

## 로지스틱 회귀분석에 의한 도시부 신호교차로 유턴 사고모형 개발

강종호\* · 김경환\*\* · 김성문\*\*\*

Kang, Jong Ho\*, Kim, Kyung Whan\*\*, Kim, Seong Mun\*\*\*

### Development of the U-turn Accident Model at Signalized Intersections in Urban Areas by Logistic Regression Analysis

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the U-turn accident model at signalized intersections in urban areas. The characteristics of the accidents which are associated with U-turn operation at 3 and 4-legged signalized intersections was analyzed and the U-turn accident model was developed by regression analysis in Changwon city. First, in order to analyze the effectiveness on traffic accidents by U-turn installation, the difference of mean of traffic accident number are measured between two groups which are composed by whether or not U-turn installation the groups by Mann-Whitney U test. The result of significance test showed that intergroup comparison on mean by accident types made difference except rear-end accident type and by accident locations exit section only showed difference in significance level at 4-legged intersections, so the accident number have more where the U-turn is permitted than not. Response measures about the number of accidents were classified by whether accidents occurred and accident model were constructed using binomial logistic regression analysis method. The developed models show that the variables of conflict traffic, number of opposing lane are adopted as independent variable for both intersections. The variables of longitudinal grade for 3-legged signalized intersection and number of crosswalk for 4-legged signalized intersection at which the U-turn is permitted is adopted as independent variable only. These study results suggest that U-turn would be permitted at the intersection where the number of opposing lane is more than 3.5 each, the longitudinal grade of opposing road is upward flow and there is need to establish the U-turn traffic sign at signalized intersections.

**Key words :** U-turn accident model, Signalized intersections, Mann-Whitney U test, Logistic regression analysis

#### 초 록

본 연구의 목적은 도시부 신호교차로에서의 유턴 사고모형을 개발하는 것이다. 창원시 3지, 4지 신호교차로의 유턴 교통사고 자료에 대한 특성을 분석하고 로지스틱 회귀분석에 의해 사고예측모형을 추정하였다. 먼저 유턴 운영에 의한 교통사고 발생에 차이가 있는지를 검정하기 위해 맨-위트니 U검정으로 평균차이를 검정하였다. 분석 결과 4지 신호교차로의 사고유형별 구분에 있어서는 추돌사고를 제외한 유형에서, 사고위치별에 있어서는 유출부 사고가 유턴구역이 설치된 집단의 사고발생건수가 더 많은 것으로 분석되었다. 교통사고건수에 대한 반응척도를 이항으로 분류하고 사고예측모형을 추정한 결과 상충교통량, 대향차로수와 같은 독립변수가 공통적인 영향요인으로 분석되었으며, 3지 신호교차로에서는 종단 경사, 4지 신호교차로에서는 횡단보도수가 공통영향 이외에 특정변수로 도출되었다. 도시부 신호교차로에서 유턴 운영을 위해서는 유턴 구역 대향차로수가 사고무발생 교차로의 평균차로수인 3.5개 차로 이상이며, 접근부의 종단선형이 상향경사일 경우에 설치를 고려할 수 있을 것으로 제안된다. 또한 유턴 차량의 많은 부분이 횡단보도 시간을 이용하여 회전하는 점을 고려하여 유턴 시기에 대한 지시표지를 설치할 필요가 있다.

**검색어 :** 유턴 사고모형, 신호교차로, 맨-위트니 U검정, 로지스틱 회귀분석

\* 정희원 · 도로교통공단 울산경남지부 과장, 공학박사 (Korea Road Traffic Authority · roadtrauma@naver.com)

\*\* 정희원 · 교신저자 · 경상대학교 도시공학과 교수·환경 및 지역발전연구소장, 공학박사

(Corresponding Author · Gyeongsang National University · kwkim@gnu.ac.kr)

\*\*\* 경상대학교 석사과정, BK21+ 창조형 중소도시재생 전문인력 양성사업팀 (Gyeongsang National University · munimusic@naver.com)

Received May 2, 2014/ revised May 21, 2014/ accepted June 2, 2014

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

특정한 모형으로 정형화하기 어려운 도시부 신호교차로에서의 교통사고는 발생할 여건을 갖춘 공간에서의 노출 빈도가 교통사고 발생 확률의 정도를 결정하는 중요한 요인이 될 수 있다. 차량의 방향전환에 따른 회전교통 관련 교통사고예측모형은 다수의 연구가 선행되었으며 체계적이고 미시적인 연구의 수행이 필요함을 시사하고 있다.

