

3지와 4지 회전교차로의 사고분석

박민규 · 박병호[†]

충북대학교 도시공학과

(2012. 1. 25. 접수 / 2012. 5. 24. 채택)

Accident Analysis of 3-legged and 4-legged Roundabouts

Min Kyu Park · Byung Ho Park[†]

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Received January 25, 2012 / Accepted May 24, 2012)

Abstract : This study deals with the accident of roundabout. The objective is to analyze the traffic accidents occurred in 3-legged and 4-legged roundabouts through the developed models. In developing the multiple linear regression models, this study uses the number of traffic accidents as a dependent variable and such the variables as geometric structures, traffic characters and others as the independent variables. The correlation and multicollinearity of variables were analyzed using SPSS17.0. The main results are as follows. First, R-square value of developed models were analyzed to be 0.851(3-leg) and 0.689(4-leg), respectively. Second, the independent variables in the 3-legged roundabout accident model were analyzed to be the traffic volume and number of crosswalk, and the variables in the 4-legged roundabouts were evaluated to be the traffic volume and signal. Finally, the paired t-test shows that the predicted values and observed values are not statistically different.

Key Words : roundabout, 3-legged, 4-legged, accident model, multiple linear regression model

1. 서론

국내 신호교차로 운영의 한계점으로 통행량이 적은 교차로의 지체가 상대적으로 커짐에 따라 회전교차로의 도입에 전문가들의 관심이 고조되고 있다.

회전교차로와 로터리에 대한 설계지침은 2004년 평면교차로 설계지침의 한 부분으로 되어 있었지만, 2010년 회전교차로 설계지침이 발표되면서 국내 시·군에서 회전교차로를 설치하고자 하는 움직임이 활발해지고 있다.

회전교차로는 교차로 중앙에 원형의 중앙교통섬을 놓고 차량이 우회하여 교차로를 통행하게 하는 방식의 교차로이다. 로터리도 이와 같은 개념이지만 통행의 우선권이 진입차량에 있다는 것이 회전교차로와 다르다.

회전교차로는 교통량이 적은 신호교차로의 신호대기로 인한 지체증가를 방지하는 효과와 도입지역의 통과교통량을 줄여주고 통행속도를 낮춰주는 교통정온화, 중앙교통섬 녹지조성으로 인한 미관적 기

능 등을 가지고 있다.

해외 선진국에서는 이미 소형 및 중형 회전교차로를 도입하여 도로용량 증대 및 교차로 내 통행속도 감소로 인한 사고 감소 효과를 보고 있는 만큼 우리나라에도 지금보다 더 많은 회전교차로의 도입이 필요하다.

이러한 회전교차로의 도입을 위해 현재 국내에 설치되어 있는 회전교차로의 자료를 수집하여 사고 특성을 분석할 수 있는 모형을 개발하고, 회전교차로 설치 시 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하는데 이 논문의 목적이 있다.

2. 기존 연구 고찰

2.1. 국내연구

한수산 등(2010)¹⁾은 5지 회전교차로가 진입교통량이 3,500 pcph 이하일 때 효과적이며, 6지 1차로는 3,600 pcph이하에서 효과적이라고 분석하였다.

박병호 등(2005)⁴⁾은 SIDRA를 이용하여 4지 1차로 회전교차로의 지체와 V/C비를 분석하였다. 그 결과, 진입교통량이 2,600대/시 이하일 경우 신호

[†] To whom correspondence should be addressed.
bhpark@chungbuk.ac.kr

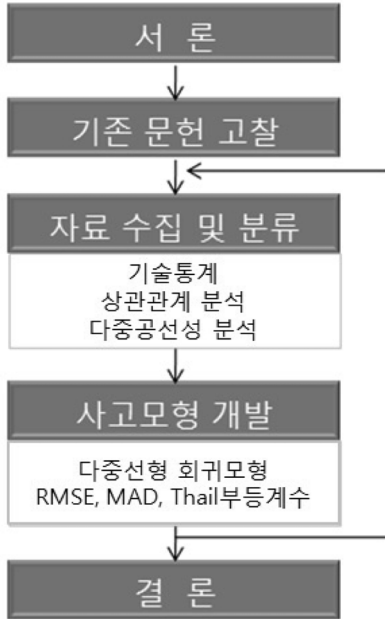


Fig. 1. Follow chart of study.

교차로와 비슷한 효율을 보이며, 1,800대/시 이하일 경우 효율이 다른 교차로에 비해 뛰어나다고 분석하고 있다. 또한 우회전 교통량이 많거나 직진 교통량이 적을 경우 회전교차로의 효율이 좋아진다고 분석하고 있다.

