

사고예측모형을 활용한 회전교차로 안전성 향상에 관한 연구

- 전라북도를 중심으로 -

Safety Improvement Analysis of Roundabouts in Jeollabuk-do Province using Accident Prediction Model

김 칠 현 Kim, Chil Hyun
권 용 석 Kwon, Yong Seok
강 규 동 Kang, Kuy Dong

정회원 · 전주시 맑은물 사업본부 하수정비 계장 (E-mail : ch7@korea.kr)
정회원 · 전주대학교 토목환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : jisankys@jj.ac.kr)
전주대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail : krta1111@hanmail.net)

ABSTRACT

PURPOSES : There are many recently constructed roundabouts in Jeollabuk-do province. This study analyzed how roundabouts reduce the risk of accidents and improve safety in the province.

METHODS : This study analyzed safety improvement at roundabouts by using an accident prediction model that uses an Empirical Bayes method based on negative binomial distribution.

RESULTS : The results of our analysis model showed that the total number of accidents decreased from 130 to 51. Roundabouts also decreased casualties; the number of casualties decreased from 7 to 0 and the seriously wounded from 87 to 16. The effectiveness of accident reduction as analyzed by the accident prediction model with the Empirical Bayes method was 60%.

CONCLUSIONS : The construction of roundabouts can bring about a reduction in the number of accidents and casualties, and make intersections safer.

Keywords

Accident, accident analysis model, empirical Bayes method, roundabout, traffic safety

Corresponding Author : Kwon, Yong Suk, Professor
Department of Civil Environmental Engineering, Jeonju University, 303,
Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 55069, Korea
Tel : +82.63.220.2292 Fax : +82.63.220.2056
E-mail : jisankys@jj.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 27, 2016 Revised Jul, 18, 2016 Accepted Jul, 21, 2016

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

회전교차로 설계는 일반교차로 설계와 비교했을 때 상대적으로 적은 상충, 진·출입 시 낮은 통행속도 등으로 인해 사고의 위험성과 심각도를 낮출 수 있는 설계 방법이다. 회전교차로는 교통운영, 안전성, 운전자 이해도 측면에서 효과성이 검증되었으며, 신호에 의한 지체

가 없고 유지관리비용이 일반교차로에 비해 저렴하고 운영유지비의 절감효과가 커 직·간접적인 사회적 비용이 감소한다는 장점이 있다(국토해양부, 2014).

이러한 장점을 인정받아 외국의 경우 1970년대를 기점으로 회전교차로에 대한 연구가 활발히 진행됐으며, 연구를 바탕으로 많은 회전교차로들이 설치되고 있다. 우리나라에서는 2009년 국가경쟁력 강화위원회를 중심

으로 교통 운영체계 선진화를 위한 방안으로 중소도시의 일반교차로를 회전교차로 전환하고 있다.

최근 전라북도에서는 110억 원을 투자하여 46개의 회전교차로를 건설하여 운영하고 있으며, 2016년까지 60억 원을 추가로 투자하여 22개소의 회전교차로의 추가적인 설치를 계획하고 있다. 전라북도에 설치된 회전교차로 사업 대상지를 중심으로 분석했을 때, 교통사고 발생률은 45%나 감소했으나 차대사람 사고의 감소폭은 미미하여 실제 사고감소 효과를 판단하기에는 무리가 있다. 따라서 단순한 사고발생률 감소 분석이 아닌 안전성 분석을 통한 회전교차로의 안전성 증진 효과의 분석이 필요하다고 판단된다.

회전교차로의 안전성에 관한 국외의 연구는 음이항 모형이나 푸아송 모형을 이용한 회귀분석을 통해 회전교차로의 기하구조와 사고와의 상관관계를 밝히는 연구를 중심으로 이루어지고 있다. 이에 반해 국내의 선행연구는 주로 자동차의 상충 감소와 사고 건수 감소를 중심으로 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 회전교차로의 단순한 상충 감소나 사고건수 감소분석 뿐만 아니라 사고예측 모형을 구축하여 공학적이고 체계적인 방법으로 회전교차로 설치로 인한 사고 감소의 효과를 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 전라북도에 설치된 회전교차로 중에서 사고 자료의 수집이 가능한 30개의 회전교차로의 안전성을 분석했으며, 설치의 효과를 분석하기 위해 설치년도를 제외한 전·후 1년 혹은 2년 동안의 사고 자료를 활용했다.

사고 자료는 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS: Traffic Accident Analysis System)을 통해 수집하였다.

연구의 흐름은 회전교차로의 안전성에 관한 내용과 사고의 분석에 관한 내용을 위주로 기존 문헌 고찰을 시행하였으며, 이후 분석 관련 자료를 수집하고 분석을 시행하였다.

분석에 사용한 모형은 경험적 베이스 방법(Empirical Bayes Method)이다. 분석을 위한 참조 그룹은 교통류 특성과 기하구조가 비슷한 각 회전교차로에 인접한 2개의 일반교차로를 선택하여 총 60개의 일반교차로를 선정하고 선정된 참조그룹을 대상으로 회전교차로의 안전성능 함수(Safety Performance Function)를 도출하여 회전교차로의 설치효과를 분석하였다. 마지막으로 연구 결과를 요약 제시 후, 연구의 한계점을 제시하고 향후 연구 과제를 도출했다.

