939	9.982	0.0000	2.2324	10.043	0.0000
사고발생시각	0.0556	0.279	0.7801	-	-	-	-	-	-
노면상태	-0.8292	-7.182	0.0000	-0.8228	-7.177	0.0000	-0.8156	-7.155	0.0000
사고지점의 선형	-0.8671	-2.964	0.0030	-0.8859	-3.046	0.0023	-0.8779	-3.023	0.0025
공사차량 여부	0.5891	2.243	0.0249	0.5526	2.286	0.0223	0.5512	2.282	0.0225
진출입 통행 여부	-0.4300	-1.682	0.0926	-0.4351	-1.914	0.0557	-0.3907	-1.749	0.0803
공사장 내부통행여부	-0.0951	-0.203	0.8394	-	-	-	-	-	-
도로요철 여부	0.1632	0.453	0.6504	-	-	-	-	-	-
차선축소 여부	-0.4005	-1.057	0.2903	-0.3915	-1.076	0.2818	-	-	-
mu(1)	1.3718	11.070	0.0000	1.3701	11.082	0.0000	1.3716	11.103	0.0000
mu(2)	2.7063	15.206	0.0000	2.7056	15.219	0.0000	2.6975	15.269	0.0000
LL(β)		-160.5919			-160.7790			-161.3746	
LL(0)		-270.6264			-270.6264			-270.6264	
ρ^2		0.407			0.406			0.404	
χ^2		220.0690			219.6948			218.5037	
Degree of Freedom		8			5			4	
Num. of observation		241			241			241	

Table 7. Analysis of Marginal effects

변수명	한계효과 1				한계효과 2				한계효과 3			
	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3	Y=0	Y=1	Y=2	Y=3
사고발생시각	-0.0213	0.0157	0.0054	0.0033	-	-	-	-	-	-	-	-
노면상태	0.3172	-0.2340	-0.0794	-0.0037	0.3150	-0.2320	-0.0793	-0.0037	0.3134	-0.2294	-0.0801	-0.0039
사고지점의 선형	0.3229	-0.2305	-0.0874	-0.0050	0.3298	-0.2346	-0.0900	-0.0052	0.3280	-0.2320	-0.0906	-0.0054
가해차량의 공사차량 여부	-0.2289	0.1545	0.0702	0.0043	-0.2149	0.1457	0.0653	0.0039	-0.2148	0.1445	0.0661	0.0042
사고시 진출입 통행여부	0.1615	-0.1204	-0.0393	-0.0018	0.1636	-0.1217	-0.0400	-0.0019	0.1478	-0.1093	-0.0367	-0.0018
공사장 내부통행 여부	0.0359	-0.0270	-0.0085	-0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-
도로요철 여부	-0.0635	0.0451	0.0175	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	-
차선축소 여부	0.1433	-0.1127	-0.0294	-0.0011	0.1405	-0.1102	-0.0291	-0.0011	-	-	-	-

고 심각도 모형을 구축하였다. 그 결과 모형의 설명력과 적합성을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 χ^2 (Chi-Square)의 값이 적합한 것으로 나타나 공사장 교통사고 심각도 모형 개발시 적용한 순서형 프로빗 모형이 적합한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 종속변수인 공사장 교통사고 심각도에 미치는 영향 요인을 가장 잘 설명할 수 있는 모형을 구축하기 위하여 여러 형태로 설명변수를 조합하여 모형을 구축한 결과 도로의 노면상태와 사고지점의 선형 및 가해차량의 공사차량여부, 사고당시 차량들의 공사장 진출입여부가 공사장 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요인으로 분석되었다. 분석결과는 다음 Table 6과 같으며, 각 모형의 설명변수들이 사고 심각도에 미치는 영향을 나타내는 한계효과(Marginal effect)는 Table 7과 같다.

첫 번째 모형 1에서는 앞에서 수행한 상관분석 결과를 토대로 설명변수간 상관성이 높은 기상상태와 노면 및 선형과 경사 중에서 종속변수인 사고 심각도와 보다 높은 상관관계에 있는 노면상태 및 사고지점의 선형이라는 변수를 설명변수에 포함하였다. 분석결과 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness of FIT)를 나타내는 χ^2 는 220.0690로 90% 신뢰구간에서 임계치인 7.78 이상으로 유의한 모형이나 선정된 설명변수 각각에 대한 t-통계치와 유의수준 값을 고려할 때 종속변수를 설명하기에 통계적 유의성이 확보되지 않는 변수들이 있어 이를 제외하고 모형 2를 구축하였다. 모형 2에서는 통계적 유의성이 확보된 노면상태, 사고지점의 선형, 가해차량의 공사차량 여부, 사고당시 공사장 진출입 통행여부 및 통계적 유의성은 확보되지 않았으나 제외된 다른 변수에 비해 t-통계치가 높은 도로점용으로 인한 차선축소 여부 변수를 설명변수로 포함하였다. 그 결과 모형 1과 마찬가지로 모형이 통

