■ 政策硏究 ■

고속도로 평면선형상 사고빈도분포 추정을 통한 음이항회귀모형 개발
(기하구조요인을 중심으로)

Fitting Distribution of Accident Frequency of Freeway Horizontal Curve Sections & Development of Negative Binomial Regression Models

강 민 욱
(한양대학교 교통공학과 석사과정)

도 철 웅
(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

손 봉 수
(연세대학교 도시공학과 부교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 절차
Ⅱ. 문헌 고찰
1. 구간분할 방법
2. 사고모형의 이론적 고찰
3. 기존 연구현황
Ⅲ. 사고분포의 추정
1. 단일곡선구간에서의 사고분포 추정
2. 배향곡선구간에서의 사고분포 추정
Ⅳ. 모형 개발 및 결과분석
1. 모형개발
2. 결과분석
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 교통사고, 구간분할법, 기하구조, 적합도 검정, 음이항회귀모형, 음이항분포

요 약

교통사고예측 및 예방을 위해서는 실제적으로 도로설계과정에서 제어가 가능한 도로 기하구조요소에 대한 사고관계를 파악함이 타당하다. 즉, 도로의 설계자는 도로건설에 앞서 기하구조요소와 사고와의 관계를 현장자료를 통해 정확히 밝혀 도로설계에 반영해야 한다. 이를 위해, 교통사고의 빈도분포를 밝히는 것은 가장 기본이 되는 일이며, 교통사고 예측모형개발에 선행되어야 한다.

일반적으로 교통사고건수의 경우 분산이 평균보다 큰 과분산(overdispersion)의 특징을 가지고 있어 음이항분포를 따른다고 알려져 있다. 따라서 본 논문은 사고모형의 개발에 앞서, 사고발생지점에 대한 도로설계요소와 기타 잠재적인 사고발생 관련요인이 비교적 잘 파악되어있는 호남고속도로를 중심으로 평면선형상 곡선부에 대하여 교통사고의 분포를 적합도 검정을 통해 알아보고자 하였다. 사고자료는 한국도로공사의 호남고속도로 5년(1996~2000)간 자료를 분석에 맞게 정리하였으며, 강민욱과 송봉수(2002)에서 제시한 평면선형에 있어서의 구간분할법을 이용하여 배향곡선구간과 단일곡선구간에 대한 사고분석을 하였다.

적합도 분석결과, 예상대로 음이항분포가 사고건수를 설명하기에 가장 적합한 확률분포로 제시되었으며, 이를 통해 최우추정법을 이용한 음이항회귀모형을 개발하였다. 구간분할법을 적용한 음이항회귀모형의 경우, 기존의 확률회귀모형에 비하여 높은 결정계수를 갖았으며, 모형에서 적용된 기하구조요소로는 차량노출계수, 곡선반경, 단위거리 당 편경사변화값 등이다.

본 연구는 한국과학재단 첨단도로연구센터 연구지원으로 수행되었음.

Ⅰ. 서론

1. 연구배경 및 목적

고속도로에서 발생하는 교통사고는 도로설계요소의 기준만족여부 이외에도 도로의 기하구조적 특성에 기인함은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나, 기존에 수행된 고속도로의 교통사고 관련연구에서는 실제적으로 제어가 불가한 기후조건, 운전자의 운전행태 등에 관한 변수를 다루고 있어서, 교통안전제고에는 크게 기여하지 못하고 있다. 교통사고예측 및 예방을 위해서는 실제적으로 도로설계과정에서 제어가 가능한 도로기하구조요소에 대한 사고관계를 파악함이 타당하다고 판단한다. 즉, 도로의 설계자는 도로건설에 앞서 기하구조요소와 사고와의 관계를 현장 자료를 통해 정확히 밝혀 도로설계에 반영해야 한다. 이러한 관점에서, 본 논문에서는 사고발생지점에 대한 도로설계요소와 기타 잠재적인 사고발생 관련요인이 비교적 잘 파악되어있는 호남고속도로를 중심으로 도로의 기하구조요소가 사고에 미치는 영향을 연구하였다. 본 연구는 기하구조요소와 사고와의 관계를 보다 명확히 연관시킬 수 있는 평면선형상의 곡선구간에 연구의 초점을 두었으며, 분석을 위한 사고자료 정리에 있어서는 강민욱과 손봉수(2002)에서 제시한 평면선형에 있어서의 구간분할법을 적용하였다.