최근 경찰청에서는 국제수준의 다수가 인정하는 교통안전시설의 기초적 환경을 마련하기 위해 신호기에 설치된 불필요한 교통안전표지에 대한 일제정비계획을 일선 경찰서에 하달하였는데, 그 계획의 주요 내용 중에는 직진우선 및 비보호좌회전 확대에 따른 불편해소를 위해 유턴구역 및 시간을 확대한다는 내용이 포함되어 있다. 이에 따라 유턴 시기를 정한 보조표지를 제거하여 교통소통을 증진하고자 하였다. 도시부 신호교차로에서 적극적으로 도입되고 있는 유턴 운영의 특성분석 및 사고예측모형의 개발에 관한 연구가 필요한 시점이나 유턴사고와 관련한 변수들의 자료수집상의 어려움으로 인해 극소수의 연구가 진행된 것으로 조사되었다.

본 연구는 창원시 신호교차로를 중심으로 유턴 교통의 사고발생 특성을 분석하고 이를 기초로 하여 도로환경요인과 교통사고와의 상관관계를 분석하고 로지스틱 회귀분석을 이용한 유턴 사고모형을 개발함을 그 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 내용 및 과정

본 연구의 범위는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 공간적 범위 : 창원시내 유턴이 허용되고 대향차로수가 3차로 이상인 신호교차로로서 분석기간 동안 교통운영 및 기하구조의 변화가 없었던 도시부 3지 신호교차로 36개소와 4지 신호교차로 49개소
- 시간적 범위 : 2010년 1월 ~ 2012년 12월의 3개년
- 내용적 범위 : 유턴구역 유무에 따른 교통사고발생 건수의 평균차이 검정, 이항 로지스틱 회귀분석을 이용한 유턴사고모형 개발.

사고모형의 개발을 위해 사용된 교통사고자료는 경남지방경찰청 교통경찰업무관리시스템(TCS)의 교통사고자료 1만 2천여건이 이용되었으며, 도로환경적 요인에 대한 현장조사 내용과 함께 EXCEL 프로그램으로 코딩하였다. 평균차이 검정 및 상관분석, 사고모형개발을 위한 통계패키지는 SAS 9.1과 NLOGIT 3.0 프로그램을 이용하였다. 유턴과 관련한 국내외 연구가 어느 정도 진행되었는지

를 판단하고 연구의 진행방향을 설정하기 위해 선행연구의 고찰을 수행하였다. 선행연구에 따라 도시부 신호교차로에서는 유턴구역이 설치된 교차로와 설치되지 않은 교차로의 상충기회에는 뚜렷한 차이가 발생함을 알 수 있었으며, 이로 인한 교통사고 발생에 유의한 차이가 있는지를 비모수검정인 Mann-Whitney U test에 의해 유턴의 사고발생특성을 비교분석하였다. 유턴구역 설치 유무에 따른 사고영향분석은 도시부 신호교차로에서 다양하고 불규칙적으로 발생하는 유턴 사고발생 기여도를 본질적으로 밝히지는 못한다고 판단하여 사고발생기회에 영향요인으로 작용할 것으로 예상되는 설명변수를 선정하고 종속변수인 유턴 교통사고건수에 대해 이항 로지스틱 회귀분석에 의한 사고모형을 개발하였다. 로그우도비 제곱값( $\rho^2$ ), Hosmer & Lemeshow, 유사결정계수(Pseudo- $R^2$ ), 적중률(Hit-Ratio) 통계값에 의해 개발된 모형의 신뢰성과 적합성을 검정하였다.

## 2. 선행연구의 고찰

### 2.1 선행연구

도시부 신호교차로 유턴과 관련한 선행연구는 상충기회를 바탕으로 심각도, 안전성을 평가하는 연구와 유턴차로 운영에 따른 용량분석이 주류를 이루고 있는 것으로 관찰된다. 박광원(2009)은 비침투시간대 도시부 신호교차로 유턴 허용구간의 설계기준에 관한 연구를 수행하였는데 차로폭, 차로수, 차량의 회전속도, 차량의 차로변경각도를 변수로 선정하여 차량의 대기행렬길이에 따른 정지시거모형, 간격수락모형에 의해 유턴허용구간과 전후방 교차로의 이격거리를 제시하였다. Park (2009)는 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 사고발생 위치별 교통사고건수를 종속변수로 하는 로지스틱 회귀분석 교통사고모형을 개발하였다. 개발된 교통사고모형의 공통요인은 교통량, 횡단거리 및 좌회전전용차로로 나타났으며, 횡단보도 사고모형에서는 주도로 유턴이 특정변수인 것으로 나타났다. He et al. (2009)는 도시부 가로구간에서 좌회전 금지 신호교차로의 증가가 유턴 이동에 영향을 미치고 있음을 주목하고 유턴 교통의 유출 차두간격에 대한 연구를 수행하였다. 대기행렬 차량위차별로 유턴 유출 차두간격과 포화차두간격을 제시하였는데 회전반경과 성별 구분이 포화차두간격의 유의한 요소임을 제시하였다. Daniel (2005)은 유턴 교통의 영향을 분석하기위해 14개 신호교차로를 대상으로 좌회전차로에서의 대기차량 차두간격에 대한 회귀분석을 수행하였다. 유턴차량이 10% 증가할 때 좌회전 대기차량의 포화교통류는 1.8% 감소하며, 유턴차량이 교차로의 우회전 차량과 중복되는 경우 1.5%가 추가 감소함을 제시하였다. Yang (2002)은 다차로 유턴 허용구간에서 상충 교통류 비율과 잠재적인 용량의 관계를 정량화하였다. 시뮬레이션을 통해 유턴