박병호 등(2005)⁶⁾은 로터리에서 발생한 사고를 법규위반별로 분류하여 가산자료 모형을 사용하여 사고모형을 개발하였다. 법규위반의 종류를 3가지로 묶어서 EPDO를 이용하여 사고모형을 개발하고 있다.

심관보 등(2007)⁷⁾은 지방부 비신호 Y형 교차로를 대상으로 VISSIM을 활용하여 회전교차로 설치 모의실험을 수행하였다. 실험 결과, 회전교차로로 변형하였을 경우 수용할 수 있는 교차로 진입교통량이 증가하고 안전성이 개선되는 것으로 분석되었다.

2.2. 국외연구

Isebrands(2009)¹¹⁾는 지방부 고속차로의 회전교차로 도입 전후를 사고빈도수, 사고비용, 사고심각도로 구분하여 단순비교법을 이용해 분석하였다. 그 결과, 회전교차로 도입 후 사고 빈도수, 사고비용이 감소하고 사고심각도가 낮아지는 것으로 분석하고 있다.

Stijn Daniels(2004)¹²⁾는 벨기에 지역의 90개 회전교차로를 대상으로 각 유형별 사고심각도를 분석하고 있다. 그 결과, 자전거 이용자, 고령자 등의 조건에서 사고심각도가 높아진다고 분석하였다.

2.3. 기존연구와의 차별성

이 연구는 국내 회전교차로 중 3지와 4지를 대상으로 사고모형을 개발하고 있다.

기존연구와의 차별성으로는 첫째, 원형교차로 관련 연구들은 신호교차로와의 운영효율 비교 혹은 용량 분석에 초점이 맞춰져 있었지만 이 연구에서는 원형교차로의 사고를 대상으로 한다.

둘째, 사고 자료의 분류에 있어서 원형교차로의 접근로 수를 기준으로 3지와 4지로 구분하여 원형교차로의 형식별 사고모형을 개발하는데 차별성이 있다.

Table 1. Review of literature

Division	Subject	Method	Independent Variables
Han, Su San (2010)	Comparatively analyze	Simulation	-
Park, Byung Ho (2011)	Accident model in rotary	Develop Model	No. of lane, crosswalk, traffic
Kim, Tae Young (2009)	Comparatively analyze	Simulation	-
Kim, Tae Young (2011)	Capacity and delay	Simulation	-
Shim, Kywan Bho (2007)	A study of warrant	Simulation	-
Isebrands (2009)	Analysis of accident data	before-after evaluation	-
Stijn Daniels (2010)	Analysis of accident severity	Develop Model	Age, Type of Vehicle, crash

3. 분석틀 설정

3.1. 자료의 수집 및 분석

자료의 수집을 위해 국내 회전교차로 중 53개소를 무작위 추출하여 교차로의 사고 자료를 비롯하여 교통량, 기하구조 및 구성요소 자료를 조사한다.

수집된 사고 자료는 2007년부터 2009년까지의 사고 자료이며 총 523건의 사고건수가 수집되었다. 이 중 3지 회전교차로에서 발생한 사고건수는 179건, 4지 회전교차로의 사고건수는 344건인 것으로 분류된다.

3.2. 변수의 설정

종속변수인 사고건수는 3년간의 합산자료를 사용하였다. 9개의 독립변수는 기하구조, 교통시설, 교통량으로 이루어져 있으며, 선행연구에서 사고에 영향이 있는 것으로 분석된 변수를 토대로 작성되었다. 각 변수들의 정의를 살펴보면 Table 2와 같다.

Table 2. Definition of variables

Division	Definition	Unit	Range
Y ₁	3년간 사고건수	건	0~19
X ₁	교통량	vph	1,131~106,761
X ₂	상충비	%	0~7.51
X ₃	중차량비	%	0~34.82
X ₄	신호유무	0:없음,1:있음	0~1
X ₅	중앙교통섬 직경	m	2.97~212.74
X ₆	회전차로 폭	m	2.38~12.75
X ₇	회전차로 수	개수	1~4
X ₈	횡단보도 수	개수/접근로 수	0~1.75
X ₉	감속시설 수	개수/접근로 수	0~1.33

3.3. 상관관계 분석

3.3.1. 3지 회전교차로

3지 회전교차로 19개소를 대상으로 조사된 변수들의 상관관계를 신뢰수준 95%에서 분석한 결과 교통량(X₁)과 신호유무(X₄), 중앙교통섬 직경(X₅), 회전차로 수(X₇)가 종속변수와 상관관계가 높은 것으로 분석된다.

