

# 국내 원형교차로 사고모형

이승주 · 박민규 · 박병호<sup>†</sup>

충북대학교 도시공학과

(2012. 1. 21. 접수 / 2014. 1. 7. 채택)

## Accident Models of Circular Intersections in Korea

Seung Ju Lee · Min Kyu Park · Byung Ho Park<sup>†</sup>

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Received January 21, 2012 / Accepted January 7, 2014)

**Abstract** : This study deals with the accidents of circular intersections in Korea. The goal is to develop the accident models for 94 circular intersections. In pursuing the above, this study gives particular attentions to collecting the data of geometric structure and accidents, and comparatively analyzing such the models as Poisson and NB regression and multiple regression model using SPSS 17.0 and LIMDEP 3.0. The main results are as follows. First, the negative binomial model among various models was analyzed to be the most appropriate. Second, 3 independent variables was adopted in the model, and these variables was analyzed to have a positive relation to the accident rate. Finally, the reduced width of circulatory roadway, removal of the parking lot within circulatory roadway and appropriate levels of approach lane were required to improve the safety of circular intersection.

**Key Words** : circular intersection, multiple regression model, poisson and NB regression model, paired t-test, multicollinearity

### 1. 서론

#### 1.1. 연구의 배경 및 목적

회전교차로는 신호교차로와는 다르게 신호운영방식을 채택하지 않고, 교차로 중앙에 중앙교통섬을 두어 진입차량이 중앙교통섬을 끼고 회전하여 통과하도록 되어있는 교차로이다. 회전교차로의 원형인 로터리는 미국에서 처음 도입을 시작한 교차로 운영방식으로 진입차량에게 통행우선권을 부여하여 운영되는 방식의 교차로이다.

회전교차로는 회전차로내의 회전차량에게 통행우선권이 부여되는데, 이는 미국에서 처음 도입한 로터리와는 다른 운영방식이다. 현재 해외에서는 회전교차로의 우수성을 인지하고 많이 도입되어 있는 실정이다.

국내에서도 국토해양부에서 2010년에 “회전교차로 설계지침”을 만들어, 회전교차로의 도입에 많은 노력을 기울이고 있다.

하지만 도입을 시작한 시기가 그리 오래되지 않아 아직은 그 운영방식이 다소 낯설어 운전자들이 혼란을 겪는 경우가 많다. 운전 중의 혼란은 자칫 교통사고로 이어질 위험이 높기 때문에 이에 대한 개선이 요구되고 있다.

이에 이 연구는 회전교차로와 회전교차로의 원형이라 할 수 있는 로터리를 합친 원형교차로에서의 포아송 및 음이항 회귀모형 및 다중선형 회귀모형을 이용하여 국내 원형교차로에서 발생하는 사고모형을 구축하고, 그에 따

른 개선방안을 제시하는데 목적이 있다.

#### 1.2 연구의 내용 및 방법

이 연구는 국내 원형교차로의 사고모형개발을 목적으로 하고 있으므로, 자료 수집을 위해 국내 원형교차로 94 개소를 대상으로 조사하였다. 그 외 교통량, 기하구조 및 교통시설물의 자료는 동영상분석과 현장조사를 병용하여 수집하였다.

연구의 수행과정으로는 첫 번째로, 국내 원형교차로에서 발생한 사고자료 중 2007년부터 2009년까지의 자료를 수집<sup>1)</sup>한 후, 94개 지점의 사고자료를 분류하였고, 해당 교차로의 기하구조를 EXCEL을 이용하여 코딩하였다.

두 번째로, 코딩된 자료를 1개의 종속변수와 11개의 독립변수로 나누고 각 변수들의 특성을 SPSS17.0을 이용하여 분석하였다.

마지막으로, SPSS17.0과 LIMDEP3.0을 이용하여 다중선형 회귀모형과 포아송 및 음이항 회귀모형을 통하여 사고모형을 개발하였다.

