



지형구분에 따른 사고 심각도 모형 개발

Use of Terrain Types for the Development of Crash Models in National Roads in South Korea

민경찬*
Min Kyungchan

최재성**
Choi Jaisung

김상엽***
Kim Sangyoup

이수인****
Lee Suin

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로 건설시 차량의 기본적인 안전성을 확보하기 위하여 우리나라는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침」(건설교통부, 2000)이라는 설계기준을 제시하고 있다. 기본적인 안전성이 확보되었다고 해도 운전자의 부주의, 차량의 결함, 도로 환경적인 요소에 의해 사고는 발생할 수 있으며 그 심각도도 상이하다. 이러한 사고 빈도와 심각도의 원인을 찾기 위해 국내외로 많은 연구들이 진행되어 왔다. 사고의 빈도에 관한 연구는 운전자와 사고, 도로설계 요소와 사고의 관계를 규명하는 데 큰 비중을 싣고 있고(5, 10, 11) 심각도의 경우는 교차로에서 일어난 사고나 시설물 설치 시 심각도 감소 효과를 중심으로 연구가 진행되고 있다.(4, 9) 그런데 사고 심각도를 도로 지형에 따라 분석한 연구는 거의 없다. 이 연구가 필요한 이유는 도로를 설계할 때 지형을 산지부, 평지부로 구분하기 때문인데 이렇게 구분한 것이 실제 교통사고 심각도에 영향을 미치는지 실증적으로 규명해야 하기 때문이다. (설계 기준을 완화시키는 산지부에서 사고 심각도가 높아진다면 산지와 평지 구분은 잘못된 것이나, 산지부 설계기준이 바르지 않은 것이다.)



〈그림 1〉 미시령(좌)과 미시령터널(우)
자료 : 연합뉴스, 미시령 사고 빈발 이유 놓고 엇갈린 의견, 2007.11.20.

한 예로, 〈그림 1〉의 국내의 미시령의 사고 사례를 보면, 우리나라 강원도의 대표적 산지부 도로인 미시령은 터널이 개통되기 이전에는 낙후한 도로임에 따라 운전자가 스스로 저속운행을 함으로써 약 10건/년의 낮은 사고 건수를 나타냈

* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 02-2210-2990 (E-mail:minkc1000@uos.ac.kr)
** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2522 (E-mail:traffic@uos.ac.kr)
*** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 공학석사 · 02-2210-2990 (E-mail:road@uos.ac.kr)
**** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 02-2210-2990 (E-mail:suin1124@uos.ac.kr)



으나, 미시령 터널이 개통된 이후 운전자의 주행속도는 빨라졌으나 사고 건수는 약 20건/년으로 높아졌다. 그리고 도로 환경 및 차량의 주행속도에 따라 사고의 심각도도 달라졌다. 본 연구에서는 도로를 지형으로 구분했을 때 지형이 사고심각도에 영향을 미치는지 확인하고자 했으며 그 다음단계에서 사고심각도에 영향을 주는 도로 설계요소는 무엇인지 확인하고자 했다.

1.2 연구의 범위 및 수행방법

연구의 내용적 범위는 설계단계에서 지형에 따른 도로의 안전성을 평가분석하며, 연구의 공간적 범위는 일반국도의 평지부와 산지부에서 발생하는 교통사고(24개지점, 137건의 사고)를, 시간적 범위는 2002년~2003년으로 2년간의 교통사고를 대상으로 분석한다.

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 수행한다.

- (1단계) 지형구분 관련 문헌과 도로 안전성 평가모형의 기존연구 자료를 고찰하고, 사고심각도 모형에 대하여 이론적으로 고찰한다.
- (2단계) 일반국도 사고데이터를 수집하고, 분석구간을 설정하여 데이터를 정리한다.
- (3단계) 순서형 로짓 모형을 이용하여 사고심각도에 영향을 미치는 요인을 분석한다.
- (4단계) 1인당 사고비용을 종속변수로 하는 다중회귀분석을 사용하여 지형별 모형을 개발한다.
- (5단계) 정립된 모형을 이용하여 사고심각도에 미치는 설계요소를 분석한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1 기존연구 고찰

John Milton과 Fred Mannering(1998)은 워싱턴주 주요 간선도로부의 1992-1993년도 31,306건의 사고자료를 활용하여, 본선거리, 편경사, 연평균일교통량(AADT), 차선수, 길어깨, 종단경사, 횡단경사와 사고건수와의 관계를 음이항회귀식을 사용하여 모형을 개발하였다. 모형분석 결과, 도로구간길이가 0.4km 증가할 때마다 0.319씩 사고수가 증가하며, 종단경사가 1%보다 크고 차선당 AADT가 증가하면 사고수가 증가하였다.

이기영 등(1999)은 음이항회귀모형을 통해 고속도로의 고속버스 사고모형을 개발하였고, 독립변수로 인적요인, 기하구조 및 환경요인, 그리고 기타요인 등 포괄적인 범위의 변수를 적용하였다. 모형분석결과 운전경력이 많을수록, 곡선반경이 클수록, 그리고 종단경사가 낮을수록 사고건수가 낮게 나타났다.