3.3.2. 4지 회전교차로

4지 회전교차로의 상관관계를 신뢰수준 95%에서 분석한 결과 교통량(X₁)과 신호유무(X₄), 중앙교통섬 직경(X₅), 회전차로 수(X₇)가 종속변수와 상관성이 높은 것으로 분석된다.

3.3.3. 다중공선성 검정

다중공선성 문제란 회귀분석에서 설명변수 중에서도 상관성이 높은 것이 포함되어 있을 때 회귀계수의 추정 정밀도가 나빠지는 현상을 말한다.

이러한 경우 모형의 회귀계수를 신뢰할 수 없게 되어 잘못된 결론을 도출하게 되는 오류가 발생하게 되므로, 이 연구에서는 다중공선성의 문제를 확인하기 위해 SPSS를 이용하여 VIF(variation inflation factor)값을 분석하여 문제를 판단한다.

일반적으로 VIF값이 10 이상일 경우, 다중공선성이 있다고 판단한다. VIF값이 4~10의 값을 가질 경우 변수들 간의 상관성이 높아 추가적인 분석이 필요하다고 판단한다. 이 연구에서 사용한 변수들 간의 VIF값은 Table 5와 Table 6과 같다.

Table 3. Correlation analysis of three-legged roundabouts

Division	Y ₁	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Y ₁	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁	0.862**	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₂	0.019	-0.016	1	-	-	-	-	-	-	-
X ₃	0.134	0.257	-0.492*	1	-	-	-	-	-	-
X ₄	0.472*	0.560*	-0.344	0.292	1	-	-	-	-	-
X ₅	0.504*	0.520*	-0.319	0.311	0.523*	1	-	-	-	-
X ₆	0.126	0.219	-0.253	0.374	0.449	0.078	1	-	-	-
X ₇	0.469*	0.368	0.168	-0.162	0.136	0.239	-0.495*	1	-	-
X ₈	-0.303	-0.109	0.176	-0.414	-0.350	0.032	-0.116	-0.043	1	-
X ₉	0.045	-0.049	-0.066	-0.012	-0.191	0.139	-0.244	0.123	-0.168	1

* : 유의확률 0.05에서 유의함

** : 유의확률 0.01에서 유의함

Table 4. Correlation analysis of four-legged roundabouts

Division	Y ₁	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Y ₁	1									
X ₁	0.854**	1								
X ₂	0.002	0.126	1							
X ₃	-0.040	-0.148	0.033	1						
X ₄	0.515**	0.315	-0.096	-0.010	1					
X ₅	0.421*	0.639**	-0.189	-0.140	-0.020	1				
X ₆	-0.211	-0.073	0.697**	0.186	-0.277	-0.241	1			
X ₇	0.548**	0.603**	-0.293	-0.052	0.626**	0.446**	-0.365*	1		
X ₈	0.294	0.352*	0.035	-0.246	0.011	0.201	-0.028	0.205	1	
X ₉	0.089	0.029	-0.363*	-0.201	-0.030	0.163	-0.346*	0.090	0.005	1

* : 유의확률 0.05에서 유의함

** : 유의확률 0.01에서 유의함

Table 5. Multicollinearity test of three-legged roundabouts

Variable	VIF
교통량	2.215
상충비	1.702
중차량비	2.185
신호유무	3.528
중앙교통섬 직경	2.395
회전차로 폭	2.492
회전차로 수	2.094
횡단보도 수	1.983
감속시설 수	1.391

Table 6. Multicollinearity test of four-legged roundabouts

Variable	VIF
교통량	3.184
상충비	2.600
중차량비	1.168
신호유무	2.265
중앙교통섬 직경	2.406
회전차로 폭	2.336
회전차로 수	3.205
횡단보도 수	1.236
감속시설 수	1.239

3지 회전교차로와 4지 회전교차로의 VIF분석 결과 모든 변수에서 4미만의 값으로 분석되어 다중공선성에 문제는 없는 것으로 분석된다. 따라서 이 변수들은 모형의 분석에 모두 사용되는데 문제가 없는 것으로 판단된다.

4. 모형의 개발

4.1. 방법론의 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.

$$Y_i = a + b_1X_i^{(1)} + b_2X_i^{(2)} + \dots + \varepsilon_i \quad (1)$$

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

4.2. 3지 회전교차로

이 연구에서는 사고모형의 개발을 위해 SPSS 17.0을 사용하였고, 유의하지 않은 변수를 제거해나가는 방식인 후진제거방식을 적용하여 신뢰수준 95%수준에서 분석하였다.