본 연구의 목적은 논리적인 사고자료의 정리를 토대로 첫째, 단일곡선구간과 배향곡선구간에서의 사고건수의 분포를 가장 잘 설명하는 확률분포를 찾는다. 둘째, 이를 토대로 최우추정법을 이용한 확률회귀모형을 개발한다. 셋째, 추정된 모형을 기반으로 사고와 기하구조요인간의 연관성을 설명한다.

2. 연구범위 및 절차

1) 연구범위

본 연구는 고속도로 본선에서 발생하는 교통사고와 기하구조와의 관계를 분석하며, 공간적으로 호남고속도로 전체구간 중 평면선형 상 곡선구간(165.4km)을 대상으로 하였다. 또한 사고분석에 적용된 사고자료는 한국도로공사의 1996~2000(5년간)사고자료를 토대로 한 강민욱과 손봉수(2002)의 자료를 이용하였다.

2) 연구 수행절차

1단계 : 연구목표 설정 및 기존연구 고찰한다.

2단계 : 한국 도로공사의 교통사고자료를 단일곡선구간과 배향곡선구간으로 나누어 분석에 맞게 정리한다.

3단계 : 각 구간에서의 사고건수의 분포를 가장 잘 설명하는 분포를 추정한다.

4단계 : 앞 단계의 결과를 토대로 기하구조 관련 교통사고 예측모형을 개발.

Ⅱ. 문헌 고찰

1. 구간분할 방법

도시부 도로에 비해 비교적 교통사고 발생에 영향을 미치는 요소가 단순한 고속도로를 대상으로 사고분석을 할 경우, 도로구간을 어떻게 분할하느냐에 따라 사고관련 기하구조요소가 결정된다. Shaw-Pin Miaou (1994)의 연구에 따르면 등구간으로 분할할 경우 그 구간이 짧을 때(1mile이하)는 바람직한 회귀식을 얻기 힘들다. 또한 구간분할을 불균등하게 할 경우, 구간길이가 지나치게 길게되면 동일구간에서의 기하구조의 연속성을 유지하지 못하는데 단점이 있다. 이와 관련된 국내 연구로는 김태완(1995)이 있으며 경부고속도로를 3가지 분할법을 적용하여 분석하였다. 또한 강민욱과 손봉수(2002)는 호남고속도로의 평면선형 상 곡선구간을 단일곡선구간과 배향곡선구간으로 분할하였으며, 〈표 1〉은 강민욱과 손봉수(2002)의 연구에서 적용된 구간분할의 요약이다.

표에서 제시한 구간분할법은 사고분석을 위해 평면선형상 곡선구간을 분할할 때, 연속된 둘 이상의 서로 다른 방향으로 굽은 곡선구간을 각각 개별적인 하나의 곡선구간으로 분석을 해야 할 것인지, 아니면 하나의 배향곡선으로 취급해서 분석해야 할지를 피주시거(避走視距)를 기준으로 하여 설정한 것이다.

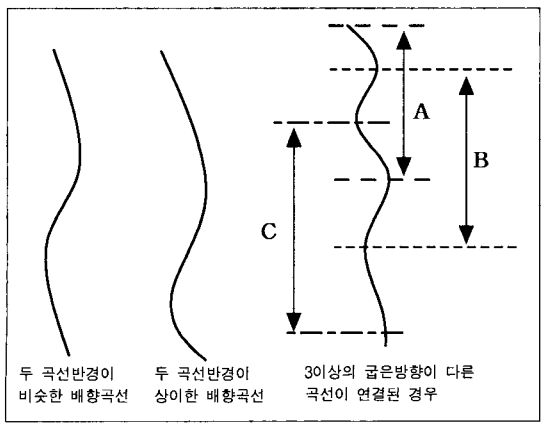
여기서 피주시거는 운전자의 판단착오를 시정할 여유를 주고 정지하는 대신 동일한 속도로, 또는 감속을 하면서 안전한 행동을 취할 수 있도록 하는 거리이기 때문에 짧은 직선구간이 두 개의 서로 다른 곡선구간을 연결하고 있을 때, 이를 개별적인 곡선구간으로 간주해야 할지 아니면 하나의 배향곡선으로 간주해야 할 지에 대한 기준으로 타당하다. 따라서 본