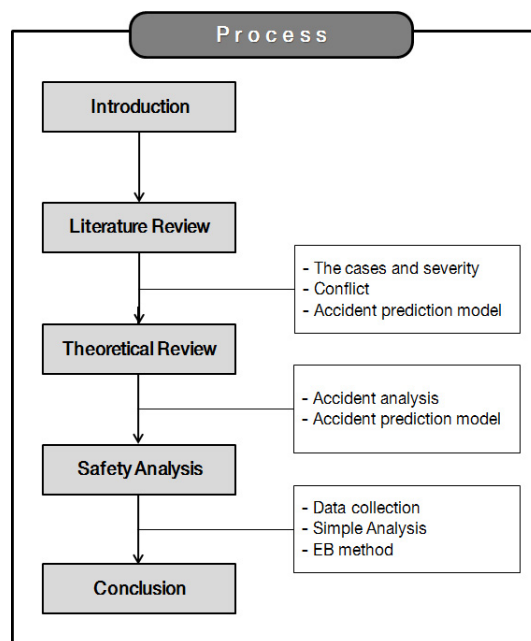


Fig. 1 Flow Chart of This Study

2. 기존 문헌 고찰

회전교차로의 안전성에 관한 연구는 회전교차로 설치로 인한 사고의 감소, 심각도의 감소, 상충의 감소 등의 공학적 분석을 바탕으로 시행된다. 이를 바탕으로 접근한 연구는 다음과 같다.

2.1. 사고 및 심각도 분석

Park and Kim(2005)은 회전교차로 내에서 발생한 사고를 법규위반 항목을 기준으로 분류하여 사고 모형을 개발하였다. 분류한 사고모형은 사고 심각도 분석 방법인 사고 심각도법(Equivalent Property Damage Only)을 기반으로 분석하였다.

Isebrands(2006)는 회전교차로가 설치된 지방부 고속차로를 대상으로 사전·사후 분석기법을 통해 사고의 빈도수, 비율, 심각도 등을 분석하였다. 분석 결과, 회전교차로의 설치는 사고 발생과 심각도를 감소시키는 것으로 나타났다.

Daniels et al.(2010)은 벨기에에 설치된 회전교차로를 대상으로 사고의 심각도를 분석하였다. 분석 결과, 회전교차로의 고령자, 자전거 운전자들이 다른 수단 이용자에 비해 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다.

2.2. 상충 감소

Sim and Lim(2007)은 지방부 3지교차로를 회전교

차로로 개선하여 효과를 분석하는 연구를 하였다. 기존 3지교차로를 개선하여 회전교차로를 설치하면, 교차로 내 상충이 감소하는 효과가 있다고 밝혔다.

Kim et al.(2009)은 교차로 내 상충 감소와 통행속도의 감소의 측면으로 회전교차로의 안전성 증가효과를 분석하였다. 회전교차로의 경우 분류 혹은 합류 시의 상충은 존재하지만, 교차로 인한 상충이 제거되기 때문에 사고의 위험이 감소한다. 또한 회전교차로에서는 통행속도가 40km/h 이하로 제한되어 사고의 심각도가 감소한다고 밝혔다.

2.3. 사고예측모형을 이용한 분석

Persaud et al.(2001)에 따르면 23개의 교차로를 도시부와 지방부로 나누어 경험적 베이스 방법을 적용해 분석한 결과 분석 대상지를 회전교차로로 전환 시 전체 사고는 40%, 인명사고는 80% 감소한다고 분석하였다. 더불어 회전교차로 사고는 일평균교통량과 관계가 있음을 분석하였다.

Yuan and Ivan(2001)은 2차로 지방부 도로에서 교차로 접근부 선형 및 좌회전차로를 복합적으로 설치할 경우 유의한 사고감소 효과가 나타나지 않는다는 사실을 분석하였다.

Park and Park(2012)는 교차로를 통과하는 교통량과 교차로 기하구조를 독립변수로 설정하여 ZAM을 이용한 사고모형을 3지와 4지 회전교차로에 적용하여 분석하였다.

Chen et al.(2013)은 영과잉 푸아송 분포(Zero - inflated Poisson Model)를 이용해 이탈리아와 미국에서 관측된 자료를 바탕으로 회전교차로에서의 차량속도와 사고와의 관계를 규명하였다. 분석 결과 차로의 너비가 넓고 회전교차로의 중심부 직경이 클수록 운전자의 기대 주행속도가 높아져 사고의 발생 위험이 높아지는 것으로 나타났다.

2.4. 계층분석법을 이용한 분석

Nam Gung et al.(2014)은 계층 분석 방법(Analytic Hierarchy Process)을 통해 분석한 결과 회전교차로의 안정성 확보는 운전자의 운전습관과 교차로의 회전반경이 중요 요소라고 나타났다.

2.5. 소결

회전교차로의 안전성과 관련된 국외의 연구는 일반

적으로 푸아송이나 음이항분포를 이용한 회귀분석 중심으로 이루어지고 있다. 하지만 국내에서는 회전 교차로와 관련된 연구는 상충 감소나 단순사고 분석의 연구 위주로 진행되어 국외와 비교했을 때 연구의 방향성이 다르다.

따라서 본 연구는 기존의 국내연구에서 중심으로 다루고 있는 회전교차로의 단순사고 분석 뿐만 아니라 사고예측모형을 적용해 회전교차로 설치의 효과를 안전성 향상 측면에서 분석하고자 하였다.