### 2. 기존 연구 고찰

#### 2.1. 국내연구

임진강 등<sup>2)</sup>은 VISSIM을 이용하여 로터리를 회전교차로로 전환했을 때의 효과를 비교분석하였다. 그 결과, 회

<sup>†</sup> Corresponding Author : Byung Ho Park, Tel : +82-43-261-2496, E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, 52, Naesudong-ro, Heungdok-Gu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

전교차로로 전환했을 경우 로터리에 비해 속도 및 교통량에 대한 지체의 비교에서 로터리가 회전교차로보다 지체가 심한 것으로 분석하고 있다.

한수산 등<sup>3)</sup>은 5지 회전교차로는 진입교통량이 3,500pcph 이하일 때 효과적이며, 6지 1차로는 3,600pcph이하에서 효과적이라고 분석하였다. 그리고 6지 2차로의 경우에는 모든 진입교통량 조건에서 회전교차로가 더 효과적인 것으로 분석하고 있다.

김준용 등<sup>4)</sup>은 ZAM을 이용하여 청주시 간선가로구간의 교통사고모형을 분석하였다. 그 결과 교통량과 진출입구수가 많을수록, 중앙분리대의 길이가 짧을수록 교통사고가 발생될 확률이 높아진다고 분석하고 있다.

김응철 등<sup>5)</sup>은 지방부 신호교차로의 사고예측모형을 개발한 결과 좌회전 전용차로, 횡단보도, 제한속도, 조명시설, 교차각, ADT 등이 사고에 영향을 미친다고 분석하였다.

유두선 등<sup>6)</sup>은 청주시와 청원군의 신호교차로를 중심으로 다중선형회귀모형, 포아송 및 음이항 모형을 개발하였다. 각 모형별로 종속변수를 사고건수와 EPDO로 모형을 개발하였으며, 횡단보도의 합계, 전체교통량, 차로폭 차이 및 주도로폭이 지방부 신호교차로에서의 사고발생확률에 영향을 주는 것으로 분석하고 있다.

2.2. 국외연구

Persaud, B. N. 등<sup>7)</sup>은 지방지역 2차로 도로의 교통시설물 설치가 사고방지에 효과적이라고 밝혔다. 그리고 교통시설물 중 중앙분리대가 없을 경우 중앙선 침범으로 인한 정면충돌이나 측면 접촉사고가 발생할 수 있으며, 이러한 사고는 심각도가 높은 것들이기 때문이라고 밝히고 있다.

Xuedong, Y. 등<sup>8)</sup>은 신호교차로의 선형 및 접근도로의 종단경사가 서로 다른 6개의 교차로를 대상으로 측면직각 충돌사고를 분석하였다. 그 결과 대상 교차로에서 일어난 측면직각 충돌사고는 교차로의 기하구조 및 날씨, 제한속도 등에 영향을 받는다고 분석하였다.

Kara M. Kockelmac 등<sup>9)</sup>은 교통사고 발생시 운전자의 부상심각도를 순서형 프로빗 모형을 이용하여 분석하였다. 이 연구는 운전자의 사고심각도 분석이 목적이기 때문에 가해자인 1당사자와 피해자인 2당사자 간의 차중, 속도 변수 등 여러 요인을 설명변수로 사용하고 단독사고와 쌍방사고를 분류하여 분석하였다.

2.3 기존연구와의 차별성

이 연구에서는 원형교차로의 사고모형을 개발하는데 있어서 다중선형 회귀모형과 포아송 및 음이항 회귀모형을 사용하여 사고모형을 개발하였다.

기존 연구와의 차이점으로는 우선, 신호교차로나 가로구간의 아닌 원형교차로의 사고모형을 구축하였다는 점에서 차이가 있다.

대상지의 선정 또한 선행연구에서는 특정 시·도를 선정하였지만, 이 논문에서는 전국 94개소 원형교차로를 대상으로 하였다는 점에서 기존 연구와의 차별성이 있다고

하겠다.