Kay Fitzpatrick(2000) 등은 사고분석에 있어서 기하구조변수로써 차로폭, 중앙분리대의 유/무, 곡선반경, 편향각 등을 적용하여 사고와의 관계를 규명하였다. 특히 차로폭이 동일하지 않은 도로구간에 있어서는 중요변수로 작용함을 모형을 통해 제시하였다. 즉, 연구결과 차로폭이 넓을 수록 사고수는 감소하는 것으로 나타났다.

위 연구들은 도로 기하구조가 사고빈도에 미치는 영향에 관해 분석함으로써 다양한 설계요소를 설명변수로 사용하여 모형을 개발하고자 하였다. 반면, 사고수나 사고빈도와 달리 사고심각도와 관련한 기존 연구들은 대부분 교차로분석에 관한 것으로 도로의 기하구조와 관련한 사고심각도 모형에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며 드물게 Hassan(2001), 이수범 등(1998), 박민호 등(2006)이 사고 심각도와 도로시설 특성에 대한 연구를 수행한 바 있다.

또한 본 연구에서는 도로 지형을 구분하기 위해 고도와 경사도에 따른 지형분류와 지형분류에 따른 그룹 간 주행속도의 유의성 분석 결과를 근거로 해서 <표 1>과 같이 평지, 구릉지, 산지로 우리나라 지형을 구분한 연구 결과를 그대로 적용한다.



〈표 1〉 지형 구분 결과

구 분	고도 0m~100m	고도 100m~400m 이하	고도 400m 이상
경사도 0° ~5°	평 지	평 지	산 지
경사도 5° ~10°	평 지	구릉지	산 지
경사도 10° 이상	구릉지	산 지	산 지

2.2 사고심각도 모형에 대한 이론적 고찰

본 연구에서는 사고 심각도를 종속변수로 하고 도로 설계 제원 요소 및 지형구분을 독립변수로 적용하여 분석하였다. 사고심각도의 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 위해서 순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model)을 이용한다. 사고심각도는 이산형 서열자료이므로 순서화된 다항의 선택을 다룰 수 있도록 고안된 이 모형을 요인 분석 모형으로 사용하고, 순서형 로짓모형에 대한 기본 이론에 대해 살펴보면 다음과 같다.

로짓모형은 사건 발생 확률과 비발생 확률로 나누어 비의 형태로 만든 다음에 이를 자연대수로 변환한 통계량으로 정의되며, 순서형 로짓모형의 기본식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 Prob(y \leq j | x) &= F(\mu_j - \sum \beta_k x_k) = L(\mu_j - \sum \beta_k x_k) \\
 &= \frac{e^{\mu_j - \sum \beta_k x_k}}{1 + e^{\mu_j - \sum \beta_k x_k}} \tag{1}
 \end{aligned}$$

로짓 모형의 특성중 하나가 설명변수를 로그 오즈(Log odds)값을 나타낼 수 있고, 이는 다른 변수가 고정되었을 때의 해당 독립변수의 사건 발생 정도를 나타내는 것이다. 이 때 주로 승산비(odd ratio)를 이용하여 나타내는데, 사건 발생확률을 P1, 비발생 확률을 P0라 하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Odd\ Ratio &= \frac{\frac{P_1}{(1-P_1)}}{\frac{P_0}{(1-P_0)}} = \frac{LOGIT\ P_1}{LOGIT\ P_0} \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\ln(Odds\ Ratio) = LOGIT\ P_1 - LOGIT\ P_0$$

이를 로짓모형의 일반식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 Odd\ Ratio &= \frac{P_1(1-P_0)}{P_0(1-P_1)} \\
 &= \frac{[\frac{\exp(\alpha + \beta)}{1 + \exp(\alpha + \beta)}][1 - \frac{\exp(\alpha)}{1 + \exp(\alpha)}]}{[\frac{\exp(\alpha)}{1 + \exp(\alpha)}][1 - \frac{\exp(\alpha + \beta)}{1 + \exp(\alpha + \beta)}]} \tag{3} \\
 &= \frac{\exp(\alpha)\exp(\beta)}{\exp(\alpha)} \\
 &= \exp(\beta)
 \end{aligned}$$



결국 Odds ratio는 $\exp(\beta)$ 가 되며, 다른 변수를 고정시켰을 때, 이 Odds Ratio를 이용하여 개별 설명변수의 영향도를 분석할 수 있다. 또한, 최종적으로 도출된 모형에 대하여 모델의 검증방법은 모델의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)와 모형의 적합성을 검증하는 χ^2 (Chi-Square)값을 이용한다. 여기서 ρ^2 (우도비)는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모델의 적합도가 높다고 평가되며 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\cdot)}{LL(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (4)$$