계적으로 적합하기는 하나 설명변수 중 도로점용으로 인한 차선축소 여부는 모형 1에 비해 t-통계치가 조금 높아졌으나 통계적으로 유의한 수준은 아닌 것으로 되었다.

이에 따라 통계적으로 유의성이 확보된 4개의 설명변수로 모형 3을 구축한 결과 추정모형의 전체 적합도를 나타내는 χ^2 가 218.5037(자유도 4)를 나타내어 90% 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났으며, 모형의 설명력을 나타내는 우도비(ρ^2)는 0.404으로 모형 3의 적합도는 우수한 것으로 판단된다. 이를 통해 공사장 사고 심각도에 영향을 미치는 변수는 도로의 노면상태와 사고지점의 선형 및 가해차량의 공사차량여부, 사고당시 차량들의 공사장 진출입여부로 선정되었으며, 각 설명변수들이 사고 심각도에 미치는 영향에 대해 살펴보면 다음과 같다.

도로의 노면상태는 공사장 교통사고 심각도에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났는데 이는 건조한 상태 일수록 사고의 심각도가 커짐을 의미함에 따라 설명변수들의 종속변수에 대한 한계효과를 분석하였다. 그 결과 물피사고(Y=0)의 범위가 0.3134로 건조한 상태보다 습윤 또는 빙설 등 건조하지 않은 상태일수록 물피사고가 발생할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 인피사고 특히 부상 및 경상(Y=1)과 중상(Y=2)의 범위는 -0.2294와 -0.0801로 건조한 상태 일수록 부상 및 경상, 중상사고가 발생할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 이는 본 연구에서 활용한 공사장의 사고자료의 절반 이상이 물피사고임에 따른 것으로 판단된다. 사고지점의 선형과 사고발생당시 공사장 진출입 통행여부에 대해서는 도로의 노면상태와 마찬가지로 곡선도로일수록, 공사장 진출입 통행일수록 물피사건이 발생할 가능성이 높은 것으로 분석되었다. 이는 곡선도로와 공사장 진출입시에는 시거 확보에 제약이 있

고 사고의 위험성을 운전자가 다소 인지한 상태일 수 있어서 사고에 대비하고자 조심하는 경향이 있어 사고가 발생하여도 인피사고로 이어지는 큰 사고가 아닌 물피사고가 발생할 가능성이 높다는 것으로 해석할 수 있다.

그러나, 가해차량이 공사차량 여부에 대해서는 공사차량일수록 사고의 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 한계효과를 살펴보면 부상 및 경상($Y=1$)의 범위가 0.1445, 중상($Y=2$)의 범위가 0.0661로 가해차량이 공사차량일 수록 부상 및 경상, 중상사고의 발생 가능성이 큰 것으로 나타났다. 본 연구에 활용된 공사장 사고자료가 물피사고가 절반 이상임에도 불구하고 가해차량의 공사차량일수록 공사장 심각도가 증가하는 것은 그만큼 가해차량이 공사차량일 수록 치명적인 사고가 발생할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

따라서 공사차량에 대한 보다 적극적인 관리와 공사장 진출입 통행과 관련하여서는 공사장으로서의 차량출입을 통제하고 유도할 수 있는 인력이 필요할 것으로 판단되며, 곡선도로와 접한 공사구간은 사전에 공사장이 위치함을 운전자에게 인지시켜 줌으로써 사고를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

각종 공사현장은 주변 교통 혼잡을 야기할 뿐만 아니라 교통사고의 위험도 가중시켜 도로 이용자들에게 상당한 피해를 주고 있다. 특히 공사 현장으로의 빈번한 공사차량의 출입과 이로 인한 일반 차량 및 보행자와의 상충, 적절치 못한 교통안전시설물 설치와 관리로 인해 발생하는 공사장 교통사고는 전체 교통사고에서 차지하는 부분은 적지만 사고 1건당 발생하는 인명피해 정도는 심각한 것으로 나타나 이에 대한 적절한 대비책을 마련해야 할 것이다.