〈표 1〉 호남고속도로의 구간분할

	평면선형 상 곡선구간만을 분할	
	단일곡선구간별	배향곡선구간별
구간 단위	· 각각의 개별적인 단일곡선구간	· 연속된 두개의 서로 다른 방향으로 굽은 곡선구간
분할 기준	· 동일한 방향으로 굽은 연속된 곡선구간의 분할은 각 곡선사이의 직선길이에 따라 결정되며, 이는 피주시거에 근거함 · 각 곡선구간은 원곡선 길이 이외에 완화구간길이 및 곡선 시점과 종점에 100m 이하의 직선길이 포함	· 서로 다른 방향으로 굽은 연속된 곡선사이의 짧은 직선길이의 포함여부는 설계속도에 따른 피주시거에 근거함 · 3이상의 서로 다른 방향으로 굽은 곡선구간이 연속되어 있을 경우는 중복분할을 원칙으로 함
구간 수	63개구간	84개구간
유형	· 직선-완화-원곡선-완화-직선구간 · 직선-완화-원곡선-직선구간 · 직선-원곡선-완화-직선구간 · 직선-원곡선-직선구간	· 84개의 배향곡선은 연속된 두 개의 단일곡선으로 이루어짐

연구는 〈표 1〉의 구간분할법을 적용하여 사고자료를 분석하였다.

〈그림 1〉은 배향곡선의 유형을 개략적으로 표현한 것이다(강민욱과 손봉수, 2002). 그림에서 보듯이 배향곡선은 곡선반경이 서로 비슷한 단일곡선들이 연결된 경우뿐만 아니라, 서로 상이한 곡선반경을 가진 단일곡선들이 연결된 경우도 있다. 더 나아가 3이상의 개개의 단일곡선이 서로 다른 방향으로 굽어 연속되어 있을 경우도 있을 수 있는데, 이 경우는 기하구조의 연속성을 위해 하나의 개별적인 구간으로 간주하여 분석해야 하나, 표본이 적은 관계로 여러 개의 배향곡선으로 중복하여 분석하였다. 그림에서 A, B, C는 개별적인 배향곡선구간을 의미한다.



〈그림 1〉 배향곡선 유형

2. 사고모형의 이론적 고찰

1) 포아송 회귀모형(Poisson regression model)

Miaou 등(1991)은 이산적인 변수인 사고건수를 해석하기 위해서 다음과 같은 포아송회귀식을 적용하였다.

$$P(Y_i = y_i) = P(y_i) = \frac{\mu_i^{y_i}}{y_i!} \quad (1)$$

i(각 도로구간) $= 1, 2, 3, \ldots\ldots, n$

여기서,

$P(y_i)$: 사고 y_i가 분석도로의 i구간에서 발생할 확률

μ_i : 평균 사고건수

$$\mu_i = E(Y_i) = V_i[\exp(\beta X')]$$

$$\text{혹은 } \log \mu_i = \log V_i + \beta X' \quad (2)$$

여기서,

X': 사고관련 기하구조 요소

β: 추정된 계수

또한 $\beta X' = \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_k x_{ki}$ 이며, 각 구간에서의 차량노출계수인 $V_i = \frac{(365 \times AADT_i \times L_i)}{10^8}$ 이다.

위식에서 β를 추정하기 위해서 최우추정법(Maximum Likelihood Method)을 사용한다.

그러나 이러한 포아송 회귀모형은 평균과 분산이 같다는 특성을 가지고 있어, 분산이 평균보다 큰 사고건수와 같은 이산적인 변수를 설명하기에는 부적합하다는 것이 일반적이다.

2) 음이항회귀모형(Negative binomial regression)

Shankar(1995)와 Miao(1993) 등은 식(2)의 μ_i항에 에러항(ε_i)을 추가하여 분산이 평균보다 크다는 사고건수의 특성을 반영한 음이항회귀모형을 적용하였다. 식(2)에 ε_i을 추가한 식은 식(3)과 같다.

$$\log \mu_i = \log V_i + \beta X' + \varepsilon_i \quad (3)$$

ε_i는 평균 1, 분산 α인 감마분포를 따른다고 알려져 있다.

