



# 토지이용 유형별 원형교차로에서의 고령운전자 사고모형

## Circular Intersections Accident Models of Elderly Drivers based on Type of Land Use

이민영\* · 박병호\*\*  
Lee, Min Yeong · Park, Byung Ho

### Abstract

This paper deals with the traffic factors related to the accidents of elderly drivers at circular intersections. The characteristics of circular intersection could cause confusion to elderly drivers according to the type of land use, which significantly affect traffic accidents. The purpose of this study is to analyze the factors affecting the accidents based on the type of land use. In pursuing the above, the traffic accident data from 2010 to 2014 were collected from the "traffic accident analysis system (TAAS)" data set of the Road Traffic Authority. The multiple regression, ZIP and ZINB model were utilized in this study to develop the traffic accident models. 16 explanatory variables such as geometry and traffic volume factors were used. The main results are as follows. First, the null hypothesis that the type of land use does not affect the number of accidents of elderly drivers is rejected. Second, 8 accident models of elderly and non-elderly drivers based on the type of land use are developed, which are all statistically significant. Finally, the total entering volumes, circulatory roadway width, area of the central island, mean number of pedestrian crossings, central island diameter, number of bus stops, number of speed breakers, mean number of entry lanes, number of approach roads and area of the roundabout are analyzed to see how they affect the accident of elderly drivers for each type of land use.

**키 워 드** ■ 원형교차로, 토지이용, 고령운전자, 다중선형 회귀모형, ZIP 및 ZINB 회귀모형  
**Keywords** ■ Circular Intersection, Type of Land Use, Elderly Driver, Multiple linear Regression Model, Zero Inflated Poisson(ZIP) and Zero Inflated Negative Binomial(ZINB) Regression model

### I. 연구의 배경 및 목적

여러 방향에서 진입한 차량들이 서로 교차·분류·합류하여 통과하는 교차로는 전체 교통사고 발생 건수의 45%를 차지하며, 교차로 교통사고 사망자는 전체 교통사고 사망자의 30%에 이른다. 이러한 교

차로의 사고 위험을 해결하고 교통흐름을 원활히 하기 위한 대안으로 원형교차로를 도입하고 있다.

원형교차로는 통행우선권에 따라 로터리와 회전 교차로로 구분된다. 로터리는 교통지체 및 낮은 안전성으로 인해 최근 회전교차로로 개선하는 사례가 증가하고 있으나, 여전히 운영되고 있다. 회전교차

\* Chungbuk National University

\*\* Chungbuk National University (Corresponding author: bhpark@chungbuk.ac.kr)

로는 교차로 중앙에 원형의 교통섬을 두고 시계 반대방향으로 회전하여 통과하도록 만든 교차로로서, 기존 교차로에 비해 차량 간 상충이 적어 안전성 증진 및 교통사고 감소 효과 등의 장점을 가진다. 국토교통부에 따르면 신호교차로를 회전교차로로 전환할 경우 평균 통행시간이 약 31% 감소하고, 교통사고는 44% 감소하는 것으로 나타난다. 이러한 장점을 인정받아 현재 회전교차로는 2017년 기준 전국 461개소에서 설치·운영되고 있으며, 2022년까지 1,149개소를 설치할 계획이다.

원형교차로와 관련하여 안전성 및 운영효율 등에 관한 연구가 진행되고 있으나, 토지이용 유형을 고려한 연구는 부족하다. 원형교차로 주변 환경, 보행량 및 교통량은 토지이용 유형에 따라 다르게 나타나므로, 토지이용 유형은 교통사고에 영향을 미치는 주요 변수로 고려되어야 한다.

또한 원형교차로 사고 분석 시 고령운전자에 대한 고려가 잘 이루어지지 않고 있다. 고령운전자는 신호등과 같은 교통시설물을 판단하는 능력이 현저히 낮고, 돌방상황에 대한 반응시간이 청장년층 운전자에 비해 20~30% 정도 느린 것으로 조사된다. 특히 원형교차로는 기존 교차로와 통행방법이 다르기 때문에 고령운전자에게 혼란을 야기할 수 있다. 65세 이상 운전자사고 시 치사율은 65세 미만 운전자에 비해 약 2.1배 높은 것으로 나타나 교통사고 감소 및 예방을 위한 대책이 시급한 상황이다.

이 연구는 원형교차로 주변의 토지이용 특성에 따라 고령운전자 사고모형을 개발하는 데에 그 목적이 있다. 이 연구에서 개발된 모형은 토지이용에 따른 원형교차로에서의 고령운전자 사고의 특성을 파악하고, 그에 따른 효율적인 사고관리에 기여할 것으로 판단된다.

이 연구는 분석 자료의 특성에 따라 어떤 독립변수들이 종속변수에 영향을 미치는지 파악할 수 있는 다중선형 회귀모형과, '0'의 빈도가 높고 과대

산포를 지닌 자료의 특성을 감안하여 ZIP(Zero Inflated Poisson Regression) 및 ZINB(Zero Inflated Negative Binomial) 모형을 사용한다. 연구 수행 과정은 Figure 1과 같다.

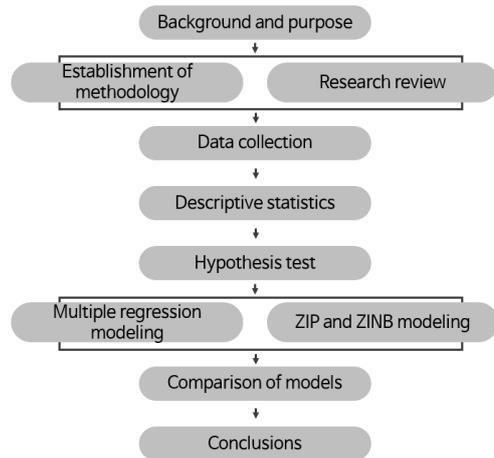


Figure 1. Research Flowchart

## II. 선행연구 검토

### 1. 기존문헌 검토

먼저 고령운전자와 관련한 기존 연구들은 다음과 같다.

백태현 등(2015)은 포아송 모형을 활용하여 회전교차로에서의 고령운전자 사고모형을 개발하였다. 교통량(ADT), 교차로면적, 접근로수 및 노면표시형태의 분리교통섬 수가 유의한 변수인 것으로 나타났다. 또한 저자들은 전체운전자 모형을 개발하여 고령운전자 모형과 비교하였는데 접근로수, 접근차로폭 및 감속시설 수 등이 전체운전자 모형에서 유의한 변수로 분석되었다.

박병호 등(2009)은 포아송 및 음이항 회귀분석 모형을 이용하여 고령운전자 교차로 사고의 특성을 분석하고 고령자 및 일반인 사고모형을 개발하였다. 주도로 평균 차로폭, 교통량 및 우회전 전용차로

합계 등의 변수들이 고령자 사고건수에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 공통변수로는 일평균 교통량과 우회전 전용차로 합계인 것으로 분석되었다.