3. 분석틀 설정

3.1 자료의 수집 및 분석

국내 원형교차로의 사고모형을 개발하기 위해 대상지 교차로 94개소의 교통량, 기하구조 및 구성요소 자료를 조사하였다. 이 연구에서 사용되는 종속변수인 사고율은 2007년부터 2009년까지의 전국 사고 자료(1,122건)와 교통량 자료를 토대로 백만차량당 사고건수이다.

3.2 변수의 설정

이 논문에서는 1개의 종속변수와 11개의 독립변수를 설정하고 있다. 원형교차로의 사고특성상 측면직각충돌이나 추돌사고가 주를 이루기 때문에, 이와 관련한 회전차로의 기하구조나 접근로에 설치되어 있는 교통시설물을 변수로 선정한다. 종속변수인 사고율은 교통량 요인이 계산과정에 포함되었으므로 독립변수에 교통량을 제외하고 분석을 진행하였다. 변수에 대한 정의는 표 1과 같다.

변수들의 기술통계 결과는 표 2와 같으며,  $X_1$ 인 중앙교통섬 직경의 분산도가 가장 큰 것으로 분석되었다.

Table 1. Definitions of variables

Division	Variable	Unit
Accident rate	$Y_1$	unit/million
Diameter traffic circle	$X_1$	m
Width of circular roadway	$X_2$	m
No. of circular roadway	$X_3$	Number
No. of approach	$X_4$	Number
Avg. of approach lane	$X_5$	Number
Avg. of traffic islands	$X_6$	Number
Avg. of crosswalk	$X_7$	Number
Avg. of reducing facilities	$X_8$	Number
Lighting facilities	$X_9$	Install=1, otherwise=0
Parking lot	$X_{10}$	Install=1, otherwise=0
Bus stop	$X_{11}$	Install=1, otherwise=0

Table 2. Descriptive statistics of variables

Division	Range	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
$Y_1$	34.000	4.802	23.061	2.517	12.271
$X_1$	209.77	26.002	676.120	4.625	28.759
$X_2$	11.625	2.249	5.057	1.605	3.134
$X_3$	4.000	0.907	0.822	1.578	2.099
$X_4$	5.000	1.050	1.101	0.744	0.911
$X_5$	3.100	0.551	0.304	0.798	0.468
$X_6$	1.333	0.379	0.144	-0.932	-0.554
$X_7$	1.750	0.387	0.150	-0.730	0.584
$X_8$	1.333	0.307	0.094	2.261	4.726
$X_9$	1.000	0.347	0.120	-2.130	2.590
$X_{10}$	1.000	0.476	0.227	0.684	-1.565
$X_{11}$	1.000	0.500	0.250	-0.217	-1.996

Table 3. Correlation analysis

Division	$Y_1$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
$Y_1$	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$X_1$	0.060	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$X_2$	0.034	-0.235*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$X_3$	0.084	0.463**	-0.423**	1	-	-	-	-	-	-	-	-
$X_4$	-0.073	0.029	-0.020	0.255*	1	-	-	-	-	-	-	-
$X_5$	0.217*	0.477**	-0.199	0.543**	-0.085	1	-	-	-	-	-	-
$X_6$	-0.147	0.250*	-0.246*	0.125	-0.206*	0.211*	1	-	-	-	-	-
$X_7$	-0.087	0.137	-0.184	0.146	0.012	0.103	0.171	1	-	-	-	-
$X_8$	0.023	0.065	-0.168	-0.111	-0.161	-0.030	-0.215*	-0.123	1	-	-	-
$X_9$	0.134	0.081	-0.067	0.167	0.062	0.203*	-0.057	0.201	0.151	1	-	-
$X_{10}$	0.174	0.085	-0.133	0.065	0.181	-0.036	-0.148	0.035	0.209*	0.223*	1	-
$X_{11}$	0.067	0.081	0.019	0.272**	0.093	0.416**	0.132	0.209*	-0.041	0.136	0.059	1

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

3.3 상관관계 분석

수집된 변수들의 상관관계 분석은 연구수행 과정에서 매우 중요하다. 종속변수와 독립변수간의 상관성을 분석한 결과는 표 3과 같다. 분석 결과, 변수들의 관계에서  $X_3$ 과  $X_5$ 의 상관관계가 0.543으로 다른 변수들에 비해 높게 분석되었다.