식(3)을 토대로 음이항확률분포(Negative binomial distribution)에 적용된 사고건수의 평균과 분산과의 관계는 식(4)와 같다.

$$Var[Y_i] = \mu_i(1+\alpha\mu_i) \quad (4)$$

여기서 α는 overdispersion parameter이며 이 값이 0이면 평균과 분산이 같아져 포아송분포에 적합하다는 결론이 나올 수 있는데, 사고건수의 경우 α가 0이 되는 경우는 거의 없다.

위의 사실들로부터 도출된 음이항확률분포식은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P(Y_i = y_i) &= \binom{(\theta + y_i) - 1}{\theta - 1} (p)^{1/\alpha} (1-p)^{y_i} \\ &= \binom{(\theta + y_i) - 1}{\theta - 1} \left(\frac{\theta}{\theta+\mu_i}\right)^{\theta} \left(\frac{\mu_i}{\theta+\mu_i}\right)^{y_i} \\ &= \frac{\Gamma(y_i + 1/\alpha)}{\Gamma(y_i+1)\Gamma(1/\alpha)} \left(\frac{1}{1+\alpha\mu_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1+\alpha\mu_i}\right)^{y_i} \quad (5) \end{aligned}$$

여기서 $\mu_i = E(Y_i) = V_i[\exp(\beta X'^{+}\varepsilon_i)]$, $\alpha = 1/\theta$, 또한, 음이항분포의 평균과 분산의 관계에서 도출된 $p = \left(\frac{\theta}{\theta+\mu_i}\right)$이다.

위의 음이항확률분포의 최대우도함수는 식(6)과 같으며, 이를 토대로 α값과 β값($\beta_1 + \beta_2 + \cdots + \beta_k$)을 산출한다.

$$L(\mu_i) = \prod_i^n \frac{\Gamma(y_i + 1/\alpha)}{\Gamma(y_i+1)\Gamma(1/\alpha)} \left(\frac{1}{1+\alpha\mu_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha\mu_i}{1+\alpha\mu_i}\right)^{y_i} \quad (6)$$

3. 기존 연구현황

음이항회귀모형을 이용한 국내연구로는 이기형과 이용택(1999)의 연구가 있으며, 이는 음이항회귀모형을 국내에 처음으로 적용한 것에 그 의의가 있다. 이들은 음이항회귀모형을 이용하여 버스사고요인분석을 하였다. 분석에 적용된 독립변수로는 인적요인, 기하구조 및 환경요인, 그리고 기타요인 등 포괄적인 범위의 변수를 적용하였다. 모형분석결과 운전경력이 많을수록, 곡선반경이 작을수록, 그리고 종단경사가 낮을수록 사고건수가 낮게 분석되었다.

국외연구로는 Miaou 등(1993,1994)의 연구와 Shankar(1995)의 연구가 주류를 이룬다. 이들은 특히 도로의 기하구조요소와 사고와의 관계를 포아송회귀모형과 음이항회귀모형을 적용하여 분석하였으며, 분석결과 사고건수의 경우 음이항회귀모형이 적합함을 시사하였다.

이밖에 사고관련 연구로서 Abishai Polus와 Ronald W. Eck(1988)에 따르면 도로의 평면선형에 있어서 곡선부는 직선부에 비해 최고 4배까지 사고율이 높다고 한다. 따라서 분석가는 기하구조와 사고와의 관계를 규명함에 있어서 곡선부의 기하구조에 대한 논리적이며 세밀한 분석을 해야 할 것이다.

Ⅲ. 사고분포의 추정

1. 단일곡선구간에서의 사고분포 추정

@risk의 이용하여 호남고속도로 중 단일곡선구간에서의 사고건수에 가장 적합한 확률분포를 찾아보았다. 분석결과 음이항분포가 가장 적합한 분포로 나타났으며 〈표 2〉와 〈표 3〉은 이에 대한 분석결과이다.