3. 이론적 검토

3.1. 사고 분석

사고의 분석 방법은 도로시설의 안전성 효과평가를 현황적 분석과 사전·사후 비교 방법으로 구분할 수 있다(Park, 2006).

3.1.1. 현황적 분석

현황적 분석에는 여러 모형이 존재하는데 교통사고의 분석 모형은 주로 푸아송 분포나 음이항분포를 이용한 로그선형모형을 이용한다. Shankar(1995)는 전복사고를 제외하면 음이항분포를 이용한 회귀모형이 푸아송분포를 이용한 회귀모형보다 높은 설명도를 가진다는 사실을 제시했다. 또한 사고 자료가 과분산일 경우에는 음이항분포를 이용한 모형이 설명도가 높고 과분산이 아닐 경우에는 푸아송분포를 이용한 모형의 설명력이 더 높다.

Miaou(2003)는 완전 베이스 접근방법(Complete Bayesian Method)을 이용하여 사고예측 모형을 구축하면 사고의 불확실성을 반영할 수 있는 모형이 구축 가능하며, 모형의 오차율은 3%로 매우 높은 정확도를 지니는 모형이 구축되는 것으로 분석하였다.

3.1.2. 사전·사후 분석

(1) 단순비교 평가

단순비교를 통한 사전·사후 평가는 어떠한 안전 대책 적용 전·후 사고 발생 건수를 비교하는 방법이다. 단순한 사고건수 비교를 통해 간편하게 분석이 가능하나 외적요인을 고려하기 어려워 편이가 발생할 가능성이 높다.

(2) 비교그룹 평가

비교그룹 평가는 분석 대상지역과 비교그룹의 분석을 통해 안전대책의 효과를 추정하는 방법이다. 하지만 비

교그룹 평가 또한 외적 요인 고려가 어렵고 비교그룹 선정의 어려움이 모형의 단점으로 지적된다.

(3) 경험적 베イズ 방법

경험적 베イズ 방법은 참조그룹을 통해 모형을 구축하여 사업 미시행 시 기대 교통사고를 예측하여 시행으로 인한 관측 교통사고와 비교하는 방법이다. 도로의 특성을 반영가능하고 평균으로의 회귀 현상을 고려하여 편이를 제거할 수 있는 장점이 있다. 경험적 베イズ 방법의 수식은 다음과 같다.

$$E(k|K) = wE(k) + (1-w)K \quad (1)$$

여기서, $E(k|K)$: k 건의 이력사고의 기대사고건수 k 의 추정치

$E(k)$: 참조그룹의 사고예측모형에 의한 기대치 k

K : 개선사업 시행 시 대상노선의 실측 사고건수

w : 가중치($0 < w < 1$)

가중치 w 는 참조그룹에서 k 의 평균과 분산에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$w = \frac{1}{1 + \frac{VAR(k)}{E(k)}} \quad (2)$$

개선효과는 개선 후 실측 사고건수(K)와 기대사고건수($E(k|K)$) 사이의 비로 정의하며, 이 값을 안전효과지수($\hat{\theta}_i$)라고 한다.

사전·사후 평가 연구 설계에서 분석기간과 교통량이 대략적으로 같아야 하는데, 이러한 조건이 맞지 않을 경우 보정을 실시하여야 하며, 이를 기대사고건수 $E(k|K)$ 에 적용해 계산한다.

$$\begin{aligned} Adj_t &= \frac{f(AADT_A)}{f(AADT_B)}, \\ Adj_d &= \frac{YEARS_A}{YEARS_B} \quad (3) \\ \hat{\pi}_i &= E(k|K)_i Adj_t Adj_d \end{aligned}$$

3.2. 일반화 선형모형(Generalized Linear Model)

본 분석에서는 사고예측모형으로 일반화 선형모형

(Generalized Linear Model)을 적용했다. 일반화 선형 모형의 구축을 위해서는 세 가지 구성성분을 기반으로 진행된다(Jung and Choi, 2012). 세 가지 구성성분은 각각 무작위 성분(Random Component), 체계적 성분(Systematic Component), 마지막으로 연결 함수(Link Function)이며, 각각의 정의는 다음과 같다.

3.2.1. 무작위 성분 (Random Component)

무작위 성분이란 반응변수(Y)의 확률분포를 정의하는 것이다. 일반적으로 교통사고를 분석할 때는 통계적으로 이산적 해석을 위해 푸아송분포(Poisson Distribution)를 적용한다. 하지만 푸아송분포는 평균과 분산이 같다는 점에서 실제상황에서는 매우 이례적이며(Park, 2006), 평균과 분산이 같은 사고는 현실에서 전복사고만이 해당되기 때문에 실제상황을 더욱 정확히 반영하기 위해서는 교통사고 발생은 음이항분포(Negative Binomial Distribution)를 따르는 것이 더 정확한 사고 예측 모형을 구축할 수 있다.

3.2.2. 체계적 성분 (Systematic Component)

체계적 성분이란 설명변수(X)와 수식의 형태를 정의하는 것이다. 설명변수를 수식의 형태로 적용할 때 영향력의 효과를 보정하기 위해서 설명변수의 형태를 변환시켜 적용하기도 한다.

