

차량유형별 로터리 사고모형

Accident Models of Rotary by Vehicle Type

한 수 산

(충북대학교 도시공학과 석사과정)

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 기존문헌 고찰
 - 1. 기존연구 검토
 - 2. 기존 연구와의 차별성
 - III. 분석의 틀 설정
 - 1. 자료수집 및 분석
 - 2. 변수의 선정
 - IV. 모형개발
 - 1. 승용차
 - 2. 화물 및 승합차
 - 3. 원동기
 - 4. 결과의 비교분석
 - 5. 모형 검증
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 사고모형, 로터리, 상관분석, 대응표본 t검정, 포아송 및 음이항 회귀모형, ZAM모형
Accident Model, Rotary, Correlation Analysis, Paired Sample t-test, Poisson and
Negative Binomial Regression Models, Zero-Altered Model

요 약

이 연구는 차량유형별 로터리 교통사고를 다루고 있다. 이 논문은 차량유형별 교통사고 특성을 비교 분석하고, 사고모형을 개발하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 이 연구에서는 차량유형을 세 그룹으로 나누어 그 차이점을 분석하고, 국내 로터리 자료를 이용하여 포아송 및 음이항 회귀모형과 ZAM모형을 개발하는데 중점을 두고 있다. 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 승용차량과 화물 및 승합차, 원동기의 사고건수를 종속변수로 하는 통계적으로 의미 있는 2개의 ZIP 모형과 1개의 음이항 모형이 개발되었다. 둘째, 모형별 채택된 독립변수를 활용하여 세 모형의 차이가 비교·분석되었다. 마지막으로 로터리 사고를 예방하기 위해 조명시설, 과속방지턱과 같은 교통안전시설물 설치에 필요한 것으로 평가되었다.

This study deals with the traffic accidents data from the Korean rotaries (circular intersections) to verify their characteristics affected by different vehicle types. This paper categorized the data into three groups based on vehicle types, and developed a set of accident models. The paper proposed two ZIP models and one negative binomial model through a statistical analysis for three vehicle types: automobile, truck and van, and others. The differences among those models were then statistically compared.

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

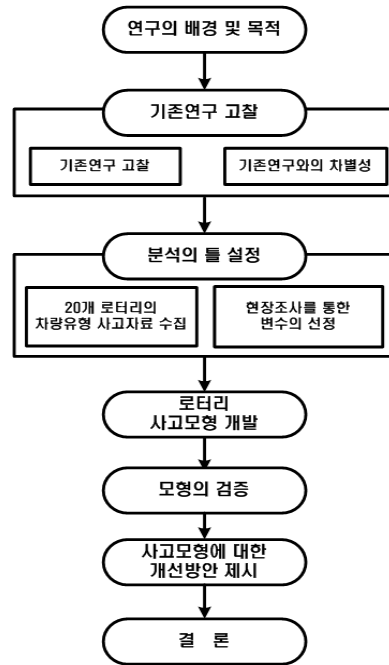
로터리는 교차로의 중앙에 원형의 교통섬을 두고 접근차량들이 원하는 방향을 찾아 운행함으로써 교통신호등 없이 차량을 처리하는 교차로이다. 로터리는 회전교차로와 달리 교차로에 진입하려는 차량에게 우선권이 있다. 즉, 회전차로에 정지선이 설치되어 있어 회전 중 진입하려는 차량이 있을 경우 정지하여야 한다. 로터리에 진입하려는 차량은 서행할 이유가 없으므로 고속으로 회전차로에 진입할 수 있다. 이와 같은 방식의 로터리는 차량이 점차 증가되면서 교통 혼잡과 사고를 야기하고 있다. 고속으로 운행되는 로터리 내의 차량 사이에서 사고가 발생하였을 때, 상대방 차량의 종류에 따라 사고에 영향을 주는 원인이 다양하다. 또한 차량 유형에 따른 로터리 교통사고 분석이 미흡한 실정이다.

이 연구는 기존 운영되고 있는 로터리를 중심으로 한 교통사고 모형을 다루고 있다. 또한 사고는 차량 유형에 의해 각기 다르게 나타나므로 이에 대한 분석이 필요하다. 즉, 교차로 내의 승용차, 화물 및 승합차, 원동기 사고 등 다양한 차량유형을 파악하여 개발된 모형을 통해 사고를 분석하고, 차량유형별로 어떠한 요인이 사고에 영향을 미치는지를 비교·분석하는데 목적이 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 국내 로터리 20개소를 대상으로 하고 있다. 사고 자료는 도로교통공단의 2007년부터 2009년까지의 TAAS(교통사고분석시스템) 자료를 활용한다. 우선 차량유형별로 구분하여 자료를 코딩하고, 교차로 교통사고 발생에 영향을 미칠 것으로 판단되는 도로의 기하구조 변수들은 현장조사를 통해 수집한다.