〈표 2〉 단일곡선구간에서의 사고건수에 대한 통계치

	Fit	Input Data
Function	Negbin(s, p)	N/A
s	2	N/A
p	0.201923	N/A
Minimum	0	0
Maximum	+infinity	34
Mean	7.9048	7.9048
Mode	3	3
Median	6	6
Std. Deviation	6.2568	6.6228
Variance	39.1474	43.166
Skewness	1.4232	1.8656
Kurtosis	6.0255	7.3260

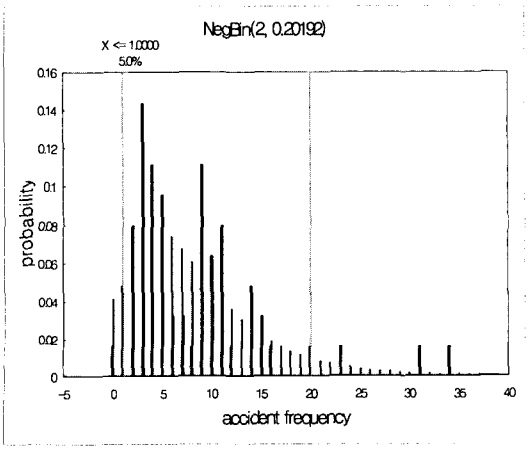
〈표 3〉 음이항분포로의 적합도 분석결과(단일곡선)

	관측치	음이항분포	χ^2분포
사고건수 (x_i)	사고건수의 관측빈도 (O_i)	s=2 p=0.2019 사고건수의 이론적 빈도 (E_i)	ν(자유도) 63-2-1=60
0~1	4	6.67	
2~3	14	10.13	χ_o^2 : $\sum_{i=1} \frac{(O_i-E_i)^2}{E_i}$ =7.1258
4~5	13	10.20	
6~7	4	8.88	
8~9	8	7.18	
10~12	10	7.77	
13~17	6	7.13	$\chi^2_{60,0.05}$=79.08
18~+infin.	4	5.04	P-value=0.4159
No of Bins	8		
Total	63	63	
			fail to reject H_o

〈표 3〉은 〈표 2〉의 결과를 토대로 χ^2검증을 한 결과이다. 다음은 χ^2검증을 위해 설정한 가설(hypothesis)이다.

x_i : 각 단일곡선구간의 사고건수
H_o : x_i~Negbin(s, p)
H_1 : x_i은 Negbin분포을 따르지 않는다.

〈표 3〉의 결과를 보면, χ_o^2=7.1258이고 $\chi^2_{60,0.05}$=79.08이므로 귀무가설(H_o : 단일곡선구간에서의 사고건수는 음이항분포를 따른다)은 기각할 수 없다.



〈그림 2〉 음이항분포로의 적합(단일곡선)

〈그림 2〉는 단일곡선구간의 사고건수(x_i)를 negbin (s=2, p=0.20192)에 적합시킨 것이다.

단일곡선구간에서의 사고건수분포는 〈그림 2〉에서와 같이 분포의 모양이 좌측으로 치우친 음이항분포에 잘 적합시킬 수 있었다. 즉, 사고건수가 적을수록 발생빈도가 높다.

2. 배향곡선구간에서의 사고분포 추정

@risk의 Fit distribution기능을 이용해 호남고속도로 중 배향곡선에서의 사고건수에 가장 적합한 확률분포를 찾았다. 분석결과 역시 음이항분포가 가장 적합한 분포로 나타났다.

〈표 4〉와 〈표 5〉는 배향곡선에서의 분석결과이며, 〈표 5〉는 〈표 4〉의 결과를 토대로 χ^2검증을 한 결과이다. 다음은 χ^2검증을 위해 설정한 가설(hypothesis)이다.

x_i : 각 배향곡선구간의 사고건수
H_o : x_i~Negbin(s, p)
H_1 : x_i은 Negbin분포를 따르지 않는다.

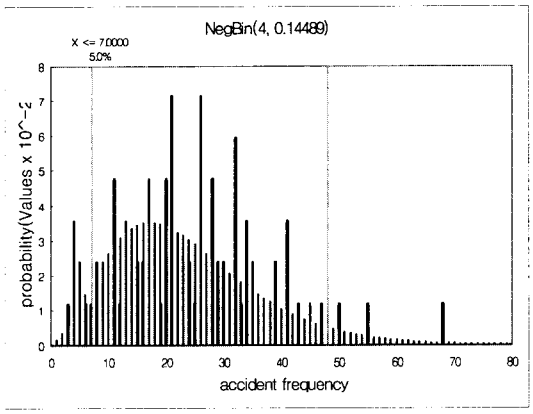
〈표 5〉에서와 같이 χ_o^2=8.0144이고, $\chi^2_{81,0.05}$=101.9이므로 귀무가설(H_o : 배향곡선구간의 사고건수는 음이항분포를 따른다)은 기각될 수 없다. 〈그림 3〉은 배향곡선구간의 사고건수(x_i)를 negbin(s=4, p=0.14489)에 적합시킨 것이다.