3지 회전교차로의 사고모형 개발 결과 2개의 독립변수가 채택되었다. 채택된 변수는 교통량(X_1)과 횡단보도 수(X_8)이며, 교통량은 양의(+)의 관계, 그리고 횡단보도 수는 음의(-) 관계를 가지는 것으로 분석되었다.

분석된 모형의 R^2 값은 0.851, 유의확률은 0.000으로 통계적으로 의미 있는 모형이라고 판단된다.

Table 7. Model result of three-legged roundabouts

Division	R^2	Adjusted R^2	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	F	p-value
Value	0.867	0.851	5.788	1.690	55.445	0.000
Variable	Unstandardized Coefficients		Std. Coefficients	t	p-value	
	B	Std. Error				
X_1	0.001	1.178E-04	1.063	9.357	0.000	
X_8	-3.869	1.833	-0.240	-2.111	0.050	

4.3. 4지 회전교차로

4지 회전교차로를 대상으로 다중선형회귀모형을 이용하여 사고모형을 개발할 결과 3개의 독립변수가 채택되었다. 채택된 변수는 교통량(X_1)과 신호유무(X_4), 회전차로수(X_7)이며, 교통량과 신호유무 변수는 사고건수와 양의(+) 관계를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 그리고 회전차로수는 4지 원형교차로에서는 음의(-)관계를 가지고 있는 것으로 분석된다.

Table 8. Model result of four-legged roundabouts

Division	R^2	Adjusted R^2	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	F	p-value
Value	0.854	0.840	10.702	1.683	60.538	0.000
Variable	Unstandardized Coefficients		Std. Coefficients	t	p-value	
	B	Std. Error				
X_1	0.001	1.480.E-04	1.110	8.877	0.000	
X_4	33.315	7.386	0.370	4.510	0.000	
X_7	-7.963	2.212	-0.487	-3.600	0.001	

모형의 R²값은 0.840, 유의확률은 0.000으로 설명력이 높고 통계적으로 의미 있는 모형이 개발된 것으로 판단된다.

4.4. 모형의 검증

개발된 2개의 모형의 검증을 위해 RMSE, MAD, MPB, Theil 부등계수 등을 이용하였다.

3가지 방법 모두 0에 가까울수록 실측치와 예측치 간의 차이가 없는 것으로 판단하게 되는데, RMSE, MAD는 양수의 값을, Theil 부등계수는 0~1사이의 값을 가진다.

검정결과 실측치와 예측치의 Theil부등계수가 0.189, 0.198로 분석되고, RMSE는 5.475, 10.219, MAD는 4.129, 7.204로 분석된다. 검정 결과 개발된 2개의 모형은 적합성이 있는 것으로 판단된다.

Table 9. Fitness of developed models

	RSME	MAD	Theil
3-leg	5.475	4.129	0.189
4-leg	10.219	7.204	0.198

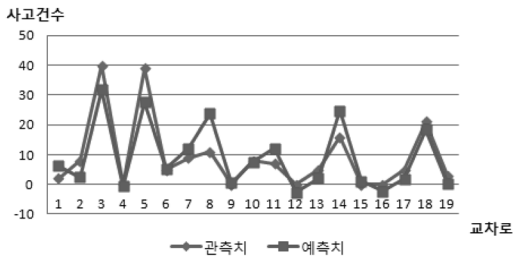


Fig. 2. Comparison of the real and predicted value(3-leg).

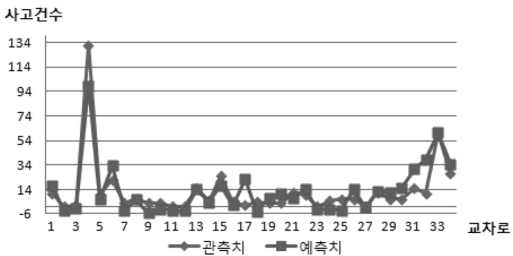


Fig. 3. Comparison of the real and predicted value(4-leg).

결론

이 연구는 국내 회전교차로 중 3지와 4지 회전교차로를 대상으로 다중선형회귀모형을 이용하여 사고모형을 개발하였다.

개발된 두 모형에서 채택된 변수 중 공통변수로

교통량(X₁)이며 특정변수로 신호유무(X₄)와 회전차로 수(X₇)와 횡단보도 수(X₈)가 채택되었다.

3지와 4지 회전교차로 사고모형의 R²값은 각각 0.851, 0.840으로 두 모형 모두 설명력이 높은 것으로 분석된다.