3.2.3. 연결 함수 (Link Function)

연결 함수란 무작위 성분과 체계적 성분 사이의 연결을 정의하는 요소로 구성된다. 연결함수의 형태는 로그, 지수, 선형 등이 있다.

4. 안전성 분석

4.1. 자료 수집

본 연구에서는 Table 1과 같이 전라북도에 설치된 회전교차로 46개소에 대한 자료를 수집하였다.

Table 1. List of Roundabout in Jeon-Buk

Site	No. of Intersection
JeonJu	7
GunSan	8
IkSan	4
JeongEup	2

NamWon	2
GimJe	5
WanJu	1
JinAn	1
MuJu	1
JangSu	2
ImSil	1
SunChang	2
GoChang	5
BuAn	5

4.2. 회전교차로 사전·사후 교통사고 특성

회전교차로의 설치 전·후 2년간 발생한 교통사고의 특성 차이를 규명하기 위해 발생한 사고를 비교분석하여 회전교차로 설치 후의 사고의 동향의 변화를 살펴보고자 한다. 사고 자료의 발생건수와 부상과 발생시간대, 사고의 유형 등을 구분하여 비교 분석을 실시하였다.

회전교차로 설치의 효과를 분석하기 위해 설치년도가 오래되어 사고 자료의 취득이 어렵거나 2012년이나 2013년에 설치되어 설치 후 2년 동안의 자료 수집이 어려운 자료들은 부득이하게 제외하고 분석을 실시하였다.

4.2.1. 발생 건수 및 부상정도

회전교차로를 설치한 후 관측된 교통사고의 발생 건수는 Table 2와 같이 130건에서 51건으로 감소했다. 심각도 또한 회전교차로 설치 후 사망자 및 부상자의 비율이 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2. Current State of Accident in Target Area

Classification	Before	After	Decreasing rate(%)
No. of accident	130	51	60.8
Fatalities (%)	7 (2.7)	0 (0.0)	100.0
Serious injuries (%)	87 (33.7)	16 (25.0)	81.6
Slight injuries (%)	154 (59.7)	44 (68.8)	71.4
Reported injuries (%)	10 (3.9)	4 (6.3)	60.0

4.2.2. 시간대별 교통사고

일반적으로 교통사고는 교통량에 비례해서 노출도가 증가하기 때문에 오전 침두시간이나 오후 침두시간에

사고가 집중해서 발생한다. 회전교차로를 설치하기 전 사고를 살펴보면 오후 침두시간인 16~18시와 18~20시 구간에서 각각 19건, 14건으로 일반적인 경향과 비슷하게 사고가 발생한다. 하지만 회전교차로 설치 후 8~24시까지 대체로 사고의 분포가 비슷하게 발생하여 일반적인 시간대별 사고분포와는 차이가 있는 것으로 나타났다.

4.2.3. 사고 유형별 교통사고

사고 유형별로 교통사고를 살펴보면 회전교차로 설치 이후에는 차대차 사고가 110건에서 38건으로 72건이나 감소효과를 보이고 있으나 차대사람 사고는 11건에서 10건으로 1건 감소하여 사고감소의 효과가 미미한 것으로 분석되었다.

Table 3. Change of Number of Accident by Accident Type

Classification	Before	After	Total
Vehicle - Vehicle	110 (84.6)	38 (74.5)	148 (81.8)
Vehicle Only	9 (6.9)	3 (5.9)	12 (6.6)
Vehicle - Person	11 (8.5)	10 (19.6)	21 (11.6)

4.3. 사고예측모형

4.3.1. 자료의 감축

사고 자료는 사고예측모형과 안전성 평가를 위해 회전교차로 설치 전·후 각 2년씩(설치년도 제외) 교차로별 총 4년의 교통사고 자료 수집을 하였다. 하지만 전라북도에서 설치된 전체 회전교차로 46개소 중 설치년도가 오래되어 자료를 수집하기 어려운 회전교차로와 2012년, 2013년에 설치된 21개의 교차로는 2014년도의 사고 자료를 수집할 수 없어서 부득이하게 사고 자료의 수집이 제한되었다.

자료의 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 설치년도가 오래되어 자료를 구할 수 없는 경우는 제외하고 최소한 설치 전·후 1년의 사고 자료를 수집할 수 있는 교차로를 대상으로 하여 분석을 수행했다.

자료의 한계로 인해 분석에 적용하는 자료 중에서 설치 전·후 2년의 사고 자료와 전·후 1년 사고 자료를 통해 분석을 한다면 분석의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 오차의 발생여부를 판단하기 위해 설치 전·후 2년의 자료와 전·후 1년의 자료가 통계적으로 동질성을 갖는지를 검토하기 위해 t-검증을 수

행하였다.

통계프로그램인 SPSS를 활용하여 t-검증을 수행하였으며 두 그룹의 동질성을 기준으로 분석하였다. 두 그룹을 레벤 등분산 검정(Levene Homogeneity of Variance Test)으로 검정한 결과, Table 4와 같이 두 그룹의 등분산은 가정되지 않은 것으로 나타났다. t값은 -1.976, 유의확률 (p)은 0.057로 두 그룹 간에 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다(1: 차대사람, 0: 차량단독, -1: 차대차).