〈표 4〉 배향곡선구간에서의 사고건수에 대한 통계치

	Fit	Input Data
Function	Negbin(s, p)	N/A
s	4	N/A
p	0.14489	N/A
Minimum	0	3
Maximum	+infinity	68
Mean	23.6071	23.607
Mode	17	N/A
Median	22	22
Std. Deviation	12.7645	12.597
Variance	162.9314	156.786
Skewness	1.0031	0.7106
Kurtosis	4.5061	3.8202

〈표 5〉 음이항분포로의 적합도 분석결과(배향곡선)

	관측자료	음이항분포	χ^2분포
사고건수 (x_i)	사고건수의 관측빈도 (O_i)	s=4 p=0.1449 사고건수의 이론적 빈도 (E_i)	ν(자유도) 84-2-1=81
0~8	10	6.98	
9~12	6	9.19	
13~15	7	8.41	
16~18	8	8.82	χ_o^2 :
19~21	11	8.58	$\sum_{i=1}^{n} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
22~24	4	7.88	=8.0144
25~27	8	6.93	
28~31	8	7.62	$\chi^2_{81,0.05}$=101.9
32~36	11	7.04	
37~45	7	7.35	P-value=0.6274
46~+infin.	4	5.2	
No of Bins	11		
Total	84	84	
			fail to reject H_o



〈그림 3〉 음이항분포로의 적합(배향곡선)

배향곡선구간에서의 사고건수분포는 〈그림 3〉에서와 같이 분포의 모양이 좌측으로 치우친 음이항분포에 가장 잘 적합시킬 수 있었다. 즉, 사고건수가 적을수록 발생빈도가 높다.

Ⅳ. 모형개발 및 결과분석

1. 모형개발

평면선형상 곡선구간에서의 사고건수가 음이항분포를 따른다는 결론을 토대로 단일곡선구간과 배향곡선구간에서의 음이항회귀모형을 도출하였다. 모형개발은 상용프로그램인 LIMDEP V7.0/W를 이용하였으며, 각 모형의 종속변수는 호남고속도로의 평면선형상 단일곡선구간과 배향곡선구간에서의 사고건수로 하였으며, 독립변수로는 각 구간에서의 기하구조요인을 중심으로 하였다.

〈표 6〉 각 모형에 적용된 변수

모형에 적용된 변수	기호 및 정의	
	단일곡선모형	배향곡선모형
i구간에서의 사고건수	Y_i	Y_j
i구간에서의 차량노출계수 (10^8당)	$V_i = \frac{(365 \times AADT_i \times L_i)}{10^8}$	$V_j = \frac{(365 \times AADT_j \times L_j)}{10^8}$
곡선반경의 역수 (1/km)	$R_{inv} = 1/R_i$	$R_{inv} = 1/R_{sm}$, 여기서 R_{sm}은 두곡선반경 중 작은값
단위거리당 편경사변화값	$S_i = \frac{\Delta 편경사}{L_i}$ L_i : 해당구간길이 (km)	$S_j = \frac{\Delta 편경사}{L_j}$ L_j : 해당구간길이 (km)

〈표 6〉은 단일곡선모형과 배향곡선모형에 적용된 종속변수와 독립변수를 요약한 것이다.

평균사고건수($\mu_i = E(Y_i)$)= V_i×사고율 이라 하고, 여기서 사고율을 기하구조관련함수라 하자. 이산확률변수(discrete random variable)인 평균사고건수는 항상 양의 값을 가져야 하는 특성을 반영하여 〈표 6〉을 토대로 한 각 구간에서의 음이항회귀모형은 다음과 같이 정의할 수 있다.