연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 국내·외 기존 연구된 문헌고찰을 통해 전반적인 사고모형의 기법 및 연구의 흐름을 파악한다. 둘째, 자료를 수집하고 이를 재정리한 후, 상관분석을 통해 종속변수와 독립변수를 선정한다. 셋째, 선정된 종속변수와 독립변수를 통계 프로그램 SPSS 17.0과 LIMDEP 4.0을 이용하여 포아송 및 음이항과 ZAM모형을 개발한다. 넷째, 차량유형별 사고모형을 검증하고, 비교하여 특성 및 차이점을



〈그림 1〉 연구의 수행과정

분석한다. 마지막으로, 차량유형에 따른 교통사고모형을 통해 개선방안을 제안하고, 향후 과제를 제시한다.

II. 기존문헌 고찰

1. 기존연구 검토

1) 관련 연구

최재원 등(2004)은 교차로 사고자료를 신경망이론에 적용하여 사고심각도 예측모형을 개발하였고, 개발된 모형에 대상 교차로 상에 발생한 상충 자료를 사고심각도 모형에 적용하여 사고심각도를 예측하였다.

김숙희 등(2005)은 수원시의 사고위치별로 사고가 발생하는 지역의 진단방법을 이항분포를 이용하여 지점별로 사고가 발생할 것으로 판단되는 지점과 그렇지 않은 지점으로 구분하였다. 또한 사고발생지역과 그렇지 않은 지점을 종속변수로 하여 로지스틱 판별분석을 실시하여, 사고요인을 추출하고 진단지점들의 개선방안을 마련하였다.

박병호 등(2008)은 청주시 143개의 4지 신호교차로에 대한 각 지점별 교통사고와 기하구조자료를 이용하여 음이항 회귀모형을 개발하였다. 차종별 사고 중

승용차는 주도로 폭 합과 평균 황색시간이 채택되어, 사고 발생률이 높은 교차로에서는 교통섬 및 기타 보행 시설 등을 설치하여 폭 합을 줄이는 시설관리와 교통사고 발생지역은 황색신호시간의 조정 등을 제안하였다.

김경환 등(2010)은 청주시 주간선도로와 보조간선도로 24구간을 대상으로 차종을 승용차, SUV, 트럭의 교통사고를 분석하고 3개의 포아송 회귀모형을 개발하였다. 모형의 공통변수로는 교통량과 교통섬 수, 그리고 특정변수로는 승용차의 경우 연결도로 수, 중분대 비율 및 정류장 수, SUV는 횡단보도 수, 차로수, 연결도로 수 및 증분대 비율, 트럭은 횡단보도 수 및 단일로 내 4지 교차로수가 채택되었다.

김진선 등(2011)은 청주시 472개 구간의 사고 자료를 이용하여 도로 기능별 사고특성을 파악하고, 기하구조 요인이 사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 ZAM(zero-altered model)을 개발하였다. 그 결과 주간선도로의 공통변수는 교통량과 굴곡점 수, 보조간선도로는 평균중단경사로 분석되었다.

Taekratok(1998)는 회전교차로의 역사, 안전성, 기하구조, 용량 및 지체시간 등에 대해서 설명하고 있으며, 로터리와 회전교차로의 차이점을 설명하고 있다.

Persaud 등(2001)은 정지신호제어로 운영되던 교차로를 회전교차로로 전환했을 때 차량의 사고변화를 EB(empirical Bayesian)방법을 이용하여 비교분석하였다. 그 결과 일반교차로에서 회전교차로로 변환할 경우 사고감소비율이 상당히 높아지는 것으로 분석하였다.

McKnight 등(2008)은 설문조사를 통하여 회전교차로에서의 올바른 운전행동에 대한 운전자의 특성을 연구하였다. 그 결과 회전교차로에 보다 익숙한 운전자, 특별차량 운전자보다 젊은 운전자가 회전교차로에 대한 통행의 이해수준이 높은 것으로 나타났다.