Table 4. Summary of t-test

Classification	Levene		Independent sample t-test			
	F	p-값	t-val	d.f	p-val	Ave.
Assumption equal variance	15.961	0.000	-1.885	170.00	0.061	-0.187
Not assumption equal variance	-	-	-1.976	167.54	0.057	-0.187

두 사고 자료의 차이가 없으므로 본 연구에서는 회전교차로 46개중 회전교차로 설치 전·후 1년과 전·후 2년 자료가 있는 회전교차로 30개를 대상 지점으로 선정하여 안전성 분석을 하였다. 본 연구에서 최종적으로 분석한 회전교차로 지점은 Table 5와 같다.

4.3.2. 참조그룹 선정

경험적 베이즈 분석(Empirical Bayes Method)을 수행하기 위해서는 분석 대상인 회전 교차로의 사후시점 미설치 시 교통사고 예측 추정을 위하여 사고예측모형을 구축하기 위해 참조그룹이 필요하다. 참조그룹을 통해 안전성능함수(Safe performance function)를 도출하고 이를 통해 모형을 구축할 수 있다.

참조그룹의 적정 범위 선정에 있어서 Moon(2012)은 분석노선과 비교해 2~3배 수준으로 선택하는 것이 적절하다고 밝혔으며, Shen(2003)에 의하면 분석기간은 특정 안전대책 적용 전·후 각각 2~3년이 적절하며 설치기간이나 공사기간은 분석기간에서 제외해야 한다고 밝혔다.

본 연구에서는 참조그룹을 분석그룹의 2배 수준인 60개 일반교차로를 선정하고, 앞선 자료의 감축의 내용과 같이 전·후 분석기간을 1년 혹은 2년으로 설정했다. 참조그룹은 분석대상과 유사한 특성을 가지는 지점을 선택해야 한다. 본 연구에서는 교통류 특성과 지역적 특성이 유사한 지점을 선정하기 위하여 해당 분석 교차로 별로 인근 2개의 교차로를 참조그룹으로 선정하였다. 선정된 참조그룹에 대한 기초통계는 Table 6과 같다.

Table 6. Characteristic of Compared Group

Classification	Ave.	Deviation	Minimum	Maximum	
Before	1year	1.2	1.5	0.0	5.0
	2year	1.2	1.6	0.0	6.0
	1y+2y	2.3	2.6	0.0	8.0
After	1year	0.4	0.6	0.0	2.0
	2year	0.5	1.2	0.0	5.0
	1y+2y	0.9	1.6	0.0	6.0
Traffic	5,764.1	3,909.5	464.3	17,200.0	
Ped. traffic	909.1	691.6	62.2	3,314.1	
Proportion of bus	4.7	3.1	0.0	9.9	
Proportion of truck	11.2	5.7	0.4	19.9	
Intersection size	352.2	207.3	161.6	693.6	
No. of entry or exit lane	13.4	6.4	6.0	24.0	

Table 5. List of Roundabout Used in Analysis

Site	Name of intersection	Period	Site	Name of intersection	Period	Site	Name of intersection	Period
JeonJu	Jesije 3 legged	±2	GimJe	Seoam 4 legged	±2	IkSan	Hwangdeung 3 lgged	±2
	KT 4 legged	±2		Gimje IC	±1		Tapgoji 4 legged	±2
	Inhu 6 legged	±2		Cityhall 5 legged	±2		Dasong 4 leeged	±2
	Wondang	±1		Gusan 4 legged	±2	WanJu	Bongdong roundabout	±1
GunSan	Jeil Highschool 3 legged	±2	JangSu	Namdong police office	±2	MuJu	Daecha roundabout	±2
	Namsang 4 legged	±2		Janggye 3 legged	±2		Bongdeok	±2
	Seokhwa 3 legged	±1	SunChang	Gyosung	±2	BuAn	Yeongok 3 legged	±2
	Guochon 4 legged	±1	GoChamg	Goindol	±2		Jindeung	±1
Oksan myeon office	±1	Jaryong		±1	Yeongni	±1		
NamWon	ex-Sta. Namwon	±1		Jeha	±1		Sportspark 4 legged	±1

4.3.3. 모형의 구축

(1) 무작위 성분 (Random Component)

본 분석에서 무작위 성분은 교통사고 발생건수에 해당한다. 음이항 분포의 모형식으로 분석할 경우 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\lambda_i = \exp(\beta x_i + \epsilon_i) \quad (4)$$

여기서, λ_i : 기대사고건수

β : 추정모수

x_i : 설명변수

ϵ_i : 오차항

(2) 체계적 성분 (Systematic Component)

본 연구에서 체계적 성분은 사고예측모형 구축에 필요한 설명변수이며, 모형 구축에 적용가능한 설명변수들은 Table 7과 같이 정리하였다. 일반화선형모형을 활용하기 위해서 수식은 선형식을 따르는 것으로 정의하였으며, 모형의 설명력을 위해서 일부 변수는 변수의 변환을 통해 적용하였다. 본 연구에서 분석하는 회전교차로는 비교적 비슷한 시기에 같은 기준으로 지어졌으므로, 기하구조적 특성이나 지역 특성이 동일하다고 판단되어 교통류 특성들을 독립변수로 하여 분석을 진행하였다.