여기서, $LL(\cdot)$: Log Likely Function
 $LL(0)$: Restricted Log Likelihood

그 다음 단계로 지형을 구분한 후 사고 심각도에 영향을 미치는 도로 설계요소를 확인하기 위한 모형은 다중회귀모형(multiple regression model)으로 산정하였다. 다중회귀모형은 독립변수와 종속변수의 선형관계를 파악하는 분석 모형으로서 본 연구에서는 사고심각도를 고려하기 위해 종속변수를 사고비용으로 사고심각도와 상관성이 높은 도로설계요소 독립변수로 선정해 분석하였다. 다중회귀모형의 기본 식은 식(5)와 같다.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (5)$$

3. 자료 수집 및 분석구간 설정

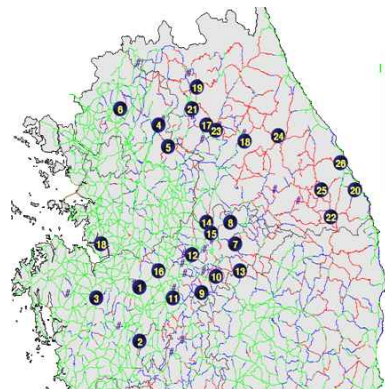
3.1 자료 수집

본 연구에서는 2002~2003년간 전국 일반국도 26개 지점에서 발생한 145건의 사고 데이터를 토대로 사고 심각도 및 기하구조 상관 분석 자료로 이용하였다. 지형구분은 위에서 제시한 최 등(2006)의 방법론을 따라 분류하여 사고 및 도로 기하구조 데이터를 결합하였다. 결합한 결과, 구릉지의 자료 수는 2곳에서 총 9개의 데이터밖에 확보하지 못해서 모형구축에 어려움이 있다고 판단하였다. 따라서 구릉지를 제외하고 평지 및 산지에 대해서 데이터를 분석하였다. 최종적으로 총 24개 지점에서 발생한 137개 자료를 본 연구 자료로 사용하였고, 자세한 수집 범위 및 위치는 <표 2>와 같다.

<표 2> 자료 수집 범위 및 대상지

고도	0m~100m	400m이하	400m이상
경사도			
0° ~ 5°	7개	2개	1개
5° ~ 10°	3개	2개	4개
10° 이상	0개	5개	2개
구 분	평지	구릉지	산지
지점수	12	2	12
곡선길이(m)	120~400	120~180	100~260
곡선반경(m)	100~700	270~770	80~160
중단경사(%)	0~6.5	0~1.2	5~11
도로 폭(m)	3.0~4.4	3.5	3.5~4.3
길 어 개(m)	0.2~3.3	0.8~1.2	0.4~3.2

주) 구릉지는 자료가 부족하여 본 연구에서 제외함.





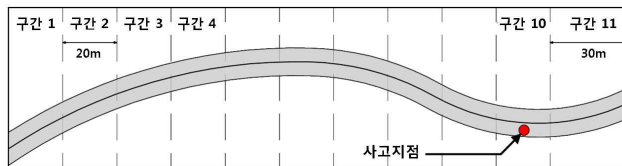
3.2 분석구간 설정

AASHTO(2004)에서는 <표 3>과 같이 판단시거를 제시하고 있다. 설계속도와 도로가 통과하는 지역 그리고 운전자가 정지, 경로변경 및 속도 조절에 따른 판단시거 값을 제시하고 있다. 본 연구에서는 지방지역의 일반국도를 대상으로 하므로 230m를 판단시거로 가정하고 분석구간을 설정하였다.

<표 2> 판단시거

설계속도 (km/h)	판단시거 (m)					A : Stop on rural road - t = 3.0s B : Stop on urban road - t = 9.1s C : Speed/Path/direction change on rural road - t varies between 10.2 and 11.2s D : Speed/Path/direction change on suburban road - t varies between 12.1 and 12.9s E : Speed/Path/direction change on urban road - t varies between 14.0 and 14.5s
	A	B	C	D	E	
50	70	155	145	170	195	
60	95	195	170	205	235	
70	115	235	200	235	275	
80	140	280	230	270	315	
90	170	325	270	315	360	
100	200	370	315	355	400	

구체적으로 <그림 2>를 살펴보면, 사고지점을 구간 10을 중심에 위치하도록 한 후, 사고지점 이전 구간은 20m 단위로 9개의 구간으로 구분하였다. 또한, 사고지점 이후 구간은 30m 단위로 1개의 구간으로 구분하여, 각 구간별 기하구조 자료를 구축하였다.



<그림 2> 분석구간 설정

4. 모형 정립

수집된 자료를 바탕으로 사고심각도에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 순서형 로짓 모형을 통하여 분석한다. 분석된 변수들을 설명변수로 사용하여 지형별 사고심각도 모형을 개발하고, 모형의 계수들을 해석하여 지형별 사고심각도와 관련된 요인들을 분석한다. 종속변수로 계량화된 1인당 사고비용(만원/인)을 활용하였고, 이는 심각도 등급에 의한 구분을 정량화 시킬 수 있으므로 다른 변수에 비해 지형별 안전성 평가 비교에 있어 가장 합리적이라 판단되어 사용한다. 또한 구축한 모형의 계수 분석 및 탄력도 분석을 통하여 지형별 사고심각도에 영향을 미치는 설계요소에 관해 분석한다. 그리고 다중회귀분석모형 개발시 문제가 될 수 있는 다중공선성을 분석하여 모형의 적합성을 검토한다.