Guido 등(2009)은 회전교차로 내에서의 잠재적인 문제점을 분석하기 위하여 3개의 안전성과 지표를 사용하여 회전교차로를 분석하였다. 분석결과, 회전교차로에서는 빈번한 제동과 속도변화, 난교통류 상황에서 사고 잠재력이 증가하였으며, 진출입부의 합류지점이 다른 지점에 비해 위험성이 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

2) 음이항 및 포아송 회귀분석

사고수를 이산적 확률변수(discrete random variable)로 해석하는 포아송 회귀모형(Poisson

regression)을 도입하였으며, 일반식은 식(1)과 같다. 여기서, $P(n_i)$ 는 사고 n 이 지점 i 에서 발생할 확률, λ_i 는 평균사고건수 $\lambda_i = \exp(\beta X_i)$ 를 의미한다. 그리고 X_i 은 사고수를 결정하는 지점 i 의 속성을 나타내고, β 는 회귀계수를 표현한다.

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \cdot \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (1)$$

분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항 회귀식(negative binomial regression)을 이용한 모형이 사용되고 있다. 음이항 분포는 사고수 항(λ_i)에 오차 항(ϵ_i)이 포함되며, 식(2)와 같다.

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \epsilon_i) \quad (2)$$

이 두 모형 중 어느 모형을 사용할 것인가를 결정하기 위해, α 가 0에 가까우면 포아송 회귀모형이 적합하고, 0에 가깝지 않으면 음이항 회귀모형을 사용하는 것이 바람직하다. 최종적으로 도출된 모형에 대한 설명력과 모형의 적합성을 검증하는 데에는 우도비(ρ^2)와 t 값을 이용한다.

여기서 우도비(ρ^2)는 McFadden의 결정계수라 불리며, '0'과 '1'사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 모형의 적합성이 높다고 평가되며, 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합성을 가진다고 볼 수 있다.

3) ZAM모형

교통사고의 사망사고 건수 중 '0'에 해당하는 빈도가 지나치게 많고 분산이 평균보다 큰 과산포 문제를 극복하기 위한 ZIP(zero-inflated Poisson)과 ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형이 있다. 이는 포아송과 음이항 회귀모형의 확장된 형태이다. 다음은 ZAM(zero-altered model) 모형의 일반적인 형태이다.

$$P(y_i = 0|X_i) = p_i + (1-p_i) \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \quad (3)$$

$$P(y_i > 0|X_i) = (1-p_i) \left(\frac{\Gamma(\alpha^{-1} + y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})\Gamma(y_i + 1)} \right) \left(\frac{1}{1 + \alpha\lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha\lambda_i} \right)^{y_i} \quad (4)$$

$$y_i = 1, 2, 3, \dots$$

〈표 1〉 모형의 통계적 선정기준

구분		음이항 모형 과분산계수(α)의 t통계량	
		< 1.96	> 1.96
ZINB와 음이항모형 비교를 위한 Vuong 값	< -1.96	ZIP 또는 포아송	음이항
	> 1.96	ZIP	ZINB

여기서, p_i 는 가로구간 i 에서 사고가 발생하지 않을 확률이며, λ_i 는 가로구간 i 에서의 평균사고건수이다. Vuong값과 과분산계수(α)를 통해 음이항, 포아송, ZIP 및 ZINB 모형 중에서 모형을 선택하는 기준은 〈표 1〉과 같다.

2. 기존 연구와의 차별성

기존 연구와의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 기존연구에서는 단일로, 신호교차로와 관련된 사고요인 분석 및 모형의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 최근 국내에서는 신호교차로, 단일로, 3지 및 4지교차로 등의 국한된 교차로에서 벗어나 회전교차로 활성화 사업을 추진하고 있고, 기존 운영되고 있는 로터리에서 회전교차로로 전환을 시도하고 있다. 이에 따라 로터리의 차종별 교통사고와 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

둘째, 다양한 사고자료와 기하구조를 바탕으로 로터리의 사고특성 분석과 자료의 특성('0'의 빈도가 과다하게 많은 점)을 고려하여 포아송 및 음이항 회귀모형과 ZAM모형을 모두 사용하여 모형별 차이를 비교·검증하였고, 모형의 채택된 변수를 통해 로터리 사고의 주요 원인을 파악하였으며, 이에 따른 개선방안을 제시하는데 기존연구와의 차별성이 있다.