Stijn Daniels 등(2010)은 벨기에 플랜더스의 148개 회전교차로의 사고심각도를 분석하였다. 토지이용, 기하구조 및 운전자 정보를 포함한 변수를 구축하고 로지스틱 회귀모형을 이용하여 모형을 개발하였다. 저자들은 높은 연령일수록, 야간 및 도심 외곽에서 발생한 사고일수록 사고심각도가 높은 것으로 분석하였다.

Jeppe Rich 등(2013)은 덴마크에서 발생한 교통사고를 대상으로 운전자 사고심각도를 분석하였다. 저자들은 차량의 연식, 운전자 연령 및 충돌유형 등을 고려하여 순서형 로짓 모형을 이용하여 사고심각도 모형을 개발하였다. 분석결과 22세에서 26세 사이의 운전자 사고심각도가 가장 낮으며, 65세 이상 노인의 사고심각도가 가장 높은 것으로 나타났다.

Mohamed Abdel Aty(2003)은 톨게이트, 도로구간 및 신호교차로 지점에서의 사고심각도를 분석하였다. 저자는 모든 지점에서 운전자 연령이 높을수록 사고심각도에 양의 영향을 미치며, 이 때 80세 이상 고령운전자의 사고심각도가 가장 높은 것으로 분석하였다. 또한 농촌지역의 도로 및 신호교차로의 사고심각도가 도시보다 높은 것으로 나타났다.

다음으로 토지이용과 교통사고의 연관성에 대한 연구들은 다음과 같다.

박준태 등(2011)은 서울시 기초자치구 25개구를 중심으로 토지이용에 기반을 두는 새로운 교통사고 예측모형을 개발하였다. 저자들은 주거·상업·업무연상면적이 각 1%씩 증가할 경우 교통사고는 0.027%, 0.041% 및 0.033% 증가하는 것으로 분석하였다. 또한 각 자치구의 사업체당 종사자 수, 도로 연장당 교차로 개수, 고령자인구 구성비율 등이 공통적으로 사고에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이승주(2015)는 토지이용 및 사회경제변수를 적용하여 교통사고 모형을 개발하였다. 저자는 교통사고건수, 인구 10만 인당 사고율, 통행발생량 사고율, 대지면적당사고율 및 차량 1만 대당 사고율을 종속변수로 총 11개의 모형을 개발하였다. 그 결과 총 대지면적, 도로연장, 주간선 도로비율, 고령인구비율, 통행발생량 및 교차로밀도 등이 교통사고에 영향을 미치는 변수인 것으로 분석되었다.

성병준 등(2014)은 최근린분석 및 커널분석을 통해 진주시를 대상으로 토지이용계획에 따른 도시공간 개발 특성과 교통사고와의 공간적 상관성을 제시하였다. 저자들은 진주시의 교통사고는 유동인구가 많고 상업시설이 밀집되어 있는 중심상업지역에 군집되어 분포한다고 분석하였다. 또한 교통사고가 군집되어 나타난 곳은 토지이용이 활발한 곳으로 파악되었다.

D. M. Priyantha Wedagama 등(2007)은 보행자 사고에 있어서 도시 토지이용의 영향을 분석하였다. 저자들은 어린이 및 노인 보행자보다 활동량이 많은 성인 보행자의 사고가 토지의 상업적 이용과 관련이 있다고 분석하였다. 또한 저자들은 민감도 분석을 통해 상업용지 이용이 1% 증가할 때마다 성인의 중상 및 사망사고가 평균 약 1.3% 증가하는 것으로 분석하였다.

Megan Wier 등(2009)은 토지이용 및 교통계획에 따른 보행자 사고의 지역 수준 모델을 개발하였다. 저자들은 샌프란시스코 176개 지역의 도로에서 발생한 부상 및 사망 보행자사고 4,039건을 분석하였다. 그 결과 교통량, 간선도로, 주거 및 상업이 혼합된 토지이용, 고용자 수 및 주민 수 등이 증가할 경우 보행자 사고가 증가하는 것으로 파악되었다.

## 2. 연구의 차별성

이 연구는 토지이용 유형별로 다중선형회귀모형, ZIP 및 ZINB 모형을 통해 원형교차로 사고모형을 구축하며, 기존 연구와의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 기존 원형교차로 연구는 주로 사고모형을 개발하고 문제점 및 개선방안, 운영효율 등을 분석하고 있다. 그러나 교통사고와 밀접한 관련이 있는 토지이용을 고려한 국내 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 이 연구는 토지이용 유형을 고려하여 유형별 원형교차로 사고모형을 구축하고 있다.

둘째, 원형교차로는 기존 교차로와 통행방법이 달라 인지능력 및 대처능력이 낮은 고령운전자에게 혼란을 야기할 수 있다. 또한 고령운전자는 사고 심각도 및 치사율이 높은 것으로 알려져 있으므로 원형교차로 사고모형에서 중요하게 다루어져야 하지만 이에 대한 분석이 부족한 실정이다. 이 연구는 원형교차로에서 발생한 고령운전자의 사고요인을 파악하고 비고령운전자와 비교 및 분석하는 데에 기존 연구와의 차별성이 있다.

## III. 분석의 틀 설정

### 1. 자료의 수집

사고모형 구축을 위해 국내 원형교차로 85개소를 선정하였다. 이 중 로터리는 40개소, 회전교차로는 45개소이다. 로터리와 회전교차로는 운영방식과 정지선, 분리교통섬 및 표지판 등의 기하구조를 기준으로 분류하였다. 기하구조 자료는 '오토캐드 (AutoCAD 2010)' 및 '다움(Daum) 로드뷰'를 활용하여 수집하였다. 토지이용을 유형별로 분류하기 위해 국토교통부에서 운영하는 '온나라부동산포털 3.0'에서 용도지역 자료를 구축하였다. 마지막으로

종속변수인 사고자료는 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS: Traffic Accident Analysis System)을 활용하여 2010년부터 2014년 동안 발생한 65세 이상 고령운전자 사고 120건과 65세 미만 비고령운전자 사고 1,375건을 수집하였다.

토지이용 유형은 수집된 자료와 기존 문헌을 참고하여 4가지로 분류하였다. 토지이용은 단일용도로 개발되는 경우가 적으므로 '온나라부동산포털'에서 제공하는 용도지역 자료를 수집한 후, 교차로 주변 250m 진입로의 토지용도 비율에 따라 유형을 분류하였다. 각 토지이용 유형별 분포에 따른 분류기준은 Table 1, 그리고 그에 따른 요약통계량은 Table 2와 같다.