교통류 이동에 대한 잠재적 용량과 상층 용량의 관계가 지수방정식을 통해 일치될 수 있음을 보였으며, 이는 HCM에서 곡선부의 경계를 정하는 것과 일치함을 확인하였다. Adams and Joseph (1993) 등은 유턴 교통이 좌회전 차로의 포화교통류율에 미치는 영향도와 유턴 보정계수 산정에 대해 분석하였다. 그 결과 유턴 교통류 비율이 50% 이하인 경우에는 유턴 교통류가 좌회전 포화교통류율에 영향을 주지 않음을 제시하였으며, 50%를 넘는 경우에 대하여 유턴 보정계수를 제시하였다. 65~80%일 때는 0.9, 85%이상 일 때는 0.8을 적용하였다.

### 2.2 유턴차로 설치기준

우리나라의 경우 도로에서 발생하는 교통상의 위험과 장애를 방지하기 위해 제정된 도로교통법상에는 유턴에 관한 내용이 포함되어 있지 않다. 유턴차로의 설치에 대한 기준 및 권장사항, 예시는 경찰청의 교통노면표시 설치관리매뉴얼에서 Table 1과 같이 제시하고 있으며, Fig. 1은 유턴구역 설치기준에 대한 예시를 나타내고 있다.

Table 1. Criteria of U-turn Line Installation

Section	Contents	
Chapter 3 Restrict marking	Criteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fit at a place and section which U-turn is permitted on road where each road width is wider than 9m, considering a traffic condition such as distance between intersections and signal phase</li> <li>Except a place which is predicted a traffic congestion and danger of accident due to U-turn permission</li> <li>Fit with traffic safty sign(311)</li> </ul>
Section 2 Line restrict		<ul style="list-style-type: none"> <li>The length of U-turn line is 12~18m corresponding 2~3 cars, only considering a traffic volume, number of lane, signal phase</li> <li>Restrict a cars as a U-turn permissive vehicle. Just, Allow another vehicles by traffic safty sign according to road condition-road width, etc.</li> <li>Fit at a exclusive left-turn lane on road.</li> </ul>
3.U-turn line (502)	Recommend	

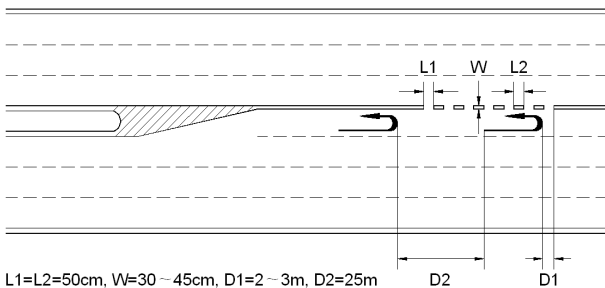


Fig. 1. Design Criteria of U-turn Lane

### 3. 유턴의 사고영향분석

도시부 신호교차로 유턴사고모형 개발 이전에 유턴구역이 설치된 교차로와 설치되지 않은 교차로의 교통사고 발생에 유의한 차이가 있는지를 비교분석하기 위해 창원시내 3지, 4지 신호교차로 전체를 대상으로 사고유형별, 사고위치별 두 집단 간의 사고발생건수를 비교분석하였다. 유턴 구역 설치기준에 따라 편도 3차로 이상의 폭원을 충족하는 가로구간의 교차로를 대상으로 하였으며, 본 연구의 도시부 신호교차로 유턴사고모형 개발을 위해 분석에 이용하는 교차로를 모두 포함하고 있다. 창원시 15개 가로구간의 3지 신호교차로에서 유턴 구역이 설치되지 않은 신호교차로와 유턴 구역이 설치된 신호교차로가 45개소와 61개소, 4지 신호교차로에서 각각 22개소와 80개소가 분석되었다.