III. 분석의 틀 설정

1. 자료수집 및 분석

이 연구에 활용된 사고자료는 2007년부터 2009년까지의 도로교통공단의 자료이다. 이 연구에서는 국내 20개 교차로에 대한 관련 요소를 2010년 5월~7월까지 현장 조사하였고, 자료의 검증 및 수정을 위해 동영상 촬영하여 분석하였다. 차량의 유형은 용도와 크기를 고려하여 승용차, 화물(승합차) 및 원동기로 구분하였으며, 20개 교

〈표 2〉 차종별 사고건수

교차로 명		사고건수			
		합계	승용차	화물 및 승합차	원동기
1	동해시 시청로터리	30	27	2	1
2	화천군 화천대교오거리	2	1	1	0
3	청원군 오산원형교차로	3	3	0	0
4	청원군 서평원평교차로	1	1	0	0
5	진천군 원동교차로	1	1	0	0
6	서산시 1호광장로터리	18	15	2	1
7	논산시 동산교차로	3	2	1	0
8	김제시 시청오거리	13	10	3	0
9	김제시 경찰서오거리	10	0	0	10
10	무주군 적상삼거리	0	0	0	0
11	무주군 라계통문삼거리	0	0	0	0
12	고창군 월곡원형교차로	6	6	0	0
13	진안군 남광교차로	0	0	0	0
14	구례군 군청앞오거리	7	7	0	0
15	화순군 교리교차로	7	4	3	0
16	영주시 꽃동산로터리	29	20	6	3
17	진주시 오죽광장사거리	14	11	3	0
18	진주시 봉곡광장사거리	22	16	6	0
19	제주시 금악교차로	4	1	2	1
20	서귀포시 서광서리교차로	3	2	1	0
합계		173	127	30	16

차로는 경기도 지역 및 특별·광역시 지역을 제외하고, 각 지역별 특성을 살펴볼 수 있도록 균등 배분하여 선정하였다. 로터리의 차량별 사고건수 분석결과는 〈표 2〉와 같다.

사고건수는 승용차가 127건으로 전체 사고의 73.41%를 차지하고 있으며, 그 외에 화물 및 승합차 30건, 원동기 16건으로 나타났다. 20개 교차로 중 동해시 시청로터리가 30건으로 사고가 가장 많은 것으로 분석되었다. 그 다음으로 영주시 꽃동산로터리와 진주시 봉곡광장사거리가 각각 29건과 22건으로 나타났다. 반면 무주군 적상삼거리, 무주군 라계통문 삼거리와 진안군 남광교차로는 0건으로 사고가 없는 것으로 분석되었다.

로터리의 교통운영 현황을 분석한 결과 동해시 시청로터리가 회전차로 내 정지선이 있어 회전차로에 고속으로 진입하는 방식으로 이루어져 있다. 다른 교차로는 정지선이 없으나 대부분의 차량이 고속으로 회전차로에 진입하는 것으로 확인되었다. 회전교차로의 운영방식을 결정짓는 기준인 안전표시와 노면표시의 설치 유무를 분석한 결과 모든 교차로에서 없는 것으로 나타났다.

2. 변수의 선정

이 연구는 승용차(Y_1), 화물 및 승합차(Y_2) 그리고

원동기(Y_3)의 차종별 사고건수를 종속변수로 선정하였다. 독립변수는 현장조사를 통해 수집된 사고관련 요소들 중 교차로에서 발생한 교통사고와 밀접한 관련성이 있을 것으로 판단되는 변수를 선정하였다. 선정된 독립변수의 설명과 기술통계를 정리하면, <표 3>과 같다.

먼저 교통요인으로는 교통량, 도로환경요인으로 횡단보도 수, 교통섬 수, 조명시설 수 등, 그리고 기하구조 요인으로는 진입 및 진출차로 수, 중앙교통섬 직경 등을 독립변수로 선정하였다.

내접원 직경의 경우 평균이 41.75m로 회전교차로 설계지침(2010)에서 제시된 세미트레일러 기준(40.0~65.0m)과 동일한 것으로 분석되었고, 분산값이 99.99로 20개 로터리의 직경이 다양한 것으로 판단되었다. 또한 내접원 직경과 횡단거리를 제외한 다른 변수의 경우 자료의 분포가 상대적으로 고른 것으로 분석되었다.

기존 연구된 문헌들을 통해 독립변수를 선정하였으며, <표 3>과 같이 교통사고와 관련성이 있는 15개의 독립변수를 추출하였다. 상관관계를 분석하기 위해 신뢰수준을 95%($\alpha = 0.05$)로 하며, Pearson 상관계수를 통해 변수들 간의 상관성을 분석하였으며, 그 결과는 <표 4>와 같다. 독립변수 중 변수들간의 상관관계가 높은 변수들은 다중공선성의 문제가 있어 모형을 개발할 때 상관관계가 높은 변수들은 같이 선택하지 않았다.