Table 1. Classification Criteria

Type of land use	Classification criteria
Type 1 : Commercial area	Over 60% commercial area
Type 2 : Commercial-Residential area	From 40 to 60% commercial area and From 40 to 60% residential area
Type 3 : Residential area	Over 80% residential area
Type 4 : Natural green area	Over 80% natural green area

Table 2. Descriptive Statistics

Type of land use	N	Elderly driver			Non-elderly driver		
		Accident (No.)	Mean	Std. dev.	Accident (No.)	Mean	Std. dev.
1	21	47	2.24	3.714	541	25.76	36.578
2	26	28	1.08	1.230	524	20.15	23.236
3	26	41	1.58	2.003	261	10.04	9.614
4	12	4	0.33	0.492	49	4.08	3.655
계	85	120	5.23	7.439	1,375	60.03	78.083

Table 3. Variable selection and Summary Statistics

Variable	Indication	Mean	Std. dev.
Number of accident ( $Y_1$ )	Number of accident (No.)	1.410	2.311
Number of leg ( $X_1$ )	Number of leg of circular intersection (No.)	4.624	1.144
Entry lane ( $X_2$ )	Mean number of entry lane (No.)	1.585	0.612
Width of entry lane ( $X_3$ )	Mean width of entry lane (m)	5.546	2.180
Splitter island ( $X_4$ )	If yes=1, otherwise=0	0.624	0.487
Pedestrian crossings ( $X_5$ )	Mean number of pedestrian crossings (No.)	0.844	0.347
Bus stop ( $X_6$ )	Mean number of bus stops (No.)	1.259	1.399
Speed hump ( $X_7$ )	Number of speed hump (No.)	1.106	1.669
Bicycle lane ( $X_8$ )	If yes=1, otherwise=0	0.341	0.477
Inscribed circle diameter ( $X_9$ )	Inscribed circle diameter (m)	45.082	30.057
Area of circulatory roadway ( $X_{10}$ )	Area of circulatory roadway (m <sup>2</sup> )	1,152.875	1,257.514
Area of central island ( $X_{11}$ )	Area of central island of circular intersection (m <sup>2</sup> )	1,137.836	3,994.716
Central island diameter ( $X_{12}$ )	Central island diameter of circular intersection (m)	28.336	27.062
Circulatory roadway ( $X_{13}$ )	Number of circulatory roadway of circular intersection (No.)	1.765	0.984
Circulatory roadway width ( $X_{14}$ )	Circulatory roadway width of circular intersection (m)	5.399	2.303
Entering volume ( $X_{15}$ )	Total entering volume per day (vehicle/day)	1,346.059	1,356.660
Lighting ( $X_{16}$ )	Number of lighting facilities (No.)	5.229	3.089

## 2. 변수 선정

이 연구는 조사된 자료와 기존문헌 고찰을 통해 고령운전자 사고발생에 영향을 미칠 것으로 예측되는 교통량, 기하구조 등의 16개 독립변수를 선정하였다. 종속변수는 65세 이상 고령운전자의 사고건수이다. 변수 표시방법 및 기술통계량은 Table 3과 같다.

## 3. 다중공선성 분석

변수들의 독립성을 파악하기 위해 다중공선성 분석을 수행한다. 다중공선성은 일부 독립변수들 간에

강한 상관관계가 나타나는 현상을 말한다. 다중공선성이 존재하면 특정 회귀계수 및 표준오차가 잘못 추정될 가능성이 높다. 따라서 회귀계수 추정의 정밀도 및 모형의 설명력을 높이기 위해 모형 개발 전 다중공선성을 분석하는 것이 필요하다. 다중공선성 검증을 위해 Table 4와 같이 공차 한계 및 Variance Inflation Factor(VIF)를 산출하였다. 일반적으로 VIF 값이 10 이상일 때, 공차 한계가 0.1 이하일 때 다중공선성이 있다고 판단한다.

Table 4와 같이 회전차로 면적의 VIF 값이 17.423, 공차 한계가 0.057이고, 중앙교통섬 지름의 VIF 값이 30.649, 공차 한계가 0.033으로 두 독립변수의 다중공선성이 평가되었다. 따라서 이 연구에서는 두 변수를 제외하고 모형을 개발하였다.

Table 4. Analysis of multi-collinearity

Classification	Tolerance	VIF
Number of accident ( $Y_1$ )	0.643	1.556
Number of leg ( $X_1$ )	0.912	1.097
Entry lane ( $X_2$ )	0.233	4.292
Width of entry lane ( $X_3$ )	0.569	1.757
Splitter island ( $X_4$ )	0.798	1.253
Pedestrian crossings ( $X_5$ )	0.729	1.371
Bus stop ( $X_6$ )	0.907	1.103
Speed hump ( $X_7$ )	0.269	3.711
Bicycle lane ( $X_8$ )	0.123	8.098
Inscribed circle diameter ( $X_9$ )	0.057	17.423*
Area of circulatory roadway ( $X_{10}$ )	0.154	6.495
Area of central island ( $X_{11}$ )	0.033	30.649*
Central island diameter ( $X_{12}$ )	0.404	5.599
Circulatory roadway ( $X_{13}$ )	0.286	3.498
Circulatory roadway width ( $X_{14}$ )	0.603	1.657
Entering volume ( $X_{15}$ )	0.929	1.076
Lighting ( $X_{16}$ )	0.918	1.242

#### IV. 모형 개발 및 논의

##### 1. 가설검정

모형개발에 앞서, 다음 3가지 특정변수의 특성이 사고발생에 영향을 미치는지 가설검정을 통해 분석하였다.

###### 1) 토지이용 유형

토지이용 유형에 따라 원형교차로 내 고령운전자 및 비고령운전자의 사고발생에 차이가 있는지 분석하기 위해 다음과 같이 가설검정을 시행하였다.

첫 번째 가설검정의 귀무가설은 ‘토지이용은 고령운전자의 사고건수에 영향을 미치지 않는다.’이며, 대립가설은 ‘토지이용은 고령운전자의 사고건수에 영향을 미친다.’라고 설정되었다. 두 번째 가설검정의 귀무가설은 ‘토지이용은 비고령운전자의 사고건

수에 영향을 미치지 않는다.’이며, 대립가설은 ‘토지이용은 비고령운전자의 사고건수에 영향을 미친다.’이다. 가설검정에는 범주의 수가 셋 이상일 때 사용하는 F 검정법 중 요인의 수가 1개이므로 일원 배치법을 이용하여 분석하였다.