3.4 다중공선성 분석

다중공선성이란 회귀분석에서 설명변수 중에 상관관계가 높은 변수가 포함되어 있을 때 분산 행렬의 행렬식이 0에 가까운 값이 되어 회귀계수의 신뢰도가 떨어지게 되는 현상을 말한다. 모형을 개발할 때 변수 간에 다중공선성이 존재한다면 그 모형의 회귀계수를 신뢰할 수 없게 되어 잘못된 결론이 도출될 수 있으므로, 이 연구에서는 다중공선성의 여부를 확인하기 위해 VIF (Variation Inflation Factor) 값을 분석하여 문제를 판단한다. 다중공선성의 분석은 SPSS17.0을 이용하였다. 일반적으

로 VIF값이 10 이상일 경우, 다중공선성이 있다고 판단한다. 이 연구에서 사용한 변수들 간의 VIF값은 표 4와 같다. 11개 독립변수의 VIF분석 결과 모든 변수에서 3미만의 값으로 분석되어 다중공선성 문제는 없는 것으로 판단되어, 이 연구에서는 모든 변수를 활용하여 사고모형을 개발한다.

4. 모형의 개발

4.1 모형의 이론적 고찰

다중선형회귀(multiple linear regression) 모형은 독립변수가 2개 이상인 경우의 선형회귀모형을 의미한다. 종속변수 Y와 독립변수  $X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(m)}$  을 가지고 있는 다중선형모형은 식 (1)과 같이 선형함수로 표현한다.

$$Y_t = a + b_1X_t^{(1)} + b_2X_t^{(2)} + \dots + \varepsilon_t \quad (1)$$

여기서  $a, b_1, b_2, \dots, b_m$  은 회귀계수 또는 매개변수를 의미하며,  $\varepsilon_t$ 는 평균 0과 분산  $\sigma_t^2$ 을 가지는 정규분포 형태를 띠고 있다고 가정한다.

포아송 회귀(Poisson regression) 모형은 회귀분석이나 범주형 자료를 분석하기 위해 사용되는 모형으로, 일정한 시간 또는 공간에서 0(zero)을 포함한 사건 발생횟수와 이에 따른 확률분포를 말한다. 포아송분포의 확률밀도 함수는 식 (2)와 같다.

$$Pr(Y_i = kX_i) = \frac{\exp(-\lambda_i)\lambda_i^k}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

음이항 회귀(Negative Binominal regression) 모형은 자료의 분포가 과분산(overdispersion)을 나타낼 경우 포아송 모형은 적용하기 어려운 점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 자주 사용되는 모형이다. 음이항 회귀 모형식은 포

Table 4. Multicollinearity test of variables

Variable	VIF
Accident rate	1.607
Diameter traffic circle	1.541
Width of circular roadway	2.160
No. of circular roadway	1.325
No. of approach	2.049
Avg. of approach lane	1.389
Avg. of traffic islands	1.193
Avg. of crosswalk	1.361
Avg. of reducing facilities	1.194
Lighting facilities	1.184
Parking lot	1.412

아송 회귀 모형식에 오차 항을 결합시킨 형태로 식 (3)과 같다.

$$Pr(Y_i = kX_i) = \frac{T(k+\alpha^{-1})}{T(k+1)T(\alpha^{-1})} \times (\alpha\lambda_i)^k [1+\alpha\lambda_i]^{-(k+\alpha-1)} \quad (3)$$

**4.2 포아송 및 음이항 회귀모형**

비선형모형인 포아송 및 음이항 회귀모형으로 사고모형을 구축한 결과 우도비가 각각 0.051과 0.165로, 포아송 회귀모형은 설명력이 떨어지는 것으로 분석되었고, 음이항 회귀모형은 설명력이 다소 낮지만 통계적으로 유의하다고 판단되었다.