선정된 변수들을 바탕으로 잔차분석과 공선성분석을 통해 변수들의 적합성 여부를 분석하였다. 분석 결과 Durbin-Watson 통계량은 2.334로 잔차의 독립성이 확보되었으며 다중공선성은 존재하지 않는 것으로 나타나 선정된 변수들을 그대로 사용하였다.

Table 7. Variable Setting in Accident Analysis Model

Classification	Variable	Symbol	Symbol in model
Dependent variable	Ave. No. of accident	Y	$\ln(Y)$
Independent variable	Ave. daily traffic	X_1	$1/\ln(X_1)$
	Ped. daily traffic	X_2	$1/\ln(X_2)$
	Proportion of bus	X_3	X_3
	Proportion of truck	X_4	X_4
	Intersection size	X_5	$1/X_5$
	No. of entry or exit lane	X_6	$1/X_6$

(3) 연결 함수 (Link Function)

본 연구는 종속변수로 교통사고를 적용하고 있기 때

문에 음(-)의 자료 값이 존재하지 않고 사고발생의 분포는 음이항 분포를 따른다고 정의했다. 따라서 본 연구에서는 Eq. (5)와 같이 자연로그연결을 적용하여 분석을 수행하였다.

$$\ln(Y) = \beta_0 + \beta_1/\ln(X_1) + \beta_2/\ln(X_2) + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5/X_5 + \beta_6/X_6 \quad (5)$$

분석에 앞서 전·후 1년의 사고 자료를 사용하여 분석한 경우를 Scenario 1, 전·후 2년의 사고 자료를 사용하여 분석한 경우를 Scenario 2라고 정의하였다.

앞서 모형의 구축단계에서 6개의 정의된 독립변수 중 Scenario 1과 Scenario 2에서 모두 평균 일교통량, 버스비율, 트럭비율이 유의한 수준에서 분석되는 것으로 나타났다. 나머지 보행자 일교통량, 교차로 크기, 진·출입 차로 수는 유의수준 5% 내에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

Table 8. Result of Analysis Model (Scenario 1)

Symbol in model	Variable	Expected value(β_i)	Standard error	p
β_0	Constant	4.566	3.948	0.001
$1/\ln(X_1)$	Ave. daily traffic	-51.630	89.756	0.046
$1/\ln(X_2)$	Ped. daily traffic	19.405	49.175	0.212
X_3	Proportion of bus	2.016	8.195	0.014
X_4	Proportion of truck	0.196	4.463	0.016
$1/X_5$	Intersection size	-17.340	235.406	0.461
$1/X_6$	No. of entry or exit lane	.326	11.486	0.346

Table 9. Result of Analysis Model (Scenario 2)

Symbol in model	Variable	Expected value(β_i)	Standard error	p
β_0	Constant	8.131	6.539	0.000
$1/\ln(X_1)$	Ave. Daily traffic	-92.832	151.356	0.034
$1/\ln(X_2)$	Ped. Daily traffic	33.618	81.961	0.195
X_3	Proportion of bus	3.960	13.535	0.003
X_4	Proportion of truck	1.752	6.985	0.012
$1/X_5$	Intersection size	-52.900	401.264	0.187
$1/X_6$	No. of entry or exit lane	2.431	19.237	0.206

유의한 변수로 선정된 일평균교통량과 버스비율, 트럭의 비율을 통해 모형을 구축하면 다음 식과 같다.

$$\ln(Y)_{scenario1} = 4.566 - 51.630 \frac{1}{\ln(X_1)} + 2.016 X_3 + 0.196 X_4 \quad (6)$$

$$\ln(Y)_{scenario2} = 8.131 - 92.832 \frac{1}{\ln(X_1)} + 3.960 X_3 + 1.752 X_4$$

여기서, Y : 회전교차로에서의 사고건수

X_1 : 일평균 교통량

X_3 : 버스비율

X_4 : 트럭비율

구축한 모형 결과의 적합도를 분석하기 위해서는 편차와 피어슨-카이 제곱(Pearson Chi-Square)과 로그우도함수(Log Likelihood) 등을 이용하여 모형의 적합도를 분석한다.

Cameron and Trivedi(1998)에 의하면 편차와 피어슨-카이 제곱 값은 자료의 수(n)에 근사할 때, 즉 두 통계량을 자유도로 나누었을 때의 값이 1에 근사할 때 모형의 설명도가 높은 것으로 나타난다. Table 10과 Table 11은 각 Scenario별 설명도를 나타내는데 편차와 피어슨-카이 제곱 값 모두 0.840 이상을 나타내며 모형의 설명도가 높은 것으로 나타났다.

또한 로그우도함수는 음의 무한대에서 0까지의 범위를 가지는데 값이 0에 가까울수록 모형이 데이터를 모두 설명하는 포화모형인 것을 의미한다. 로그우도함수 또한 -14.295와 -18.290으로 비교적 0에 근사해 사고 예측 모형의 설명도는 높다고 할 수 있다.