4.1 순서형 로짓 모형을 이용한 사고 심각도에 영향을 미치는 요인 분석

본 연구의 사고심각도 모형 구축에 앞서 사고심각도와 각 변수간의 관계는 어떤지 알아 볼 필요가 있다. 따라서 수집된 자료를 이용하여 각 변수의 기초통계량 분석을 실시하고, 각 변수를 설명하기 위하여 통계패키지 STATA/SE 9.0을 이용하여 변수의 Odds ratio 분석을 실시한다. 총 137개 사고건수에서 사고심각도를 종속변수로 설정하여 총 12개의 변수를 분석하고, 그 결과는 다음과 같다.



〈표 4〉 변수의 기초통계량 분석 및 Odds ratio 분석

변수	최소값	최대값	평균	표준편차	Odds Ratio	z통계량	유의수준
사고심각도 ¹	0	3	1,510949	0,932397	-	-	-
제한속도(km/h)	60	80	69,19708	10,00429	0,966484	-0,80	0,426
운행속도(km/h)	62,4	91,2	75,85328	10,08703	0,990216	-0,23	0,815
제한속도-운행속도(km/h)*	0,625	24,16667	11,53802	6,982172	1,000032	0,39	0,694
차로당 교통량(대/일)	991,75	14764,5	5104,064	4095,54	1,990508	2,90	0,004
곡선길이(m)	80	260	158,3942	55,75991	0,809418	-3,23	0,001
직선길이(m)	20	220	125,6204	46,23885	0,774807	-3,38	0,001
곡선반경(m)	98	800	347,1445	222,7475	0,709918	-7,05	0,000
중단경사 (%)	0	10	4,480292	3,090018	1,262235	2,25	0,010
차로폭(m)	2,8	4,6	3,713139	0,387454	0,910443	0,82	0,414
길어깨(m)	0,2	3,5	1,629927	1,052823	0,395828	-9,27	0,000
중앙분리대 ²	0	1	0,357664	0,481072	0,397583	-4,88	0,000
지형구분 ³	0	1	0,474453	0,501179	3,423418	6,12	0,000

주) 사고심각도¹ : 0-물피, 1-경상, 2-중상, 3-사망

중앙분리대² : 0-없음, 1-있음

지형구분³ : 0-평지, 1-산지

각 변수의 설명력을 나타내는 z통계량은 95% 신뢰수준에서 -9.27 ~ 6.12를 나타냈고, 유의수준은 운행속도 변수가 0.815로 가장 높아 설명력이 가장 떨어지는 것으로 나타났다. 결론적으로 총 12개의 변수중 제한속도, 운행속도, 제한속도-운행속도의 차이, 차로폭은 유의수준 0.05이상으로 분석되어 본 연구의 모형분석에서 제외한다. 그 외 유의수준 0.05미만인 설명변수에 대한 사고심각도에 미치는 영향을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

차로당 교통량은 평균 5104대/일로 나타났고, 표준편차는 4095.54대/일로 분석되었으며, Odds Ratio 값이 약 1.99로 1을 초과하므로 차로당 교통량이 많을수록 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 수집된 사고자료의 곡선길이는 평균 약 158m이며, Odds Ratio 값이 약 0.80으로 1미만이므로 길수록 사고심각도가 낮아지는 것으로 나타났다. 마찬가지로 직선길이 또한 Odds Ratio 값이 약 0.77로 1미만이므로 길수록 사고심각도가 낮아짐을 나타낸다.

또한, 곡선반경은 최소 98m에서 최대 800m까지 분포하고, Odds Ratio 값이 약 0.71로 곡선반경이 커질수록 사고심각도가 낮아지는 것으로 나타났다. 반면 중단경사(절대값)는 Odds Ratio 값이 약 1.26으로 1을 초과하므로 중단경사가 높을수록 사고심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 그리고 분석한 자료의 차로폭은 평균 약 3.7m이며, Odds Ratio 값이 0.91로 폭이 넓을수록 사고심각도가 낮아지는 것으로 나타났고, 길어깨는 평균 약 1.6m이며, Odds Ratio 값이 약 0.40으로 폭이 넓을수록 사고심각도가 낮아지는 것으로 분석하였다. 또한, 중앙분리대의 Odds Ratio 값은 약 0.40으로 1미만의 값을 가지며, 이는 중앙분리대가 없는 것보다 있는 것이 사고심각도 감소에 많은 영향을 끼치는 것으로 판단하였다.