Table 5. Result of One-way Analysis of Variance

Classifications		Sum of Square	d.f.	F	p-value
Elderly driver	between group	31.920	3	2.938	0.045
	within group	416.668	81	-	-
	Total	448.588	84	-	-
Non-elderly driver	between group	5075.281	3	3.208	0.027
	within group	42717.072	81	-	-
	Total	47792.353	84	-	-

분석결과 두 가설검정의 유의확률이 각각 0.045와 0.027로 유의수준 0.05보다 작아 귀무가설 기각역을 만족한다. 따라서 토지이용은 고령운전자 및 비고령운전자의 사고건수에 영향을 미치지 않는다고 할 수 없는 것으로 분석된다. Table 2의 요약통계 표에서도 토지이용 유형에 따라 원형교차로에서의 고령운전자 평균 사고건수가 0.33건에서 2.24건까지 약 6.7배의 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

###### 2) 도시간 특성

이에 대한 귀무가설은 ‘고령운전자의 사고건수는 도시에 따라 차이가 없다.’이며, 대립가설은 ‘고령운전자의 사고건수는 도시에 따라 차이가 있다.’이다. 분석된 원형교차로는 전국 56개 시군에 위치해 있다. 이를 특별·광역시에 위치한 17개소의 교차로와 그 외 시군에 위치한 68개 교차로로 나누어 평균 사고건수를 비교한다. 특별·광역시는 다른 시군에 비해 인구 및 교통량이 많으므로 고령운전자의 사

고건수에 영향을 미치는지 추론할 수 있다. 유의확률이 0.126로 귀무가설은 기각되지 않는다. 즉, 도시간 특성에 따른 고령운전자의 사고건수에 차이가 있다고 추론할만한 충분한 근거가 없다고 판단된다.

Table 6. Result of t-test

Class.	N	Mean no. of accident	Std. dev.	t-value	p-value
1	17	2.71	4.074	1.611	0.126
2	68	1.09	1.484		

\* 1: Metropolitan cities , 2: Other cities

3) 로터리 및 회전교차로

이 연구는 로터리와 회전교차로를 통합하여 원형교차로 모형을 구축하고 있다. 그러나 로터리와 회전교차로는 교차로 통행방법 및 기하구조에 차이가 있어 고령운전자의 사고에 영향을 미치는 요인으로 작용될 우려가 있다. 이에 대한 검정결과는 Table 7에 나타난다. 검정의 귀무가설은 ‘로터리와 회전교차로의 사고건수는 차이가 없다.’이며, 대립가설은 ‘로터리와 회전교차로의 사고건수는 차이가 있다.’이다. 유의확률 p값이 0.426으로 귀무가설은 기각되지 못한다. Table 7을 통해서도 알 수 있듯이 로터리의 평균 사고건수는 1.63건, 회전교차로의 평균 사고건수는 1.22건으로 뚜렷한 차이를 보이지 않고 있다. 즉, 로터리와 회전교차로의 사고건수는 차이가 없다고 추론된다. 실제 두 교차로에서 발생한 고령운전자 사고 중 ‘교차로운행방법위반’으로 인한 사고는 전체의 약 11%에 불과한 것으로 나타난다.

Table 7. Result of t-test

Class.	N	Mean no. of accident	Std. dev.	t-value	p-value
1	40	1.63	2.906	0.800	0.426
2	45	1.22	1.622		

\* 1: Rotary , 2: Roundabout

2. 유형별 모형 개발

이 연구는 다중선형 회귀모형, ZIP 및 ZINB 모형을 통해 토지이용 유형별 고령운전자 및 비고령운전자 사고모형을 개발한다. 다중선형 회귀모형은 여러 독립변수들과 종속변수 간의 관계를 예측하기 위해 널리 사용되는 분석법이다. 반면 ZIP 및 ZINB 모형은 0의 빈도가 높고, 과대산포를 지닌 자료를 보완하기 위해 사용되는 모형이다. 분석에는 통계분석 프로그램인 SPSS 24.0과 LNOGIT 4.0을 활용하였다.

1) 상업지역원형교차로 사고모형

추정된 변수들이 모두 유의수준 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석된다. 또한 보정 R<sup>2</sup>값이 0.7이상으로 모형의 설명력이 높으며, Durbin-Watson의 값이 1~3 사이에 있으므로 잔차의 독립성을 만족한다.

상업지역에서 고령운전자 사고에 영향을 미치는 독립변수는 유입교통량, 중앙교통섬 면적 및 회전차로 폭이다. 이 중 유입교통량과 중앙교통섬 면적은 양의 상관관계로 사고 발생을 증가시키며, 회전차로 폭이 넓어질수록 사고발생은 적어지는 것으로 분석된다.

비교를 위해 비고령운전자 사고모형을 구축한 결과 보정 R<sup>2</sup>값이 0.916으로 매우 높으며, 잔차의 독립성 또한 만족하고 있다. 비고령운전자 모형에서는 유입교통량 및 중앙교통섬 면적이 양의 상관관계에 있고, 과속방지턱 수는 음의 영향을 미치는 것으로 분석된다. 고령운전자와 다르게 비고령운전자는 중앙교통섬이 클수록 직진도로처럼 인식하여 과속하는 경향을 보이므로 사고가 증가하는 것으로 해석된다. 또한 과속방지턱은 비고령운전자의 사고 발생 감소에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

Table 8. Summary of Type 1 Modeling

Class.	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Std. Err.	F-value	p-value	Durbin-Watson
Elderly	0.770	0.729	1.933	5.778	0.028	2.393
Non-elderly	0.929	0.916	10.599	8.103	0.011	2.021

Table 9. Type 1 Accident Model of Elderly and Non-elderly Drivers

Class.	Variables	coeff.	β	t-value	p-value
Elderly	Constant	-1.324	-	-2.322	0.031
	Entering volume	0.003	1.013	7.080	0.000
	Area of central island	-0.000	-0.619	-4.297	0.000
	Circulatory roadway width	-0.431	-0.284	-2.404	0.028
Non-elderly	Constant	-14.630	-	-3.988	0.001
	Entering volume	0.029	1.018	11.430	0.000
	Area of central island	0.002	0.479	5.936	0.000
	Speed hump	-11.408	-0.231	-2.847	0.011

2) 상업·주거지역 원형교차로 사고모형

추정된 변수들이 모두 유의수준 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타난다. 또한 보정 R<sup>2</sup>값이 0.7이상으로 모형의 설명력이 높으며, 잔차의 독립성을 만족한다.

상업·주거지역에서 고령운전자 사고에 양의 영향을 미치는 변수는 유입교통량과 버스정류장 수이며, 음의 상관관계에 있는 변수는 내접원직경과 중앙교통섬 면적이다. 버스정류장은 급정거 및 보행자 사고 등 돌발 상황을 발생시킬 위험을 내포하고 있다. 따라서 대처능력이 낮은 고령운전자의 혼란을 가중시켜 사고 발생을 증가시키는 것으로 분석된다. 또한 내접원직경과 중앙교통섬 면적이 작은 원형교차로일수록 고령운전자의 사고 발생 위험을 높이는 것으로 나타난다. 반면 비고령운전자의 경우 내접원직경이 클수록, 그리고 평균 유입차로 폭이 좁을수록 사고 발생 위험이 증가한다.