1) 단일곡선 모형

여기서, $A_i = \log V_i$ 라 놓으면,

$$\mu_i = \exp(\beta_{1i} A_i + \beta_{2i} R_{inv} + \beta_{3i} S_i + \varepsilon_i)$$
$$= \exp(\beta_{1i} \log V_i) \times \exp(\beta_{2i} R_{inv} + \beta_{3i} S_i + \varepsilon_i)$$
$$= V_i^{\beta_{1i}} \times \exp(\beta_{2i} R_{inv} + \beta_{3i} S_i + \varepsilon_i)$$
$$= \left(\frac{365 \times AADT_i \times L_i}{10^8}\right)^{\beta_{1i}} \times \exp\left(\frac{\beta_2}{R_i} + \frac{\beta_{3i} \times \Delta 편경사}{L_i} + \varepsilon_i\right) \quad (7)$$

2) 배향곡선 모형

위의 모형식에서 i대신 j로 놓고, R_i를 R_{sm}로 한다면 배향곡선구간 모형이 된다.

$$\mu_j = \exp(\beta_{1j}A_j + \beta_{2j}R_{inv} + \beta_{3j}S_j + \varepsilon_i)$$
$$= V_i^{\beta_{1j}} \times \exp(\beta_{2j}R_{inv} + \beta_{3j}S_i + \varepsilon_i)$$
$$= \left(\frac{365 \times AADT_j \times L_j}{10^8}\right)^{\beta_{1j}} \times \exp\left(\frac{\beta_{2j}}{R_{sm}} + \frac{\beta_{3j} \times \Delta\text{편경사}}{L_j} + \varepsilon_i\right) \quad (8)$$

2. 결과분석

각 모형에 대한 음이항회귀분석결과는 〈표 7〉 및 〈표 8〉과 같으며, 각 모형의 회기계수값(Coefficient)은 음이항확률분포의 우도함수의 모수를 최대화함으로써 얻어지는 결과 값이다.

차량노출계수($(365 \times AADT_i \times L_i)/10^8$)에 대한 회귀계수(β_1)는 두모형 모두 양수로 Miaou(1993)의 결과와 같은 양상을 보인다. 이는 교통량이 많을수록 사고가 증가한다고 해석할 수 있다. 곡선반경의 역수($R_{inv}=1/R_i$ or $=1/R_{sm}$)에 대한 회귀계수(β_2)는 단일곡선모형, 배향곡선모형 각각, 1.2907, 0.9788로, 곡선반경이 클 경우가 작을 경우보다 사고가 적게 발생한다고 제시하고 있다. 이는 곡선반경이 커질수록 사고는 감소한다는 기존의 연구들과 일치하는 결과를 제시한다. 또한, 단위거리당 편경사변화값($(\Delta$편경사$)/L_i$)의 회귀계수(β_3)역시 두 모형에서 모두 의미 있는 값을 가지며, 곡선반경과는 별개로 곡선구간의 길이가 짧고 그 때의 편경사가 급하게 변하는 구간에서 사고가 증가함을 시사한다. 이는 강민욱과 손봉수(2002)의 분석결과 일치하고 있다.

〈표 7〉 단일곡선모형의 결과 값

단일곡선모형				
변수번호	변수이름	회귀계수값	표준오차	t통계량
1	β_1 차량노출계수 (10^8당)	1.288884	0.213357	6.041
2	β_2 곡선반경(R)의 역수	1.290699	0.316027	4.084
3	β_3 단위거리당 편경사 변화값	0.089177	0.019642	4.540
	α overdispersion parameter	0.804810	0.185708	4.334
통계치	관측치		63	
	Log likelihood function $L(\beta)$		-208.6278	
	Restricted log likelihood func. $L(0)$		-337.6559	
	Chi-squared value $-2(L(0)-L(\beta))$		258.0562	
	$\rho^2,\ 1-\frac{L(\beta)}{L(0)}$		0.382129	

〈표 8〉 배향곡선모형의 결과 값

배향곡선모형				
변수번호	변수이름	회귀계수값	표준오차	t통계량
1	β_1 차량노출계수 (10^8당)	2.105020	0.203417	10.348
2	β_2 작은곡선반경 (R_{sm})의역수	0.978872	0.272319	3.595
3	β_3 단위거리당 편경사 변화값	0.134687	0.030558	4.408
	α overdispersion parameter	0.768749	0.126500	6.077
통계치	관측치		84	
	Log likelihood function $L(\beta)$		-376.1213	
	Restricted log likelihood func. $L(0)$		-838.3426	
	Chi-squared value $-2(L(0)-L(\beta))$		924.4427	
	$\rho^2,\ 1-\frac{L(\beta)}{L(0)}$		0.551351	