<표 3> 독립변수의 정의

독립변수	기호	정의	평균	분산
교통량	X_1	LN 일평균 교통량(대/일)	9.19	0.92
진출입구 수	X_2	교차로 진출입구 수(개)	4.30	1.48
회전차로 수	X_3	교차로 회전차로 수(개)	8.20	7.14
내접원직경	X_4	교차로 내접원직경(m)	41.75	99.99
회전차로 수	X_5	교차로 회전차로 수(개)	1.75	0.51
화물차터 폭	X_6	교차로 화물차 터 폭(m)	1.00	0.55
중앙교통섬 직경	X_7	교차로 중앙교통섬 직경(m)	23.35	56.45
분리교통섬 수	X_8	교차로 분리교통섬 수(개)	1.00	1.47
조명시설	X_9	교차로 조명시설 수(개)	3.55	4.26
진입차로 수	X_{10}	교차로 진입차로 수(개)	1.35	0.23
진출차로 수	X_{11}	교차로 진출차로 수(개)	1.38	0.21
진입부차로 폭	X_{12}	교차로 진입부차로 폭(m)	3.52	0.09
진출부차로 폭	X_{13}	교차로 진출부차로 폭(m)	3.49	0.09
횡단거리	X_{14}	교차로 횡단거리(m)	13.38	17.63
우회전 별도차로	X_{15}	교차로 우회전 별도차로 수(개)	0.50	1.00

<표 4> 상관분석 결과

	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	
Y_1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.681**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_3	0.004	0.000	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	0.095	-0.100	0.010	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	-0.039	-0.159	0.079	0.571**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	0.222	0.036	0.546*	0.572**	0.506*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	0.007	-0.184	0.578**	0.349	0.184	0.716**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_5	0.102	0.096	0.322	0.536*	0.573**	0.839**	0.490*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_6	-0.005	-0.223	-0.155	-0.085	-0.291	-0.185	-0.173	-0.395	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_7	-0.147	-0.226	0.412	0.075	-0.058	0.278	0.856**	0.134	-0.297	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_8	-0.223	-0.205	-0.057	-0.132	-0.249	-0.195	-0.291	-0.061	0.233	-0.294	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X_9	0.197	0.033	0.136	0.674**	0.705**	0.571**	0.216	0.703**	-0.532*	-0.013	0.042	1	-	-	-	-	-	-	-
X_{10}	0.320	0.043	-0.194	0.450*	-0.151	0.249	0.431	0.219	0.022	0.392	0.064	0.187	1	-	-	-	-	-	-
X_{11}	0.342	0.025	-0.210	0.517*	-0.113	0.258	0.420	0.200	0.124	0.351	0.066	0.173	0.977**	1	-	-	-	-	-
X_{12}	0.229	0.221	-0.173	0.168	-0.256	-0.063	-0.218	-0.156	-0.001	-0.245	-0.004	-0.024	-0.016	0.062	1	-	-	-	-
X_{13}	0.190	0.263	-0.178	0.027	-0.369	-0.041	-0.162	-0.053	-0.240	-0.138	-0.139	-0.014	0.082	0.052	0.828**	1	-	-	-
X_{14}	0.527*	-0.059	0.126	0.279	-0.130	0.320	0.306	0.245	0.086	0.162	0.198	0.301	0.673**	0.668**	-0.058	-0.018	1	-	-
X_{15}	0.484*	0.221	-0.115	-0.013	0.130	0.295	0.129	0.257	0.212	-0.081	-0.260	0.013	0.226	0.195	-0.229	-0.032	0.267	1	-

** . 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함
 * . 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함

IV. 모형 개발

이 연구에서는 승용차, 화물 및 승합차 그리고 원동기의 사고건수를 종속변수로 선정하였다. 총 3개의 종속변수를 대상으로 음이항과 포아송, 그리고 ZAM모형을 구축하여 이를 비교·분석하였다.

1. 승용차(Y_1)

모형구축 결과, <표 5>에서 보는 바와 같이 교통량(X_1), 중앙교통섬 직경(X_7), 조명시설(X_9) 및 진출차로 수(X_{11})가 독립변수로 채택되고, 이 변수들의 p값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)에 유의한 것으로 분석된다. 과분산계수(Φ) 값은 2.396이며, 모형의 설명력을 나타내는 우도비(ρ^2)는 음이항이 0.357로 포아송 보다 높아 음이항 모형이 적합한 것으로 판단된다.