끝으로 지형구분의 Odds Ratio 값은 무려 약 3.42로 1을 크게 초과하는 것으로 나타나 평지부가 산지부보다 사고심각도 감소에 끼치는 영향이 많다는 것을 의미하며, 값이 다른 분석된 변수들보다 월등히 높아 본 연구의 가장 중요한 변수로 판단하였다.

* 제한속도와 운행속도의 차이 = $\frac{(\text{운행속도} - \text{제한속도})}{\text{제한속도}}$



4.2 지형구분에 따른 사고심각도와 도로설계제원의 관계

중속변수로 1인당 사고비용을 이용하고, 총 생산손실계산법(The Gross Loss of Output Approach)로 계량화하여 사용함으로 사고심각도를 분석한다. 사망사고의 경우 도로교통안전관리공단(2007), 「'06년 도로교통 사고비용의 추계와 평가」를 참고하여 산정하고, 현재 인피의 경우 사망과 중상으로만 구성되어 있어 영국의 사고비용 비율을 고려하여 중상과 경상을 따로 구분지어 사고 심각도별 사고비용을 산정한다.

$$CC = \frac{41,318D + 1,527.12I + 166.44W + 109P}{1000} + 14.58 \times \alpha + 9.58 \times \beta \quad (6)$$

인적피해비용
물적피해비용
차량손상비용
대물비용

CC : 총 사고비용(만원), D : 사망자수(명), I : 중상자수(명), W : 경상자수(명), P : 물피수(개)
 α : 차량손상 계수(14.58), β : 물피 계수(9.58)

산정된 지형별 1인당 사고비용을 살펴보면, 평지부의 사고심각도는 낮은 것으로 나타났고 산지부의 경우 1인당 사고비용이 1,530만원으로 평지부에 비해 사고건수는 적으나, 대형교통사고가 많아 교통사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다.

〈표 5〉 지형별 1인당 평균 사고비용

구 분	총 사고건수 (건/2년)	총 사고인원 (명/2년)	총 사고비용 (만원/2년)	1인당 사고비용 (만원/인)
평지부	71	108	165,370	1,530
산지부	66	120	414,350	3,450

The bar chart displays three categories of accident statistics for two terrain types: 평지부 (Flatland) and 산지부 (Mountainous). For total accidents (총 사고건수), flatland has 71 and mountainous has 66. For total casualties (총 사고인원), flatland has 108 and mountainous has 120. For per capita accident cost (1인당 사고비용), flatland is 1,530 and mountainous is 3,450. The bars are color-coded: light blue for flatland and pink for mountainous.

앞서 사고심각도에 영향을 미치는 변수에 대한 분석을 시행하였으나, 지형별로 자료를 구분했을 경우의 각 모형에 사용되는 독립변수들을 찾기 위해 상관분석을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다. 평지부의 경우 곡선길이와 직선길이, 곡선반경, 종단경사, 길어깨, 중앙분리대가 상관계수 0.5이상, 유의확률 0.05이하인 설명변수로 분석되었다. 반면, 산지부의 경우 곡선반경, 종단경사, 길어깨, 중앙분리대가 분석조건에 충족하는 설명변수로 나타났다.

〈표 6〉 기하구조와 사고비용

구 분		차로당교통량 (veh/lane)	곡선길이 (m)	직선길이 (m)	곡선반경 (m)	종단경사 (%)	도로폭 (m)	길어깨 (m)	중앙분리대 (유/무)
평지부	상관계수	-0.294	-0.700	-0.673	-0.635	0.609	-0.423	-0.706	-0.668
	유의확률	0.112	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.200	0.0001	0.0001
산지부	상관계수	0.770	-0.470	-0.370	-0.810	-0.764	0.315	0.671	-0.564
	유의확률	0.0001	0.068	0.089	0.0001	0.002	0.241	0.010	0.0001



통계프로그램인 SPSS를 이용하여 각 지형별 다중회귀모형을 산정하였고, 먼저 1인당 사고비용을 종속변수로 하여 정립된 평지부 모형은 <표 7>과 같다. 곡선길이가 종단경사가 커질수록 1인당 사고비용은 높아지는 것으로 나타났으며, 직선길이, 곡선반경, 도로 횡단폭은 커질수록 1인당 사고비용은 낮아지는 것으로 나타났다.

또한, 다중상관계수가 0.90에 근접한 것으로 나타나 변수와 변수들 간의 강도가 상당히 밀접하게 관련되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 결정계수(R^2)이 0.71로 설명력이 있는 것으로, Dubin-Waston이 1.67로 2에 가까우므로 오차항은 독립인 것으로 분석하였고, Sig.가 0.001로 0.05보다 작으므로 모형은 유의한 것으로 나타났다.

$$CC = -4.37CL - 3.55TL - 29.14R + 12.19G - 15.44S - 42.21M + 1502.08 \quad (7)$$

여기서, CC : 1인당 사고비용(만원/인), CL : 곡선길이(m), TL : 직선길이(m)
 R : 곡선반경(m), G : 종단경사(%), S : 길어깨(m), M : 중앙분리대(무:0,유:1)

<표 7> 평지부 기하구조의 모형산정 결과

회귀분석 통계량 (Model Summary)		A N O V A					
신뢰수준	95%		제공합	자유도	제공평균	F비	유의한 F비
다중상관계수(R)	0.84	회귀	8.17E+6	6	1.36E+6	14.38	0.001
결정계수(R^2)	0.58	계	1.43E+7	71			
조정된 결정계수	0.61	계	1.01E+7	64			
Dubin-Watson	1.66						

1인당 사고비용을 종속변수로 하여 정립된 산지부 모형은 <표 8>과 같다. 종단경사는 커질수록 1인당 사고비용은 높아지는 것으로 나타났으며, 곡선반경, 도로 횡단폭은 커질수록 1인당 사고비용은 낮아지는 것으로 분석하였다.