포아송과 음이항 회귀모형의 적합성 판단 기준은 Simon P. Watson<sup>10)</sup>이 제시한 1.96을 준용하였다.

이 연구에서 개발된 음이항 회귀모형의 Alpha (α)의 t 통계값은 4.866으로 1.96이상이기 때문에 음이항이 적합한 것으로 분석되었다. 음이항 회귀모형에서 채택된 독립 변수는 총 2개이다.

채택된 모형의 변수는 접근로 차로수 평균(X<sub>5</sub>)과 접근로별 분리교통섭 수(X<sub>6</sub>)로 분석되었으며, 사고에 가장 크게 영향을 미치는 변수로는 접근로별 분리교통섭 수 평균이 -0.498로 가장 높게 나타났다.

**4.3 다중선형 회귀모형**

다중선형 회귀모형으로 분석한 결과, 수정된 R<sup>2</sup> 값이 0.594로 포아송 및 음이항 회귀모형과 마찬가지로 모형의

Table 5. Result of count data modeling

Variable		Poisson	Negative Binominal
Constant	Coeff.	1.434	1.420
	t-ratio	10.895	5.673
	p-value	0.000	0.000
X <sub>5</sub>	Coeff.	0.397	0.422
	t-ratio	5.068	2.006
	p-value	0.000	0.045
X <sub>6</sub>	Coeff.	-0.462	-0.498
	t-ratio	-4.006	-2.202
	p-value	0.001	0.028
ρ <sup>2</sup>		0.051	0.165
Alpha(α)		-	0.437(4.865)

Table 7. Paired t-test

Division	Paired Differences				t	p-value
	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval			
			Lower	Upper		
Multiple linear	0.241	4.656	-0.713	1.194	0.502	0.617
Negative Binominal	-0.012	4.614	-0.957	0.933	-0.025	0.980

Table 6. Result of multiple regression modeling

Division	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	F	p-value
Value	0.603	0.594	4.687	1.886	69.801	0.000

  

Variable	Unstandardized Coefficients		Std. Coefficients	t	p-value
	B	Std. Error			
X <sub>5</sub>	3.133	0.366	0.666	8.558	0.000
X <sub>10</sub>	2.246	0.982	0.178	2.288	0.024

설명력이 다소 낮지만 통계적으로 의미가 있는 것으로 분석되었으며, 총 3개의 독립변수가 채택되었다. 채택된 변수는 접근로 차로수 평균(X<sub>5</sub>) 및 주차장 유무(X<sub>10</sub>)로, 이 변수들은 모두 회전교차로의 사고율에 양(+)의 관계를 가지는 것으로 분석되었으며, 이 변수들은 모두 통계적으로 유의한 것으로 평가되었다.

아울러 상수항을 추가하여 분석한 결과, 모형의 R<sup>2</sup> 값이 적고, 채택되는 변수가 1개인 모형으로 개발되었다. 이것은 단순선형회귀모형으로 연구의 목적을 달성하기 어렵기 때문에 이 연구에서는 상수항을 제외하고 모형을 개발하였다.

**4.4 모형의 검정**

이 연구에서는 개발된 모형의 적합성을 판단하기 위해서 두 가지 모형의 실측치와 예측치를 이용해 대응표본 t 검정을 이용한다. 모형의 검정은 모형의 개발에 사용된 자료를 이용하는 방법과 조사지점과 유사한 지역의 자료를 수집하는 방법이 있는데, 이 연구에서는 전자의 방법을 사용한다.

대응표본 t검정은 실측치와 예측치의 동일성을 검정하기 위한 것으로 t검정을 실시한 결과는 Table 7과 같다. 검정 결과 두 사고모형 모두 유의확률이 0.617과 0.980으로 귀무가설을 기각하지 못하여 실측치와 예측치 간의 차이가 있다고 할 수 없는 것으로 분석된다.

**5. 결론**

이 연구에서는 전국 94개 원형교차로(회전교차로와 로터리 포함)에서 발생한 교통사고율을 이용하여 사고모형을 개발하였다. 이 논문의 결론은 다음과 같다.