Table 10. Summary of Type 2 Modeling

Class.	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Std. Err.	F-value	p-value	Durbin-Watson
Elderly	0.771	0.730	0.545	3.247	0.019	2.238
Non-elderly	0.891	0.877	8.162	5.073	0.035	1.934

Table 11. Type 2 Accident Model of Elderly and Non-elderly Drivers

Class.	Variables	coeff.	β	t-value	p-value
Elderly	Constant	-1.456	-	-2.573	0.018
	Entering volume	0.156	0.072	1.963	0.028
	Bus stop	0.191	0.099	2.119	0.048
	Inscribed circle diameter	-0.082	-0.017	-4.669	0.000
	Area of central island	-0.078	-1.257	-2.929	0.008
	Constant	-3.487	-	-3.289	0.002
Non-elderly	Entering volume	0.006	0.501	2.414	0.025
	Inscribed circle diameter	0.665	0.732	3.068	0.006
	Width of entry lane	-3.266	-0.327	-2.252	0.035

3) 주거지역 원형교차로 사고모형

모형에서 추정된 변수들이 모두 신뢰수준 95%에서 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타난다.

주거지역 고령운전자 모형에서 유의한 독립변수는 유입교통량, 평균 유입차로 수, 과속방지턱 수 및 회전차로 폭이다. 상업지역이 포함된 지역에서 교차로의 크기가 사고에 큰 영향을 미친 반면, 주거지역에 위치한 원형교차로에서는 평균 유입차로 수와 회전차로 폭에 큰 영향을 받는 것으로 분석된다.

비고령운전자 사고모형을 개발한 결과 보정 R<sup>2</sup>

Table 12. Summary of Type 3 Modeling

Class.	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Std. Err.	F-value	p-value	Durbin-Watson
Elderly	0.734	0.708	2.245	2.168	0.041	1.971
Non-elderly	0.860	0.769	6.314	4.953	0.036	2.046

Table 13. Type 3 Accident Model of Elderly and Non-elderly Drivers

Class.	Variables	coeff.	$\beta$	t-value	p-value
Elderly	Constant	-2.484	-	-2.575	0.017
	Entering volume	0.002	0.556	3.768	0.001
	Entry lane	1.427	0.355	2.407	0.025
	Speed hump	-0.562	-0.579	-3.492	0.002
	Circulatory roadway width	-0.430	-0.371	-2.238	0.035
Non-elderly	Constant	-6.399	-	-2.170	0.044
	Entering volume	0.009	0.564	3.785	0.001
	Inscribed circle diameter	0.180	0.331	2.226	0.036
	Width of entry lane	-2.268	-0.487	-2.732	0.012

값이 0.7이상으로 모형의 설명력이 높으며, Durbin-Watson의 값이 2.046으로 잔차의 독립성을 만족한다. 주거지역 비고령운전자 모형에서는 다른 비고령운전자 모형과 비슷하게 내접원 직경 및 평균 유입차로 폭과 같은 기하구조가 사고에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

4) 자연녹지지역 원형교차로 사고모형

자연녹지지역의 경우 교차로 수는 12개이고, 고령운전자 사고건수는 4건이므로 '0'의 빈도가 높다. 또한 비고령운전자는 과대산포문제를 가지고 있다. 따라서 이에 적합한 가산자료 모형인 ZIP이나 ZINB를 이용하여 모형이 개발된다.

Table 14. Count Data Model of Type 4 (Elderly drivers)

Classification		ZIP	ZINB
Constant	Coeff.	2.437(2.031)	3.093(1.652)
	p	0.024	0.031
Number of leg	Coeff.	0.143(3.115)	0.044(2.544)
	p	0.000	0.018
Bus stop	Coeff.	0.018(2.249)	1.741(2.987)
	p	0.020	0.004
Lighting	Coeff.	-2.794(-3.476)	-2.441(-2.924)
	p	0.000	0.002
$\alpha$		-	0.368(2.687)
$\rho^2$		0.267	0.370
Vuong		7.254	7.841

모형에서 추정된 변수들이 모두 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타난다. 모형의 적합성을 검증하는 Vuong 통계량은 Z분포에 의한 검정통계 값으로 95% 신뢰수준에서 1.96보다 클 때, 포아송 및 음이항 모형에 비해 통계적으로 유의하다고 분석된다. 개발된 ZIP 및 ZINB 모형의 Vuong 통계 값이 고령운전자 모형은 각각 7.254와 7.841, 비고령운전자 모형은 각각 5.607와 8.174로 1.96보다 크므로 ZIP 및 ZINB 모형이 적합한 것으로 판단된다. 또한 과분산계수  $\alpha$ 의 t값이 1.96보다 크므로 두 모형 모두 ZIP 모형보다 ZINB 모형이 통계적으로 더 유의한 것으로 분석된다.

고령운전자 사고에 영향을 미치는 독립변수는 접근로 수, 버스정류장 수 및 조명시설 수이다. 다른 토지이용 유형에 비해 상대적으로 교통 및 보행량이 적은 자연녹지지역에서 운전자는 과속하기 쉬우므로 버스정류장으로 인해 발생할 수 있는 돌발 상황에 대처하기 어려운 것으로 판단된다. 또한 접근로가 많은 원형교차로는 고령운전자의 혼란을 가중시켜 사고 위험을 증가시키는 것으로 분석된다. 조명시설은 사고와 음의 상관관계로 실제 고령운전자 사고가 발생한 지역의 조명시설이 평균 조명시설 수보다 적은 것으로 나타난다.

반면 자연녹지지역 비고령운전자 사고모형의 유

의한 변수는 평균 유입차로 수, 평균 횡단보도 수 및 회전차로수이다. 원형교차로 통행방법 특성상 유입차로 수와 회전차로수가 많을 경우, 진입 및 회전차량 간 상충위험이 증가하고 운전자의 혼란이 가중되기 때문인 것으로 분석된다. 평균 횡단보도 수는 사고와 음의 관계로, 교통 및 보행량이 적은 자연녹지지역에서는 횡단보도가 오히려 운전자의 주의를 향상시키기 때문인 것으로 판단된다.