또한, 다중상관계수가 0.90에 근접한 것으로 나타나 변수와 변수들 간의 강도가 상당히 밀접하게 관련되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 결정계수(R^2)이 0.73으로 설명력이 있는 것으로, Dubin-Waston이 2에 가까우므로 오차항은 독립인 것으로 분석하였고, Sig.가 0.001로 0.05보다 작으므로 모형은 유의한 것으로 나타났다.

$$CC = -16.72R + 84.38G - 91.34S - 51.33M + 1084.72 \quad (8)$$

여기서, CC : 1인당 사고비용(만원/인), R : 곡선반경(m), G : 종단경사(%),
 S : 길어깨(m), 중앙분리대(무:0,유:1)

<표 8> 산지부 기하구조의 모형산정 결과

회귀분석 통계량 (Model Summary)		A N O V A					
신뢰수준	95%		제공합	자유도	제공평균	F비	유의한 F비
다중상관계수(R)	0.85	회귀	3.20E+6	3	6.30E+6	5.52	0.001
결정계수(R^2)	0.73	잔차	6.90E+6	61	1.10E+5		
조정된 결정계수	0.61	계	1.01E+7	64			
Dubin-Watson	1.66						



4.3 결과분석

먼저 Oddered Logit 모델을 이용하여 사고심각도에 미치는 변수들에 대해서 조사하였다. 분석결과 곡선길이와 직선길이, 곡선반경, 종단경사, 길어깨, 중앙분리대, 지형구분이 통계적으로 유의한 설명변수라고 판단하였다. 특히, 지형구분의 차이는 Odds Ratio 값이 약 3.42로 1을 크게 초과하여 사고심각도에 가장 큰 영향을 끼치는 변수임을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 평지와 산지의 기하구조 차이에 따른 사고심각도 모형을 구축하며 각 지형별 사고요인에 대해 고찰한다.

그리고 도로설계요소가 사고심각도에 미치는 영향을 분석하고자 지형별로 구축한 모형의 계수를 분석하였고, 평지부와 산지부의 변수들을 비교하기위해서 탄력도를 분석하였다.

〈표 9〉 모형의 계수 및 탄력도 분석 결과

계수 분석			탄력도 분석		
설 명 변 수	평 지 부	산 지 부	설 명 변 수	평 지 부	산 지 부
곡선길이 (m)	-4.37	-	곡선길이 (m)	-0.003	-
직선길이 (m)	-3.55	-	직선길이 (m)	-0.003	-
곡선반경 (m)	-29.14	-16.72	곡선반경 (m)	-0.021	-0.012
종단경사 (%)	12.19	84.38	종단경사 (%)	0.009	0.059
길 어 깨 (m)	-15.44	-91.34	길 어 깨 (m)	-0.011	-0.064
중앙분리대(유/무)	-42.21	-51.33	중앙분리대(유/무)	-0.030	-0.036

모형개발 결과 평지부와 산지부의 결정계수가 모두 0.6이상으로 모형의 설명력이 있으며, 유의수준이 모두 0.05이하로 모형은 95% 신뢰수준에서 유의하는 것으로 분석하였다. 개발한 모형의 각 계수들을 해석해보면 곡선길이(CL)와 직선길이(TL)가 모두 음의 값으로 길수록 사고비용이 감소한다고 해석할 수 있다.

또한 곡선반경(R)의 계수는 평지부 -29.14, 산지부 -16.72로 모두 음의 값을 나타내어 곡선반경이 클수록 사고비용이 감소한다고 해석하였다. 이는 곡선반경이 커질수록 사고는 감소한다는 이기영 등(1999)의 분석결과와 비슷한 맥락이다. 두 지형의 변수 간 탄력도를 보면, 평지부가 산지부보다 2배가량 높으며 이는 평지부가 곡선반경에 따른 사고비용감소에 영향을 크게 받는 것으로 해석할 수 있으므로 평지부 도로설계시 산지부보다 더 신중한 곡선반경 고려가 필요하다.