ZIP모형과 ZINB모형 두 가지 분석방법을 이용하여 사고모형을 개발한 결과 Vuong 통계값이 ZIP모형은 1.109, ZINB모형은 -0.588로 모두 1.96보다 작아 통계적으로 적합하지 않는 것으로 분석된다.

채택된 변수를 분석한 결과 통행 교통량이 많아질수록, 그리고 중앙교통섬 직경이 적고, 조명시설과 진출차로 수가 적을수록 사고심각도가 높아지는 것으로 판단된다. 로터리의 사고를 줄이기 위해서는 조명시설의 설치가 바람직할 것으로 판단된다.

<표 5> 승용차 모형 분석결과(Y_1)

변수		모형			
		포아송	ZIP	음이항	ZINB
상수	계수	6.238 (4.809)	5.560 (5.672)	7.457 (2.185)	6.567 (2.033)
	p 값	0.000	0.000	0.029	0.042
X_1	계수	0.735 (4.005)	0.587 (3.580)	0.939 (1.856)	0.768 (1.802)
	p 값	0.000	0.000	0.064	0.072
X_7	계수	-0.076 (-4.377)	-0.063 (-5.773)	-0.100 (-2.204)	-0.078 (-2.182)
	p 값	0.000	0.000	0.028	0.029
X_9	계수	-0.350 (-3.647)	0.251 (2.556)	-0.454 (-2.051)	-0.334 (-2.078)
	p 값	0.000	0.011	0.040	0.038
X_{11}	계수	-1.895 (-6.722)	-1.163 (-1.791)	-2.437 (-2.396)	-1.991 (-2.718)
	p 값	0.000	0.073	0.017	0.007
알파(Φ)		-	-	2.396	1.935
ρ^2		0.273	0.040	0.357	0.357
Vuong		-	1.109	-	-0.588

주 : ()의 수는 t 값임

2. 화물 및 승합차(Y_2)

화물 및 승합차(Y_2) 모형은 <표 6>에서 보는 바와 같이 과분산계수(Φ) 값이 0.501이며, 모형의 설명력을 나타내는 우도비(ρ^2)는 ZIP 모형이 0.344로 적합한 것으로 판단된다. 또한 변수들의 p값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 기준에 유의하여 통계적으로 설명력이 있는 모형이 개발된다. 모형의 독립변수는 내접원 직경(X_4)과 분리교통섬 수(X_8)가 채택된다.

모형 구축 결과 중앙교통섬 직경과 분리교통섬이 줄어들수록 사고의 심각도가 높아지는 것으로 판단된다. 따라서 향후 로터리 사고를 예방하기 위해서는 역주행 방지와 감속 유도를 위한 분리교통섬 수를 점차 늘려야 할 것으로 판단된다.

<표 6> 화물 및 승합차(Y_2)

변수		모형			
		포아송	ZIP	음이항	ZINB
상수	계수	3.317 (2.721)	4.476 (1.164)	3.210 (1.917)	1.450 (2.183)
	p 값	0.007	0.044	0.017	0.029
X_4	계수	-0.106 (-2.481)	-0.151 (-1.078)	-0.114 (-1.917)	-0.027 (-1.126)
	p 값	0.013	0.081	0.055	0.060
X_8	계수	-0.622 (-2.308)	-0.368 (-0.695)	-0.625 (-1.860)	-0.279 (-1.495)
	p 값	0.021	0.087	0.063	0.017
알파(Φ)		1.265	0.501	-	-
ρ^2		0.235	0.344	0.068	0.098
Vuong		-	2.135	-	3.340

주 : ()의 수는 t 값임

3. 원동기(Y_3)

원동기(Y_3) 모형구축 결과는 <표 7>과 같이 내접원 직경(X_4), 분리교통섬 수(X_8), 진출차로 수(X_{10}) 및 횡단거리(X_{14})가 독립변수로 채택된다. 이 변수들의 p값은 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$) 기준에 유의하여 통계적으로 설명력이 있는 모형이 개발된다. 과분산계수(Φ) 값이 0.104로 ZIP 모형이 적합한 것으로 분석된다.

채택된 변수는 분리교통섬 수와 진출차로 수가 음의 관계를 보이고 있으며, 나머지 변수들은 모두 양의 관계를 나타내고 있다. 즉, 내접원 직경과 횡단거리가 증가할수록 사고의 심각도가 높아지며, 분리교통섬 수와 진출차로 수가 증가할수록 사고의 심각도는 낮아지는 것으로 판단된다.