Table 15. Count Data Model of Type 4 (Non-elderly drivers)

Classification		ZIP	ZINB
Constant	Coeff.	5.694(2.153)	6.166(3.724)
	p	0.037	0.000
Width of entry lane	Coeff.	0.027(2.593)	0.055(3.226)
	p	0.000	0.000
Pedestrian crossings	Coeff.	0.312(2.296)	0.568(2.071)
	p	0.003	0.038
Circulatory roadway	Coeff.	-0.378(-2.927)	-1.877(-2.653)
	p	0.000	0.000
$\alpha$		-	0.645(4.114)
$\rho^2$		0.314	0.292
Vuong		5.607	8.174

### 3. 모형 검증

개발된 다중선형 회귀모형의 검증을 위해 오차항의 정규성 및 등분산성을 분석한다. 오차항의 정규성은 회귀모형의 주요 가정 중 하나로, 이 가정을 만족하지 않으면 변수에 있어서 측정오류 및 관찰되지 않은 계수의 변이가 존재한다는 의미이다. Table 16과 같이 Type 1, Type 2 및 Type 3의 토지이용에 따른 고령 및 비고령운전자 사고모형의 오차항이 0값을 중심으로 균등하게 분포되어 있는 것으로 나타나며, 정규성을 심각하게 위반하지 않는 것으로 판단된다. 따라서 개발된 6개의 다중선형 회귀모형이 모두 오차항의 정규성을 만족하고 있다.

등분산 가정 또한 회귀모형의 주요한 가정 중 하나로 오차항의 분산이 독립변수에 관계없이 일정

해야 한다는 것이다. Table 16에서 각 모형의 오차인 Y축이 0을 중심으로 등간격을 나타내고 있다. 따라서 오차항의 등분산 가정을 만족한다고 판단할 수 있으며, 심각한 등분산성 위반은 찾을 수 없는 것으로 나타난다. 따라서 개발된 6개의 다중선형 회귀모형이 모두 오차항의 등분산 가정에 부합하며, 이를 통해 선형 회귀모형을 이용한 사고모형 개발이 적합하다고 판단된다.

자연녹지지역 모형은 가산자료모형이므로 정규성 및 등분산성 검증 대신에 개발된 모형의 예측치와 실측치간의 차이를 분석하여 모형의 적합성을 검증한다. 여기에는 대응표본 t검정방법이 이용된다. 분석결과 두 모형 모두 유의확률이 0.05보다 크므로 '예측치와 실측치 간에 차이가 없다.'는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 판단된다.

Table 17. Paired Sample t-test of Type 4

Classification	Correlation	Mean difference	t-value	p-value
Elderly	0.514	0.013	0.109	0.846
Non-elderly	0.467	0.027	0.315	0.733

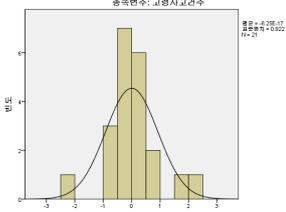
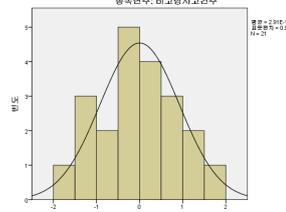
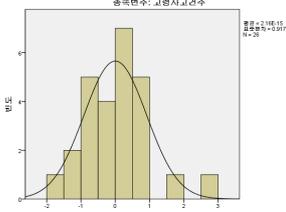
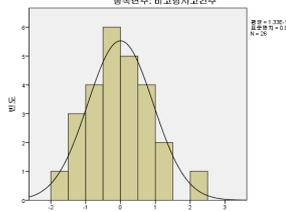
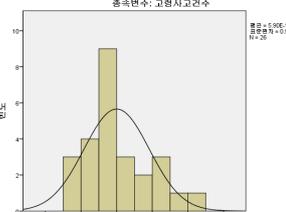
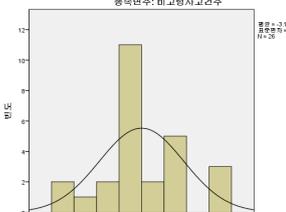
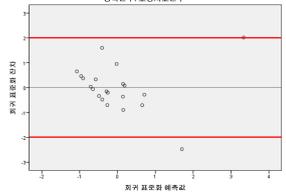
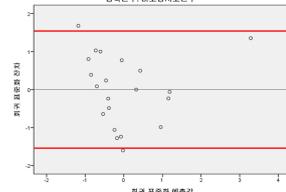
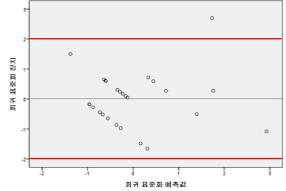
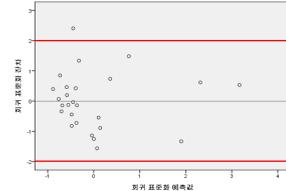
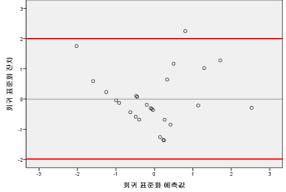
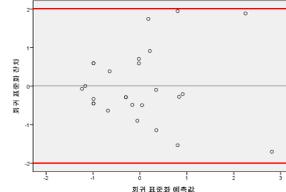
### 4. 모형 논의

토지이용 유형별 고령운전자 및 비고령운전자 원형교차로 사고모형 개발 결과 토지이용에 따라 사고에 영향을 미치는 변수 및 모형이 다르게 분석된다. 또한 고령운전자와 비고령운전자의 사고 모형에서 유의하게 분석된 변수들에도 차이가 있는 것으로 나타난다. 이를 비교·분석해보면 다음과 같다.

상업지역의 원형교차로 사고에서 고령운전자와 비고령운전자 모두 중앙교통섬 면적에 영향을 받는 것으로 분석된다. 두 모형 모두 유입교통량 다음으로 중앙교통섬의 중요도가 높게 나타난다. 고령운전자는 중앙교통섬 면적이 작을수록 사고가 증가하는 것으로 분석된다. 이는 중앙교통섬 면적이 작은 원

토지이용 유형별 원형교차로에서의 고령운전자 사고모형

Table 16. Test of Normality and Homoscedasticity of the Disturbances Assumption

Classification	Accident model of elderly driver	Accident model of non-elderly driver
Test of normality	Type 1 	Type 1 
	Type 2 	Type 2 
	Type 3 	Type 3 
Test of homoscedasticity	Type 1 	Type 1 
	Type 2 	Type 2 
	Type 3 	Type 3 

\* Type 4 is the count data model, so the t-test as table 17 is conducted instead of normality and homoscedasticity test.

형교차로의 경우 진행방향이 명확하지 않은 경우가 많고, 원형교차로의 크기가 작아 주변 시설물에 의해 시야가 방해되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 다른 지역에 비해 시설물이 많고 교통량이 많은 상업지역의 특성에도 영향을 받은 것으로 분석된다. David, D. et al.(2010)은 고령운전자가 교차로에서 사고를 일으키는 원인 중 시각적 인지 능력 문제가 약 53%를 차지한다고 분석한 바 있다. 따라서 상업지역에 위치한 원형교차로에서 고령운전자 사고를 줄이기 위해서는 중앙교통섬 크기가 회전교차로 설계지침에서 제시하고 있는 최소 설계기준을 만족해야 하며, 상업 시설물이 시야를 방해하지 않도록 해야 한다. 반면 비고령운전자는 고령운전자와 다르게 중앙교통 섬 면적이 클수록 사고 발생 위험이 증가하는 것으로 분석된다. 이는 중앙교통섬 면적이 큰 원형교차로의 경우 직진도로처럼 인식되어 과속할 우려가 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 분석 대상 상업지역은 다른 지역에 비해 교통량이 많음에도 설치된 과속방지턱의 수가 적다. 따라서 상업지역에서의 과속방지턱 설치는 비고령운전자의 사고를 감소시킬 것으로 평가된다.