반면 종단경사(G)의 계수는 산지부와 평지부 모두 양수로 종단경사가 클수록 사고비용이 증가하는 것을 의미한다. 이는 종단경사가 커질수록 사고수가 증가한다는 F. Mannering(1998)의 연구결과와 마찬가지로 사고비용, 즉 사고심각도 또한 종단경사가 커질수록 증가하는 것으로 나타났다. 탄력도 분석결과 산지부는 0.059로 평지부의 탄력도 0.009보다 월등히 높아 산지부가 종단경사에 따른 사고심각도 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서 도로설계 단계의 안전성 진단시 종단경사에 대한 신중한 검토가 필요하며, 특히 산지부의 경우 평지부보다 안전성검토 단계에서 추가적인 노력이 필요하다.

길어깨(S)의 경우 계수의 값이 평지부 -15.44, 산지부 -91.34로 모두 음수이므로 길어깨의 폭이 넓을수록 사고심각도는 낮아진다고 해석할 수 있다. 이는 도로폭이나 길어깨가 넓을수록 사고는 감소한다는 Fitzpatrick의 연구와 비슷한 결과를 제시하고 있으며, 산지부의 탄력도가 평지부의 탄력도보다 훨씬 크므로 산지부가 평지부보다 길어깨가 사고심각도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

중앙분리대의 경우 기존의 연구뿐만 아니라 지침 등에서도 사고심각도에 영향이 큰 것으로 제시하고 있고, 마찬가지로 본 연구에서도 평지부 -42.21, 산지부 -51.33인 음의 값으로 중앙분리대가 있으면 사고심각도는 감소하는 것으로



나타났다. 즉, 산지부의 경우 동일한 기하구조의 도로를 비교했을 경우 중앙분리대가 있으면 없는 경우보다 1인당 사고비용이 51.33 만원 감소한다고 해석할 수 있다. 박민호 등의 연구는 중앙분리대가 있을 때 사망사고의 감소 및 부상사고의 증가에 대해서 논의하여 사고심각도의 증감을 알 수 없었지만, 본 연구결과는 사고비용의 감소로 사고심각도의 감소가 있음을 보여주었다.

분석된 모형의 각 계수들을 종합적으로 해석해보면 평지부의 경우 곡선반경의 탄력도가 -0.021, 중앙분리대가 -0.030으로 다른 계수들에 비해 높게 나타났다. 이는 평지부 도로의 설계요소 중에서 곡선반경과 중앙분리대가 다른 요소들보다 사고심각도에 미치는 영향이 크다고 해석할 수 있고, 실제 도로설계 및 안전성 평가에 있어 곡선반경과 중앙분리대의 더욱 신중한 고려가 필요하다고 판단한다. 또한 산지부의 경우 종단경사의 탄력도가 0.059, 길어깨의 탄력도는 0.064의 값으로 다른 변수들에 비해 높게 나타나므로 산지부 도로의 설계단계에서 다른 설계요소들보다 종단경사와 길어깨의 신중한 검토가 필요하다.

한편 다중회귀분석에서는 다중공선성(Multicollinearity) 문제가 야기될 수도 있다. 다중공선성이란 서로 상관관계를 가지는 변수들이 독립변수로 회귀모형에 함께 포함되면 그 변수들의 계수값들은 과대 또는 과소 추정되는 것을 말한다. 따라서 다중공선성 정도를 분석할 필요가 있는데, 본 연구에서는 공차한계(Tolerance)와 분산팽창요인(Variance Inflation Factor, VIF)을 이용하여 분석하였다. 공차한계란 투입한 설명변수로 설명 못하는 총 변동부분을 의미하며, 분산팽창요인은 추정된 회귀계수들의 분산값들의 팽창 정도를 의미한다. 일반적으로 공차한계가 0.1 이하, 분산팽창요인이 10 이상이면 다중공선성이 있다고 판단하고, 공차한계와 분산팽창요인이 1에 가까울수록 다중공선성이 없다고 판단한다. 분석결과 모든 변수에서 공차한계는 0.1 이상이며, 분산팽창요인은 10 미만이고, 모두 1에 가까운 값을 나타내므로 본 연구에서 정립한 모형은 변수 간 다중공선성이 없다고 볼 수 있다.

〈표 10〉 다중공선성 진단 결과

평 지 부			산 지 부		
변 수	공차한계(Tolerance)	분산팽창요인(VIF)	변 수	공차한계(Tolerance)	분산팽창요인(VIF)
곡선길이 (m)	0.707	3.252	곡선반경 (m)	0.866	1.767
직선길이 (m)	0.876	2.099	종단경사 (m)	0.536	2.233
곡선반경 (m)	0.661	2.210			
종단경사 (%)	0.225	2.448	길 어 깨 (m)	0.742	2.124
길 어 깨 (m)	0.898	1.113	중앙분리대(유/무)	0.797	1.928
중앙분리대(유/무)	0.853	1.381			