첫째, 이 연구에서 개발된 원형교차로 사고모형인 다중선형 회귀모형, 포아송 및 음이항 회귀모형 중 음이항 회

규모형이 통계적으로 가장 적합하다고 분석되었다.

둘째, 채택된 모형의 독립변수는 접근로 차로수 평균( $X_5$ ), 접근로별 분리교통섬 수 평균( $X_6$ ) 및 주차장 유무( $X_{10}$ )가 채택되었으며, 분리교통섬 수 평균( $X_6$ )을 제외한 변수들은 (+)를 가지는 것으로 분석되었다.

셋째, 모형에서 채택된 변수를 해석하면 다음과 같다. 우선, 접근로 차로수 평균( $X_5$ )은 접근로의 차로수가 많을수록 차량끼리의 상충횟수가 증가하게 되어 이 역시 회전차로 폭과 마찬가지로 사고의 위험이 다소 높은 것으로 해석이 가능하다.

접근로별 분리교통섬 수 평균( $X_6$ )은 접근로의 차로수가 많을수록 차량끼리의 상충횟수가 증가하게 되어 이 역시 회전차로 폭과 마찬가지로 사고의 위험이 다소 높은 것으로 해석이 가능하다.

또한, 회전차로 내에 설치된 주차장( $X_{10}$ )은 회전차량의 정지율이 높아지고, 이는 곧 차량 간 후미추돌 사고 등의 사고위험성이 높아지는 것으로 해석할 수 있다.

따라서 원형교차로에서의 교통사고를 감소시키기 위해서는 회전차로내 주차장의 폐쇄 및 접근로 차로수의 적정 수준 유지가 필요할 것으로 판단된다. 아울러 분리교통섬을 설치하여 차량의 교차각 유지와 보행자의 대기 장소를 설치하여 사고위험성을 낮출 필요가 있는 것으로 분석되었다.

이 연구의 향후과제로는 보다 많은 사고 자료를 이용하여 분석할 필요가 있다는 것이다. 또한 교통사고자료를 사고요인 및 사고유형별로 분류하여 사고모형의 개발과 함께 비교·분석하는 연구도 진행되어야 할 것이다.

## References

- 1) Traffic Accident Analysis System, Road Traffic Authority (TAAS).
- 2) J. K. Lim and B. H. Park, "Comparative Analysis of Operational Effectiveness Related to the Conversion of Rotary to Roundabout in Korea", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 77-83, 2011.
- 3) S. S. Han and B. H. Park, "Comparative Analysis on the Delay between Multi-legged Roundabout and Signalized Intersection", *Journal of Korean Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 6, pp.83-93, 2010.
- 4) J. Y. Kim and B. H. Park, "Developing the Accident Models of Cheongju Arterial Link Sections Using ZAM Model", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 43-49, 2010.
- 5) E. C. Kim, D. M. Lee and D. H. Kim, "Development of Traffic Accident Frequency Model for Evaluating Safety at Rural Signalized Intersections", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 53-63, 2008.
- 6) D. S. Yu, B. H. Park, J. M. Yang and Y. M. Lee, "Analysis of Accident Characteristics and Development of Accident Models in the Signalized Intersections of Cheongju and Cheongwon", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 26, No. 2, pp. 35-46, 2008.
- 7) X. D. Yan, "Safety Issue of Red-light Running and Unprotected Left-turn at Signalized Intersections", B.Sc. Xi'an University of Architecture & Technology, M.Sc. University of Central Florida, 2005.
- 8) B. N. Persaud, R. A. Retting and C. A. Lyon, "Crash Reduction Following Installation of Centerline Rumble Strips on Rural Two-lane Roads", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.36, No.6, pp. 1073-1079, 2004.
- 9) K. M. Kockelmac, Y. J. Kweon, "Driver Injury Severity: an Application of Ordered Probit Models", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, No. 3, pp. 313-321, 2002.
- 10) P. W. Simon, "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", pp. 250-254, 2003.