Table 18. Comparison(I) of Models

Type of land use	Variables	
	Elderly driver	Non-elderly driver
Type 1	Entering volume, Circulatory roadway width(-), Area of central island(-)	Entering volume, Speed hump(-), Area of central island(+)
Type 2	Entering volume, Bus stop(+), Inscribed circle diameter(-), Area of central island(-)	Entering volume, Inscribed circle diameter(+), Width of entry lane(-)
Type 3	Entering volume, Speed hump(-), Circulatory roadway width(-), Entry lane(+)	Entering volume, Inscribed circle diameter(+), Width of entry lane(-)
Type 4	Number of leg(+), Bus stop(+), Lighting(-)	Entry lane(+), Circulatory roadway(+), Pedestrian crossings(-)

Table 19. Comparison(II) of Models

Class.	Common variables	Specific variables
Elderly driver	Entering volume, Speed hump, Entry lane	Area of central island(-), Inscribed circle diameter(-), Circulatory roadway width, Bus stop, Lighting, Number of leg,
Non-elderly driver		Area of central island(+), Inscribed circle diameter(+), Width of entry lane, Circulatory roadway, Pedestrian crossings

상업·주거지역 고령운전자 사고모형에서는 상업지역과 다르게 상충요인인 버스정류장 수가 유의한 변수로 분석된다. 고령운전자는 버스정류장이 있을 경우 발생할 수 있는 돌발 상황에 대한 대처능력이 낮기 때문에 사고 발생이 증가하는 것으로 분석된다. 또한 회전교차로 설계지침에서 진입부에 버스정류장을 설치할 것을 권장하고 있으나 실제로 진출부에 설치된 경우도 확인된다. 따라서 교통흐름을 원활히 하고 고령운전자의 사고를 감소시키기 위해서 진입부 버스정류장 설치를 준수해야 할 것으로 평가된다. 또한 변수 중 중앙교통섬 면적이 사고에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타난다. 따라서 상업·주거지역에 위치한 원형교차로 또한 내접원직경 및 중앙교통섬 면적이 설계기준을 충족하도록 적절한 크기를 유지해야 할 것으로 판단된다. 반면, 비고령운전자 사고모형은 내접원 직경이 커질수록 사고가 증가하며, 평균 유입차로 폭이 좁을수록 차량 간 안전거리를 확보하기 어려우므로 상충 위험이 증가하여 사고 발생이 높아지는 것으로 분석된다.

주거지역 고령운전자 사고 모형에서는 유입교통량, 과속방지턱 수, 회전차로 폭 및 평균 유입차로 수 등이 유의한 변수이며, 이 중 유입교통량과 과속방지턱 수가 사고에 가장 큰 영향을 미친다. 상

업지역과 상업주거지역에서는 원형교차로의 크기에 영향을 미치는 요인들이 유의한 변수였으나, 주거지역에서는 차로 수, 차로 폭, 과속방지턱 수 등 진입로와 관련된 변수가 주요 변수로 분석된다. 평균 유입차로 수는 양의 상관관계로 유입 차로 수가 증가할 경우 회전차로 수도 증가하여 고령운전자의 혼란을 가중시킨다. 또한 회전차로 폭이 좁을수록 상충 위험이 증가하게 된다. 실제 주거지역의 사고 유형을 분석한 결과, 추돌사고보다 측면충돌사고가 많다. 따라서 주거지역에 위치한 원형교차로의 고령운전자 사고 감소를 위해 평균 유입차로 수와 회전차로 폭을 적절히 조정하는 것이 필요하다. 또한 교통량 관리 및 과속방지턱의 설치가 주거지역에 위치한 원형교차로에서의 사고감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

자연녹지지역은 접근로 수, 버스정류장 수 및 조명시설 수가 고령운전자 사고 모형에서 유의한 변수로 나타난다. 접근로 수는 자연녹지지역 모형에서만 도출된 특이변수로, 접근로 수가 증가할수록 고령운전자의 혼란을 가중시켜 사고발생 위험을 높이는 것으로 분석된다. 실제로 분석대상 자연녹지지역에서 발생한 고령운전자 사고의 75%가 5지 원형교차로인 것으로 나타난다. 따라서 자연녹지지역에서는 5지 이상의 원형교차로를 지양하는 것이 사고감소에 도움이 될 것으로 평가된다. 또한 자연녹지지역의 경우 다른 토지이용 유형에 비해 교통량이 적은 것으로 확인된다. 교통량이 적은 조건은 운전자의 과속을 유발하게 되는데 이 때 버스정류장과 같은 상충요인은 예상치 못한 돌발 상황을 야기할 수 있다. 이는 보행자의 안전까지 위협하므로 보행자 안전 및 원활한 교차로 소통을 위해 회전교차로 설계지침에서 권장하는 바와 같이 보행자 안전시설을 설치하는 것이 사고절감에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 안내표지 및 조명시설을 설치하는 등의 노력이 요구된다. 반면 비고령운전자의 자연녹지

지역 사고 모형에는 평균 유입차로 수와 회전차로 수 및 평균 횡단보도 수가 유의한 변수로 분석되어 고령운전자 모형과 차이를 보이고 있다.

모형 개발 결과, 토지이용별로 고령운전자의 사고에 영향을 미치는 요인들이 다르게 나타난다. 그러나 상업지역, 상업·주거지역 및 주거지역에서 몇몇 변수들이 중복되는 경향을 보이고 있다. 이를 통해 중복변수들은 고령운전자의 사고위험을 증가시키는 주요 요인으로 평가할 수 있다. 따라서 원형교차로에서의 고령운전자 사고 감소를 위해서는 중앙교통섬 면적, 회전차로 폭 등의 중복 변수들에 주의하는 것이 매우 중요하다.

## V. 결론

이 연구에서는 전국 85개 원형교차로를 대상으로 교차로 주변 250m내 토지이용에 따라 고령운전자의 사고발생에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 토지이용이 고령운전자의 사고건수에 영향을 미치지 않는다는 귀무가설은 기각된다. 토지이용 유형별로 고령운전자 평균 사고건수는 0.33건에서 2.24건으로 6.7배의 차이를 보이고 있으며, 토지이용 유형별 독립변수들이 다르게 분석된다.