화물 및 승합차의 내접원 직경의 계수와 달리 '+'계수 값으로 분석되어, 향후 더 많은 로터리를 기준으로 분석해야 할 것으로 판단된다. 진입차로 수의 표준화 계수는 -3.788로 나타나 가장 큰 영향력을 갖는 것으로 분석되며, 내접원 직경은 0.050으로 매우 낮은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결과의 비교분석

〈표 8〉은 모형의 채택된 변수를 식으로 표기한 것이다. 분석결과 차량유형별로 많은 차이가 나는 것으로 판단된다. 승용차 사고건수의 경우 교통량, 중앙교통섬 직경, 조명시설 및 진출차로 수가 채택되고, 화물 및 승합차 사고건수는 내접원 직경, 분리교통섬 수가 각각 채택된다. 마지막으로 원동기는 내접원 직경, 분리교통섬 수, 진입차로 수 및 횡단거리가 채택된다. 승용차 사고건수(Y_1)는 과속방지턱(-2.437)이 교통량(-0.939)보다 사고 심각도에 더 영향을 미치는 것으로 분석된다.

승용차는 다른 차량에 비해 교통량이 사고에 영향을 미치는 것으로 나타나며, 조명시설의 확충이 시급하다. 또한 화물 및 승합차와 원동기의 경우 내접원 직경과 진입차로 수, 횡단거리 등과 같은 기하구조의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

5. 모형의 검증

이 연구에서는 모형의 개발과정에서 적용된 독립변수를 구축된 모형 식에 적용하여 실제 값과 회귀 식에 적용된 예측 값과의 평균을 비교하여 사고모형의 적합성을 검증한다. 실제 사고건수와 모형개발에 따른 예측 사고건수 간의 비교는 대응표본 t검정(paired sample t-test)을 통해 통계적으로 검증한다. 그 결과는 〈표 9〉와 같다.

차량유형별 사고모형을 대응표본 t검정을 통해 검증한 결과, 포아송 회귀모형의 유의확률이 0.769~0.998로 나타나 귀무가설($H_0: d_0 = 0$)을 기각하지 못하여, 실제 값과 예측 값 간에 차이가 있다고 할 수 없는 것으로 분석된다.

〈표 9〉 대응표본 t-검정 결과

유형	대응표본 t-검정					t 값	상관계수	유의확률 (양측)
	평균	표준편차	평균의 표준오차	95% 신뢰구간				
				최소값	최대값			
승용차	-0.473	7.093	1.586	-3.793	2.846	-0.298	0.491	0.769
화물 및 승합차	-0.021	1.762	0.394	-0.846	0.804	-0.054	0.391	0.958
원동기	0.000	0.696	0.156	-0.325	0.326	0.003	0.953	0.998

〈표 7〉 원동기(Y_3)

변수		모형			
		포아송	ZIP	음이항	ZINB
상수	계수	-3.590 (-2.092)	-1.837 (-0.642)	-3.592 (-2.096)	-1.828 (-0.492)
	p 값	0.036	0.021	0.036	0.023
X_4	계수	0.059 (3.149)	0.050 (1.312)	0.059 (3.140)	0.049 (0.536)
	p 값	0.002	0.089	0.002	0.092
X_8	계수	-1.093 (-1.740)	-0.610 (-0.839)	-1.096 (-1.784)	-0.632 (-0.842)
	p 값	0.082	0.001	0.074	0.000
X_{10}	계수	-6.657 (-2.573)	-3.788 (-1.264)	-6.666 (-2.643)	-3.861 (-1.065)
	p 값	0.010	0.006	0.008	0.087
X_{14}	계수	0.651 (2.223)	0.344 (1.150)	0.652 (2.279)	0.352 (1.095)
	p 값	0.026	0.050	0.023	0.074
알파(Φ)		0.133	0.104	-	-
ρ^2		0.648	0.641	0.647	0.641
Vuong		-	4.253	-	6.240

주 : ()의 수는 t 값임

〈표 8〉 모형 식

모형	음이항 회귀모형 식
1	$Y_1 = \exp(7.457 - 0.939X_1 - 0.100X_2 - 0.454X_3 - 2.437X_{11})$
모형	ZIP 모형 식
2	$Y_2 = \exp(4.476 - 0.151X_4 - 0.368X_8)$
3	$Y_3 = \exp(-1.837 + 0.050X_4 - 0.610X_8 - 3.788X_{10} + 0.344X_{14})$

V. 결론

본 연구는 국내 로터리 차량유형에 따른 교통사고를 다루었다. 이를 위해 본 연구는 2007~2009년 20개 교차로에서 발생한 차량유형별 사고 자료를 바탕으로 포아송과 음이항 회귀모형, ZAM모형을 통해 모형을 구축한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 차량유형별로 통계적으로 의미 있는 2개의 ZIP 모형과 1개의 음이항 모형이 개발된다.