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

도로의 기하구조가 사고에 미치는 영향은 다른 사고관련 요인들에 비해 그 영향이 적다고 알려져 있다. 그러나 다른 요인들은 인간이 제어하기에는 어려운 요인들로서 상호간의 복합적인 관계에 의해 사고를 유발한다. 따라서 인간이 제어가능한 도로의 기하구조요소가 사고와 어떤 관련이 있는가에 대한 심도있는 분석은 매우 중요하며 이를 통해 사고를 미연에 방지해야 할 것이다.

본 연구는 강민욱과 손봉수(2002)에서 제시한 평면선형에 있어서의 구간분할법을 이용하였으며, 호남고속도로의 평면선형 상 배향곡선구간과 단일곡선구간에서의 사고건수를 이산적 확률변수로 취급하여 그에 적합한 확률분포를 찾고자 하였다. 적합도 분석결과, 예상대로 음이항 분포가 사고건수를 설명하기에 가장 적합한 확률분포로 제시되었으며, 이를 통해 최우추정법을 이용한 음이항회귀모형을 개발하였다. 구간분할법을 적용한 음이항회귀모형의 경우, 기존의 확률회귀모형에 비하여 높은 결정계수를 갖았으며, 모형에서 적용된 변수로는 차량노출계수, 곡선반경, 단위거리 당 편경사변화값 등이다. 본 논문은 기하구조요소와 사고와의 관계를 세밀하게 분석하고자 하였으며 특정구간에서의 사고건수의 분포를 정확히 분석하여 이를 통계적으로 신뢰할 수 있는 확률회귀모형으로 나타낸다는 것에 그 의의가 있다.

본 논문에서 제시한 사고예측모형은 향후 보완해야 할 몇 가지 과제가 있다.

첫째, 사고분석에 있어서 도로선형의 일관성유지를 위해 평면선형에 대한 구간분할 뿐만 아니라 종단선형에 대한 고려를 함으로써 보다 포괄적인 구간분할이 이루어져야 할 것이다.

둘째, 모형에 반영된 기하구조요소이외에 보다 많은 사고관련 기하구조요소를 찾는 연구가 필요하며, 특히 배향곡선의 경우 배향곡선구간의 특성을 정확히 반영할 수 있는 변수의 선택 및 구체적인 변수처리방법에 대한 논의가 필요하다.

셋째, 사고예측을 위해 확률회귀모형 이외에 다양한 예측이론과의 접목이 필요하다.

넷째, 정확한 사고분석을 위해서는 합리적인 사고자료의 정리가 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강민욱 · 손봉수 · 도철웅(2002), "도로의 기하구조에따른 고속도로 사고예측모형개발", 대한토목학회 논문집, 제22권 6-D호, pp.1077~1088.
2. 한국도로공사(1996~2000), 호남고속도로 사고자료.
3. 이기영(1999), "고속도로 사고모형의 개발과 적용-확률회귀모형을 이용한 버스사고 요인분석", 대한교통학회 제36회 학술발표회.
4. Abishai Polus and Ronald W. Eck(1988), "Operational and Economic Considerations in An Evaluation of Geometric Design Alternatives", Transportation Research Record 1122, pp.12~17.
5. Microsoft, @Risk manual version 4.0, pp. 119~144.
6. Shaw-Pin Miaou(1994), "The relationship between truck accidents and geometric design of road sections", Accident Analysis and Prevention, Vol.26. No.4.
7. Shaw-Pin Miaou and Harry Lum(1933), "Modeling Vehicle Accident and Highway Geometric Design Relationships", Accident Analysis and Prevention, Vol.25. No.6.
8. Venkataraman Shankar, Fred Mannering, and Woodrow Barfield(1995), "Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies", Accident Analysis and Prevention, Vol.27. No.3.
9. William H. Greene(1998), "LIMDEP user's manual and Reference Guide V7.0/W", Econometrics software.

♧ 주 작 성 자 : 강민욱
♧ 논문투고일 : 2002. 11. 1
논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)
2003. 1. 3 (2차)
심사판정일 : 2003. 1. 3
♧ 반론접수기한 : 2003. 4. 30