Table 10. Goodness of Fit Test of Analysis Model (Scenario 1)

Classification	d.f	Value	Val/d.f
Variance	53	44.524	0.840
Pearson-Chi Square	53	59.548	0.935
Log Likelyhood	-	-14.295	-

Table 11. Goodness of Fit Test of Analysis Model (Scenario 2)

Classification	d.f	Value	Val/d.f
Variance	53	45.324	0.855
Pearson-Chi Square	53	45.365	0.856
Log Likelyhood	-	-18.290	-

4.3.4. 회전교차로 안전성 평가 결과

회전교차로의 안전성 평가를 위해 참조 그룹을 이용하여 개발한 사고예측모형을 통해 참조그룹의 기대사고건수($E[K]$)를 산출하였다. 이후 과분산계수(ϕ)와 평균사고건수를 계산한 가중치(w)를 통해 기대사고건수($E[K|K]$)를 계산하였다. 또한 교통량의 변동을 보정하여 교차로 설치 이후에 기대교통사고건수($\hat{\pi}$)를 추정하였다.

Scenario 1과 Scenario 2 모두 분석한 결과 각각 회전교차로 설치로 인한 사고의 감소효과는 37%와 36.4%로 나타나 사고의 감소효과가 존재하는 것으로 나타났다. 하지만 각각의 Scenario에서 교차로 안전성 향상효과를 개별적으로 살펴보면, Scenario 1에서는 고창군 제하교차로에서는 0.029건의 사고 증가를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 나머지 교차로에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났다.

하지만 1년 동안 사고의 표본수가 작아 사고가 발생하지 않는 교차로가 존재한다, 사고가 존재하지 않는 교차로의 경우 사고의 증감률이 -100%로 나타나 전체적인 사고의 감소 효과가 과잉추산되었을 가능성을 내포하고 있다.

Table 12. Result of Roundabout Safety Analysis (Scenario 1)

Site	List of intersection	K	$\hat{\pi}$	Fluctuation
JeonJu	Jesije 3 legged	0.0	0.336	-100
	KT 4 legged	0.0	0.279	-100
	Inhu 6 legged	2.0	2.091	-4
	Wondang	0.0	0.282	-100
GunSan	Jeil Highschhol	1.0	1.139	-12
	Namsang 4 legged	0.0	0.265	-100
	Seokhwa 3 legged	0.0	0.253	-100
	Guochon 4 legged	0.0	0.279	-100
IkSan	Oksanmyeon Office	0.0	0.256	-100
	Hwangdeung 3 lgged	0.0	0.226	-100
	Tapgoji 4 legged	0.0	0.277	-100
	Dasong 4 leeged	1.0	1.045	-4
GimJe	ex-Sta. Namwon	0.0	0.279	-100
	Cityhall 5 legged	1.0	1.101	-9
	Gusan 4 legged	0.0	0.273	-100
WanJu	Seoam 4 legged	1.0	1.178	-15
	Bongdong roundabout	0.0	0.271	-100
	Gimje IC	1.0	1.133	-12
MuJu	Daecha roundabout	0.0	0.250	-100
	Bongduk	0.0	0.263	-100
JangSu	Namdong police office	0.0	0.268	-100
	Janggye 3 legged	0.0	0.226	-100
SunChang	Gyosung	0.0	0.262	-100
	Goindol	1.0	1.139	-12
GoChang	Jaryong	1.0	1.065	-6
	Jeha	2.0	1.971	1
BuAn	Yeongok 3 legged	0.0	0.269	-100
	Jindeung	0.0	0.264	-100
	Yeongni	0.0	0.260	-100
	Sportspark 4 legged	0.0	0.266	-100
Total		11.0	17.5	-37.0

Scenario 2의 경우 다른 교차로에서는 사고가 감소하는 것으로 나타났지만 전주시 인후6거리 교차로에서는 사고가 0.177건 증가해 약 6%의 사고 증가효과가 있는 것으로 분석되었다.

Table 13. Result of Roundabout Safety Analysis (Scenario 2)

Site	List of intersection	K	$\hat{\pi}$	Fluctuation
JeonJu	Jesije 3 legged	0.0	0.287	-100
	KT 4 legged	0.0	0.272	-100
	Inhu 6 legged	3.0	2.823	6
	Wondang	0.0	0.256	-100
GunSan	Jeil Highschhol	2.0	2.157	-7
	Namsang 4 legged	0.0	0.295	-100
	Seokhwa 3 legged	0.0	0.303	-100
	Guochon 4 legged	0.0	0.272	-100
	Oksanmyeon Office	0.0	0.304	-100
IkSan	Hwangdeung 3 lgged	0.0	0.313	-100
	Tapgoji 4 legged	0.0	0.272	-100
	Dasong 4 leegeed	0.5	0.804	-38
NamWon	ex-Sta. Namwon	0.0	0.267	-100
GimJe	Cityhall 5 legged	3.0	3.206	-6
	Gusan 4 legged	0.5	0.753	-34
	Seoam 4 legged	1.0	1.147	-13
	Gimje IC	0.5	0.770	-35
WanJu	Bongdong roundabout	0.0	0.286	-100
MuJu	Daecha roundabout	0.0	0.305	-100
JangSu	Namdong police office	0.5	0.763	-34
	Janggye 3 legged	0.0	0.313	-100
SunChang	Gyosung	0.0	0.297	-100
GoChang	Goindol	0.5	0.758	-34
	Jaryong	0.5	0.795	-37
	Jeha	1.0	1.267	-21
BuAn	Bongduk	0.5	0.776	-36
	Yeongok 3 legged	0.0	0.291	-100
	Jindeung	0.0	0.297	-100
	Yeongni	0.0	0.301	-100
	Sportspark 4 legged	0.0	0.294	-100
Total		13.5	21.2	-36.4

5. 결론

최근 회전교차로의 장점이 널리 인식되면서 연구가 활발히 진행됐으며, 그에 따라 회전교차로의 설치도 증가하고 있는 추세다. 전라북도 역시 이러한 흐름에 맞춰 회전교차로의 설치를 진행하고 있는 상황이며 이러한 회전교차로의 전환이 얼마만큼의 안전성 향상의 효과가 있는지 본 연구를 통해 밝혀냈다.