본 연구에서는 공사장 교통사고 심각도 분석을 위하여 지난 2006~2007년 동안 수도권에서 발생한 공사구간의 교통사고 중에서 단순히 법규위반이나, 음주 운전 등 운전자 인적요인으로 인해 발생한 사고 장소가 공사현장근인 경우는 제외하고 공사장이 원인이 되어 발생한 241건의 교통사고자료를 이용하여 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 사고 심각도 분석을 실시하였다.

사고 심각도를 설명하기에 유의하게 나타난 변수들을 살펴보면 도로의 노면상태와 사고지점의

선형 및 가해차량의 공사차량여부, 사고당시 차량들의 공사장 진출입여부이다. 이렇게 개발된 사고 심각도 모형을 통하여 공사장 교통사고 발생위험성을 줄임으로써 교통사고로 인한 사회·경제적 손실비용을 줄일 수 있을 것으로 본다.

다만, 본 연구에서 제시된 공사장 교통사고 모형은 분석에 활용한 사고 자료가 수도권 지역에 한정되어 관측건수가 부족하다는 점과 물피사고가 전체 사고의 절반이상을 차지함에 따라 모형에서 설명변수들이 일반적인 상식과 반대의 영향을 미치는 것으로 분석되어진 점 등은 연구의 한계점이라 할 수 있겠다. 이러한 연구의 한계점을 보완하기 위하여 향후 보다 많은 공사장 사고자료를 수집하고, 차대차, 차대사람, 차량단독 등 사고유형으로 구분하여 모형을 구축할 필요가 있겠다. 또한 본 연구에서 고려된 변수 이외에 교통사고와 밀접한 관계를 보이는 것으로 판단되는 변수에 있어서는 통계적으로 유의하지 않게 나타난 변수에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 특히 공사장 환경 특성으로 표현할 수 있는 공사현장의 도로상태와 차로축소 등은 공사장 교통사고에 지대한 영향을 미칠 것으로 판단되나 분석결과 영향이 없는 것으로 나타나 이에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 일반적으로 교통사고에 영향을 미치는 주요인 운전자에 대한 인적요소에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 운전자의 단순 과실 및 법규 위반 등 운전자에 대한 인적요소를 제외한 상태에서 공사장 교통사고 심각도 모형을 개발하였으나 보다 정확하고 세밀한 분석을 위해서는 공사장과 관련된 모든 요소를 고려한 사고 심각도 분석이 이루어져야 할 것이다.

※ 본 논문은 지난 한국안전학회 2010년 춘계학술대회에서 발표되었던 내용을 토대로 수정·보완한 논문입니다.

참고문헌

- 1) 도로교통공단, 교통사고통계, 각년도
- 2) S. Mohan & W. C. Zech, "Characteristics of Traffic Accidents in Highway Work Zones", ITE Journal, Vol. 76, No. 4, pp. 73~78, 2006.
- 3) J. Daniel, K. Dixon, & D. Jared, "Analysis of Fatal Crashes in Georgia Work Zones", Transportation Re-

- search Record, No. 1715, pp. 18~23, 2000.
- 4) 박태훈, 박제진, 윤관, “고속도로 공사구간에서 발생하는 교통사고 특성에 관한 연구”, 한국ITS 학회논문지, 제7권, 제1호, pp. 127~136, 2008.
 - 5) Kelvin K. W. Yau, “Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong”, Accident Analysis and Prevention, 36, pp. 333~340, 2004.
 - 6) Kara Maria Konckelman, “Driver injury severity: An application of ordered probit models”, The university of texas at Austin, 2001.
 - 7) 이주연 외, “구조방정식모형을 이용한 고속도로 교통사고 심각도 분석”, 대한교통학회지, 제26권, 제2호, pp. 17~24, 2008.
 - 8) 하오근 외, “순서형 프로빗 모형을 이용한 사고심각도 분석”, 대한교통학회지, 제23권, 제4호, pp. 47~55, 2005.
 - 9) 심관보 외, “교통사고 심각도 분석 연구”, 대한교통학회 제34회 학술발표회, 1998.
 - 10) 주미영, “프로빗과 순차적 프로빗 분석에 대한 이해와 적용”, 정부학연구, 제6권, 제1호, pp. 24~48, 2002.
 - 11) 김홍준, “알기쉽게 배우는 기초 통계학: 확률분포 중심”, 도서출판 인터비전, 2006.