5. 결론

지금까지 지형 및 도로안전성과 관련된 기존연구 고찰과 사고자료 수집을 바탕으로 사고심각도에 미치는 도로설계 제원요소가 무언인지를 분석하였다. 그 결과 기하구조의 차이 즉, 지형구분이 사고심각도에 가장 큰 영향을 끼치는 변수임을 확인하였고, 따라서 지형구분에 따른 사고심각도의 모형을 개발하고 각 설계요소를 분석하였다. 이에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 전국 일반국도 24개 지점에서 발생한 137건의 사고 데이터를 사용하여 사고심각도에 영향을 미치는 변수를 분석하였다. 총사고비용을 종속변수로 하여 각 변수의 기초통계량 분석 및 순서형 로짓 모형 분석결과 사고심각도에 지형구분이 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 즉, 지형이 다르면 차별적인 안전성 검토가 필요하며, 본 연구에서는 지형별 사고심각도 모형을 구축함으로써 이러한 문제점을 해결하고자 하였다. 지형별 사고심각도 모형개발 결과 평지부 기하구조에서 곡선길이와 직선길이, 곡선반경, 종단경사, 길어깨, 중앙분리대가 상관계수 0.5이상, 유의확률



0.05이하인 설명변수로 나타났다. 그리고 산지부 기하구조의 경우 곡선반경, 종단경사, 길어깨, 중앙분리대가 분석조건에 충족하는 설명변수로 나타났다.

둘째, 본 연구에서 개발한 모형의 각 설명변수 계수들을 해석하여 실제 도로설계단계의 안전성 진단시 필요성을 검토하였고, 기하구조별 사고심각도에 미치는 영향에 대해 논의하였다. 그 결과 평지부의 경우 곡선반경과 중앙분리대 유무가 사고심각도에 미치는 영향이 가장 크며, 산지부의 경우 종단경사와 길어깨가 사고심각도에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 해석되었다. 따라서, 평지부의 도로설계에 있어 곡선반경과 중앙분리대의 신중한 검토가 필요하며, 산지부 지형에서는 종단경사와 길어깨를 신중하게 검토하여 설계해야 한다. 단, 제시된 설계요소를 신중하게 검토하여 설계하되 다른 설계제원에 관해서도 최소한의 기준을 확보하여야 안전성 높은 도로의 설계가 이루어질 수 있다.

끝으로 모형개발에 있어 변수들의 유의성을 순서형 로짓 모형과 다중회귀분석을 통해 다방면으로 검토하여 통계적으로 모형의 적정성을 확보하였다. 특히 다중회귀분석모형 개발시 문제가 될 수 있는 다중공선성을 분석하여 모형의 적합성을 검토하였고, 분석결과 다중공선성이 없어 모형의 각 변수간 상관관계가 없는 독립변수로써 합당한 것으로 나타났다.

본 연구는 수집자료를 일반국도 사고자료를 사용하였지만, 국도를 제외한 고속도로나 지방도 등의 추가적인 자료가 필요하며, 이에 따른 사고심각도 연구가 미흡하므로 보완적인 더 연구가 필요하다. 또한 안전한 도로설계를 위해 가장 먼저 고려해야 할 지형구분을 사고모형에 반영하였지만, 데이터의 부족 및 기존 연구자료의 부족 등의 문제로 인하여 기하구조 분류에 있어 한계가 있다. 그러나, 본 연구에서 개발된 모형은 사고심각도를 최소화 하는 도로의 설계 및 안전성 평가시 사용될 수 있다는 점에 의의가 있고, 향후 유사연구의 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 강승립 (2003), “고속도로 선형조건과 GIS 기반 교통사고 위험도지수 분석”, 대한교통학회 제21권 제1호 pp.21-40
2. 건설교통부 (2000), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, 건설교통부 pp.46-217
3. 도로교통안전관리공단 (2007), “06년 도로교통 사고비용의 추계와 평가”, 도로교통안전관리공단, pp.45-93
4. 박민호 (2006), “중앙분리대 설치에 따른 사고전환효과 분석”, 대한교통학회지 제24권 제2호 pp.113-124
5. 이기영 (1999), “고속도로 사고모형의 개발과 적용-확률회귀모형을 이용한 버스사고 요인분석”, 제36회 대한교통학회 학술발표회 pp.117-122
6. 최재성 (2006), “도로설계 적정화를 위한 새로운 지형구분에 관한 연구”, 한국도로학회논문집 제8권 제4호 pp.49-62
7. AASHTO(2004), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – 5th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials", Washington D.C., USA., p. 115
8. Bhagwant Persaud, Richard A. Retting, and Craig Lyon(2000), "Guidelines for Identification of Hazardous Highway Curves", Transportation Research Record vol 1717, pp. 14-18
9. Hassan Abdelwahab and Mohamed A. adbel-Aty (2001), "Development of Artificial Neural Network Models to Predict Driver Injury Severity in Traffic Accidents at Signalized Intersections", Transportation Research Board vol 1746, pp. 6-13
10. Milton, John and Fred Mannering (1998), "The Relationship Among Highway Geometries", 11. Traffic-related Elements and Motor-vehicle Accident Frequencies Transportation 25, pp.395-413.
11. Fitzpatrick, K. et. al. (2000), “Speed prediction rot two lane rural highways”, Research report FHWA-RD, pp.99-171.