개발된 모형은 평균제곱근오차와 Theil 부등계수 등을 이용하여 검정과정을 수행하였다. 검정 결과, 두 모형 모두 실측치와 예측치의 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

이 연구에서 채택된 변수들을 해석하면, 우선 3지와 4지 회전교차로 모두 교통량이 많을수록 교통사고가 일어날 확률이 높은 것으로 분석된다. 또한 3지 회전교차로에서는 횡단보도의 설치 시 차량의 주의운전을 유발하여 사고가 발생할 위험이 다소 낮아지는 것으로 판단된다.

아울러 4지 회전교차로에서는 신호로 운영되는 로터리가 비신호로 운영되는 회전교차로보다 사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석된다. 또한 차로수가 많을수록 사고건수가 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 아직 회전교차로의 운영방식이 익숙지 않아 회전차량과 진입차량간의 양보운전이 이루어지지 않았을 경우, 회전차로수가 많은 수록 여유공간이 생겨 사고가 발생할 확률이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 결과를 토대로 회전교차로 내에서의 교통사고 감소를 위한 개선대책을 제시한다.

첫째, 3지와 4지 회전교차로 모두 교통량이 많을수록 사고발생확률이 높아지는 것으로 분석되어, 통과교통량이 많은 지역에 설치할 경우 신중한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 3지 회전교차로에서는 횡단보도의 설치 등 운전자의 안전운전을 유발할 수 있는 교통시설의 설치가 효과적인 것으로 판단된다.

셋째, 4지 회전교차로에서는 신호로 운영되고 있는 교차로를 비신호운영으로 변경하여 운영해야 한다.

마지막으로, 4지 회전교차로의 설치에서 회전차로수를 2차로 이상으로 계획하는 것이 사고 감소에 효과적인 것으로 판단된다.

이 연구의 향후과제로는 보행교통량, 회전차로 내 차량의 속도 등의 독립변수를 추가한 분석의 수행이 필요하다. 그리고 이 연구에서 사용한 교차로의 표본 수가 부족한 면이 있어 보다 많은 자료를 확보하여 분석의 설명력을 높여야 한다.

감사의 글: 본 연구는 한국안전학회에서 개최한 2011년 춘계학술대회에서 발표한 연구를 수정·보

완한 연구입니다.

참고문헌

- 1) 한수산, 김경환, 박병호, “다지 회전교차로의 효과분석”, 한국도로학회논문집, 제9권 제6호, pp. 83~93, 2010.
- 2) 김태영, 박상혁, 박병호, “다이아몬드 입체교차점에서의 회전교차로 도입에 따른 운영효과 분석”, 대한교통학회지, 제27권 제1호, pp. 53~62, 2009.
- 3) 김태영, “회전교차로의 통행특성에 근거한 용량 및 지체 모형개발”, 충북대학교 대학원 박사학위논문, 2011.
- 4) 박병호, 정용일, “SIDRA를 이용한 4지 1차로 현대식 회전교차로의 효과평가”, 한국지역개발학회, pp. 89~106, 2005.
- 5) 박병호, 김태영, 한상욱, 양정모, “회전교차로와 4지형교차로 효과에 대한 비교분석”, 한국ITS학회지 제8권 2, 2009.
- 6) 박병호, 김준용, “법규위반별 로터리의 사고모형 개발”, 충북대학교 건설기술연구소, 제30권 제1호, pp. 49~56, 2011.
- 7) 심관보, 임평남, “Y형 교차로의 회전교차로 변형에 따른 적용효과 분석 및 설치준거 연구”, 한국도로학회 논문집, 제9권 제4호, pp. 105~116, 2007.
- 8) 이용재, 김석근, “현대식 회전교차로의 용량보정 계수에 관한 연구”, 대한토목학회지, 제22권, 제2-D호, pp. 185~195, 2002.
- 9) Ahmed S, Al-Ghirbal, Ali S, Al-Ghamdi, “Predicting Severe Accidents Rate at Roundabouts Using Poisson Distribution”, TRB, 06-1684, 2006.
- 10) Essam Dabbour, Said Easa, “Proposed Geometric Features to Improve Safety of Modern Roundabouts”, TRB, 06~1699, 2006.
- 11) Isebrands, Hillary, “Crash Analysis of Roundabouts at High-speed Rural Intersections”, TRB, 09-1048, 2009.
- 12) Stijn Danielsa, Tom Brijs, Erik Nuyts, Geert Wets, “Externality of risk and crash severity at roundabouts”, Accident Analysis and Prevention 42, pp. 1966~1973, 2010.
- 13) Tove Hels. Ivanka Orozova-Bekkevold, “The Effect of Roundabout Design Features on Cyclist Accident Rate”, Accident Analysis and Prevention 39, pp. 300~307, 2007.