둘째, 통계적으로 유의한 8가지 모형이 개발된다. 개발된 모형에서 추정된 변수 모두 통계적으로 매우 유의한 것으로 분석된다.

셋째, 사고감소를 위해 고령운전자의 혼란을 야기하지 않는 수준의 중앙교통섬 면적 및 회전차로 폭을 설정하는 것이 중요하다. 또한 횡단보도 수 및 버스정류장 수와 같은 상충요인을 줄이는 것이 고령운전자 사고 예방에 도움이 되는 것으로 분석된다.

토지이용 유형에 따라 고령운전자와 비고령운전

자의 사고에 영향을 미치는 요인이 다르게 나타난다. 이는 고령운전자의 사고 특성에 대한 이해와 효율적인 사고관리가 필요함을 시사한다.

이 연구는 주로 기하구조 요인에 중점을 두고 모형을 개발하고 있다. 상업지역, 상업·주거지역 등 일부 비고령운전자 모형의 경우 보정  $R^2$  값이 0.9에 달하고 있어 개발된 모형의 요인들을 조정하는 것만으로도 충분한 사고감소 효과가 있을 것으로 예측된다. 그러나 교통사고는 인적·물적·환경적 요인들이 다양하고 복합적으로 작용하여 발생하기 때문에, 물리적 요인 이외에도 인적·환경적 요인에 대한 고려가 함께 이루어진다면 보다 질 높은 연구가 될 것으로 판단된다. 또한 비고령운전자 모형에 비해 고령운전자 모형의 보정  $R^2$  값이 낮게 나타나고 있으므로 비고령운전자에 비해 고령운전자 교통사고에 인적·환경적 요인이 더 중요하게 작용하고 있다고 추론된다. 향후 이러한 차이에 대한 연구 또한 진행될 필요가 있다.

또한 이 연구는 로터리와 회전교차로를 포함한 원형교차로를 대상으로 사고모형을 개발하였다. 가설검정을 통해 통계적으로 평균 사고건수에는 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 두 교차로는 특성이 다른 교차로이므로 향후 보다 다양한 검증 및 모형을 활용한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

#### 인용문헌

#### References

1. 국토해양부, 2010. 「회전교차로 설계지침」, 세종: 애드뱅크.  
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2014. *Roundabout Design Guidelines*, Sejong: AD Bank.
2. 백태현, 2015. “고령 운전자의 회전교차로 사고 모형 개발”, 「국토계획」, 50(6): 115-126.
3. Beak, T. H., 2015. “Developing the Roundabout Accident Models of Elderly Drivers”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(6): 115-126.
3. 박병호·한상욱·김경환, 2009. “고령운전자 교차로 사고의 특성 및 모형 - 청주시 4지 신호교차로를 중심으로”, 「한국도로학회논문집」, 11(4): 33-40.
4. Park, B. H., Han, S. W., and Kim, K. H., 2009. “Characteristics and Models of Intersection Accidents by Elderly Drivers in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections”, *Journal of Highway Engineering*, 11(4): 33-40.
4. 이승주, 2015. “존별 토지이용과 교통특성에 근거한 교통사고모형 개발”, 충북대학교 석사학위논문
5. Lee, S. J., 2015. “Development of Traffic Accident Models Based on Land Use and Transportation Characteristics by Zone”, Master's Degree Dissertation, Chungbuk National University.
5. 박준태·장일준·손의영·이수범, 2011. “토지이용 및 교통특성을 반영한 교통사고 예측모형 개발 연구”, 「대한교통학회지」, 29(6): 39-56.
6. Park, J. T., Jang, I. J., Son, U. Y., and Lee, S. B., 2011. “Development of Traffic Accident Forecasting Models Considering Urban-Transportation System Characteristics”, *Journal of Korea Transportation Research Society*, 29(6): 39-56.
6. 성병준·유환희, 2014. “진주시 교통사고의 도시공간분포패턴 분석”, 「한국지형공간정보학회지」, 22(3): 99-105.
7. Sung, B. J., and Yoo, H. H., 2014. “Pattern Analysis for Urban Spatial Distribution of Traffic Accidents in Jinju”, *Journal of Korea Society for Geospatial Information System*, 22(3): 99-105.
7. 이민영·박병호, 2016. “토지이용 유형별 회전교차로 교통사고모형”, 「한국도로학회논문집」,

- 18(6): 153-160.
- Lee, M. Y., and Park, B. H., 2016. "Traffic Accident Model of Roundabout based on Type of Land Use", *Journal of Highway Engineering*, 18(6): 153-160.
8. 나희·박병호, 2012. "로터리 사고발생 위치별 사고모형 개발", 『한국도로학회논문집』, 14(4): 83-91.
- Na, H., and Park, B. H., 2012. "Developing Accident Models of Rotary by Accident occurrence Location", *Journal of Highway Engineering*, 14(4): 83-91.
9. Wier, M., Weintraub, J., Humphreys E. H., Seto, E. and Bhatia, R., 2009. "An Area-level Model of Vehicle-pedestrian Injury Collisions with Implications for Land Use and Transportation Planning", *Accident Analysis and Prevention*, 41(1): 137-145.
10. Wedagama, D. M. P., Bird, R. and Dissanayake, D., 2008. "The Influence of Urban Land Use on Pedestrians Casualties-case Study Area: Newcastle Upon Tyne, UK", *IATSS Research*, 32(1): 62-73.
11. Rich, J., Prato, C. G., Hels, T., Lyckegaard, A. and Kristensen, N. B., 2013. "Analyzing the Relationship between Car Generation and Severity of Motor-vehicle Crashes in Denmark", *Accident Analysis and Prevention*, 54(2013): 81-89.
12. Abdel-Aty, M., 2003. "Analysis of Driver Injury Severity Levels at Multiple Locations using Ordered Probit Models", *Journal of Safety Research*, 34(2003): 597-603.
13. Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. and Wets, G., 2010. "Externality of Risk and Crash Severity at Roundabouts", *Accident Analysis and Prevention*, 42(6): 1966-1973.
14. Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C. and Truman, W., 2010. "Older Drivers' Road Traffic Crashes in the UK", *Accident Analysis and Prevention*, 42(4): 1019-1024.
15. Dong, C., Richards, S. H., Clarke, D. B., Zhou, X., and Ma, Zhuanglin., 2014. "Examining Signalized Intersection Crash Frequency using Multivariate Zero-inflated Poisson Regression", *Safety Science*, 70(2014): 63-69.

Date Received 2017-01-31  
 Reviewed(1<sup>st</sup>) 2017-03-23  
 Date Revised 2017-04-17  
 Reviewed(2<sup>nd</sup>) 2017-04-19  
 Date Accepted 2017-04-19  
 Final Received 2017-05-08