첫째, 전라북도에 설치된 회전교차로에서 일어난 전체사고는 130건에서 51건으로 약 61%의 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 사상자 수를 살펴보면, 사망자는 7명에서 0명으로 100% 감소하였고 중상자도 87명에서 16명으로 약 81% 감소하는 것으로 보아 회전교차로 설치 시 사고건수와 심각도는 감소하는 것으로 나타났다.

둘째, 유형별 사고를 분석해 봤을 때 차대차 사고는 110건에서 38건으로 크게 감소하나 차대사람 사고는 11건에서 10건으로 감소의 폭이 크지 않다.

셋째, 사고의 감소효과를 정확히 산출하기 위해 본 연구에서는 전라북도에 설치된 46개의 회전교차로 중 자료수집의 제한이 없는 30개의 회전교차로를 분석 대상으로 하여 사고예측 모형을 구축해 안전성 분석을 시행하였다. 회전교차로의 설치로 인한 전·후의 교통사고 감소의 효과는 Scenario 2를 기준으로(사전·사후 분석기간 2년) 약 36.4%의 사고 감소효과가 존재하는 것으로 분석되었다. 따라서 회전교차로의 설치로 인한 교통사고 감소에 효과가 있다고 할 수 있다.

본 연구의 대상이 되는 회전교차로는 비교적 최근에 설치된 회전교차로들이 대부분이었다. 이로 인해 교차로의 기하구조적 특성이 아닌 회전교차로 통행에 대한 운전자들의 인식부족과 적응부족으로 인한 사고들이 일어났을 것이다. 따라서 지속적인 홍보를 통해 회전교차로의 운영이 안정화가 되는 시점에서 분석을 다시 진행한다면 더 정확한 분석이 이루어질 수 있을 것이다. 더불어 본 연구에서는 사고예측모형을 단순한 음이항분포로 구축하였는데 영과잉 음이항회귀분석(Zero Inflated Negative Binomial)을 통해 분석을 진행하였다면 더 정확한 분석이 되었을 것이다.

REFERENCES

- Cameron, A.D., Trivedi, P.K. (1998), *Regression Analysis of Count Data*, Cambridge University Press.
- Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, E., Bassani, M. (2013), *Investigation of Models for relating roundabout safety to predicted speed*, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 50, 196-203.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. (2010), *Externality of risk and crash severity at roundabouts*, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42, 1966-1973.
- Hels, T., Orozova-Bekkevold, I. (2007), *The Effect of Roundabout Design Features on Cyclist Accident Rate*, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, p. 300-307.
- Isebrands, H., 2006, "Crash Analysis of Roundabouts at High-speed Rural Intersections", *Transportation Reserch Board*, vol. 09-1048.
- Jung, G.M., Choi, Y.S, 2012, *an Introduction of Categorical Data*

- Analysis, Vol. 2, Free Academy.
- Kim, D.H., Park, K.H., Jo, C.G., Park R.J., (2009) The expected effects in the installation of the Roundabout, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 3084-3087.
- Miaou, S.P., Lord, D. (2003), Modeling Traffic Crash-flow Relationships for Intersections: Dispersion Parameter, functional Form, and Bays Versus Empirical Bayes Methods, Transportation Research Record 1840, No. 03-3363, 31-40.
- Moon, S.R. (2012), Evaluation of Road Safety Audit on Existing Freeway by Empirical Bayes Method, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol.14, No.2, 117-129.
- Ministry of Land, Transport and maritime affairs (2014), Design criteria of roundabout.
- Nam Gung, M., Shin, H.S. (2014), Driving Satisfaction and Safety Assessment for Roundabout, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol.34, 223-233.
- Park B.H., Kim, J.Y., (2010), Study on Effect of Speed control of roundabouts, Journal of the institute of construction technology, Vol. 29, No. 1, 1-8.
- Park, M.G., Park B.H., (2012), "Accident Analysis of 3-legged and 4legged Roundabouts", Journal of the KOSOS, Vol. 27, No.3, 161-166.
- Park, M.H., Park, K.Y., Jang, I.J. Lee, S.B. (2006), Accident Conversion Effect Analysis of Installing Median Barriers, Journal of Korean Society of Transportation Engineering, Vol. 24, No. 2, 113-124.
- Persaud, B.N., Retting, R.A., Garder, P.E., Lord, D. (2001), Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayes Method, Transportation Research Record 1751, 1-8.
- Shankar, V., Mannering F.L., Barfield, W. (1995), Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies, Accident Analysis and Prevention, vol. 27, no. 3, 371-389.
- Shen, J., Gan, A. (2003), Development of Crash Reduction Factors Method, Problems, and Research Needs, Transportation Research Record 1840, 50-56.
- Shim, K.B., Lim, P.N., (2007), An Analysis of Effectiveness and Development of Warrant to Transform Y-Type Intersection into Roundabout, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol.9, No.4, 105-116.