둘째, 차량유형별 모형의 특정변수로는 승용차는 교통량, 중앙교통섬 직경, 조명시설 및 진출차로 수, 화물 및 승합차는 내접원 직경과 분리교통섬 수, 그리고 원동기는 내접원 직경, 분리교통섬 수, 진입차로 수 및

횡단거리가 채택된다. 차량의 용도 및 크기에 따라 채택된 독립변수가 다양한 것으로 판단된다. 이것은 로터리를 통행하는 차량의 종류를 파악하고, 그에 따른 기하구조를 개선하여 사고를 미리 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 로터리에서 회전교차로로 전환하기 위한 방안으로 로터리와 회전교차로의 통행방식을 운전자가 정확하게 인지하는 것이 가장 중요하고, 그 다음으로는 교차로의 설계라 할 수 있다. 아울러 회전교차로 임을 인지할 수 있는 안전표지와 노면표시의 설치와 모형에서 채택된 독립변수를 토대로 교차로 개선이 필요한 것으로 판단된다.

향후 국내 회전교차로의 차량유형별 사고모형을 구축하여 로터리와 회전교차로의 차이를 비교 분석하는 연구가 진행되어야 한다. 특히 로터리와 회전교차로를 구분하는데 있어 인식론적 측면과 기하구조 측면의 변수를 수집하여 반영해야 할 것으로 판단된다.

알림 : 이 논문은 한국안전학회 추계학술대회(2010. 10.20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 국토해양부(2010), “회전교차로 설계지침”, pp.1~69.
2. 김경환·박병호(2010), “차량유형에 따른 교통사고심각도 분석모형 개발”, 한국안전학회지, 제25권 제3호, 한국안전학회, pp.131~136.
3. 김숙희·장정아·최기주(2005), “사고다발지점의 안전성능진단 및 위치별 사고요인분석(수원시를 중심으로)”, 대한교통학회지, 제23권 제1호, 대한교통학회, pp.9~20.
4. 김진선·김태영·김경환·박병호(2011), “간선도로 기능별 교통사고모형 개발”, 제13권 제1호, pp.49~57.
5. 박병호·박길수·인병철(2008), “4지 신호교차로 차종별 사고모형”, 한국도로학회 논문집, 제10권 제4호, 한국도로학회, pp.161~170.
6. 박병호·류승옥(2008), “회전교차로의 계획과 설계”, 예원사, pp.1~201.
7. 충북대학교 산학협력단(2010), “국내 원형교차로 운영현황 및 문제점 분석 연구 최종보고서”, pp.1~125.
8. 최재원·김성호·조준한·김원철(2004), “인공신경망을 적용한 신호교차로 교통사고심각도 예측에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.127~135.
9. Washington, S.P. Karlaftis, M.G. and Mannering, F.L.(2003), “Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis”, Chapman & Hall/CRC, pp.241~255.
10. Taekratok, T.(1998), “Modern Roundabouts for Oregon”, pp.1~134.
11. Persaud, B.N., Retting, R.A., Garder, P.E., Lord, D.(2001), “Observation Before-after Study of the Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayesian Method”, 2001 TRB Annual Meeting, pp.1~10.
12. McKnight, G.A. Khattak, A.J. and Bishu, R.(2008), “Driver Characteristics Associated with Knowledge of Correct Roundabout Negotiation”, 2008 TRB Annual meeting, pp.1~11.
13. Guido, G.P. Saccomanno, F.F. Astarita, V. and Vitale, A(2009), “Measuring Safety Performance at Roundabout Using Videotaped Vehicle Tracking Data”, 2009 TRB Annual Meeting, pp.1~18.

✉ 주 작 성 자 : 한수산
 ✉ 교 신 저 자 : 박병호
 ✉ 논문투고일 : 2011. 8. 24
 ✉ 논문심사일 : 2011. 9. 27 (1차)
 2011. 10. 28 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2011. 10. 28
 ✉ 반론접수기한 : 2012. 4. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필