#### 3.1 사고자료의 정규성 검정

창원시 3지, 4지 신호교차로를 대상으로 유턴 구역 설치 유무에 따른 두 집단의 교통사고 발생건수를 조사하고 샤피로-윌크(Shapiro-o-Wilk) 검정에 의해 자료분포의 정규성에 대한 통계적 검정을 수행하였다. 자료분포의 정규성이 확보되지 않으면 두 집단의 평균 차이 검정에 있어 t-test를 수행할 수 없다. 이러한 경우 비모수 검정 방법을 사용하여야한다. 샤피로-윌크 검정의 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \text{관찰값들이 정규분포를 따른다.}$$

$$H_1 : \text{관찰값들이 정규분포를 따르지 않는다.}$$

이 가설에 대한 검정통계량은 Eq. (1)과 같다.

$$W = \left\{ \frac{\sum (X_{(i)} - \bar{X})(m_i - \bar{m})}{\sum (X_{(i)} - \bar{X})^2 \sqrt{\sum (m_i - \bar{m})^2}} \right\} \quad (1)$$

여기서,  $X_{(i)}$ 는  $\{X_i\}$ 들의  $i$  번째 순서통계량이며,  $m_i$ 는  $i$  번째 표준정규점수이다. 이  $W$  통계량의 값  $w$ 는 0보다 크고 1보다 작다.

사고자료의 분포에 대한 정규성 분석의 결과는 Table 2와 같다. 3지 신호교차로에서 유턴구역이 설치되지 않는 45개소와 유턴이 허용되는 61개소의 교통사고건수 평균은 각각 9.51, 11.23이며 표준편차는 5.911, 7.037로 나타났다. 샤피로-윌크 검정을 통한 통계량과 유의확률에 의해 정규성을 검정한 결과, 유턴구역이 설치되지 않은 집단의 유의확률은 0.048로서 귀무가설을 기각하게 되어 정규분포를 따르지 않는 것으로 나타났으며, 유턴구역이 설치된 집단의 유의확률이 0.0038로 나타나서 표본의 정규성을 가정하

Table 2. Results of Normality Tests on Accidents

Section	Sample	Mean	Standard deviation	Shapiro-Wilk		
				Statistics	P-value	
3-legged	No U-turn	45	9.511	5.911	0.9495	0.0488
	U-turn	61	11.230	7.037	0.9373	0.0038
4-legged	No U-turn	22	13.591	9.704	0.8697	0.0077
	U-turn	80	18.625	10.545	0.9419	0.0012

는데 있어 극히 유의하지 못한 것으로 분석되었다.

유턴구역이 설치되지 않은 4지 신호교차로 22개소에서 발생한 교통사고 발생건수의 평균은 13.59, 표준편차는 9.704이며, 유턴구역이 설치된 80개 교차로의 교통사고발생 평균은 18.63, 표준편차는 10.545로 나타났다. 자료의 정규성 검정을 위한 유의확률이 각각 0.0077과 0.0012로 나타나서 검정통계량에 따른 유의확율은 표본의 정규분포를 가정할 수 없는 것으로 나타났다.

### 3.2 비모수검정에 의한 평균차 검정

이전의 결과에서 3지, 4지 신호교차로 유턴구역 설치 유무에 따른 사고건수자료의 정규성 가정이 충족되지 못하고 있음을 확인하였다. 이런 경우 모집단의 분포나 모형에 대해서 아무런 제약적인 가정을 가하지 않고 수행할 수 있는 통계적 검정방법들이 있다. 분포에 구애받지 않거나 모수에 대한 특정치를 가설로 하지 않는다는 의미에서 비모수적 통계방법이라 한다. 독립된 두 표본의 동일성 검정을 위한 통계학적 비모수적 방법으로는 맨-위트니(Mann-Whitney) U검정이 있으며, Wilcoxon 순위합 검정과 동일하다. 두 표본의 평균에 대한 동일성 비모수 검정의 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \text{두 집단의 평균은 동일하다}(M_1 = M_2).$$

$$H_1 : \text{두 집단의 평균은 동일하지 않다}(M_1 \neq M_2).$$

여기서,  $M_1$ 과  $M_2$ 는 각각 집단 1과 집단 2의 모집단 중앙값이다. 순위자료를 기초로 하는 비모수 검정은 두 집단의 자료를 합쳐서 순위점수들을 구한 다음, 다시 순위 점수 자료들을 원래의 집단들로 나누고 집단별 순위 점수들의 분포가 귀무 가설과 일치하는지의 여부를 가리는 것이다.

#### 3.2.1 사고발생유형별 발생건수 검정

3지 신호교차로 유턴구역 설치 유무에 따른 두 집단간 사고유형별 평균사고건수의 차이에 대한 비모수 검정의 분석 결과는 Table 3에 나타나 있다. 유턴구역 미설치 집단과 유턴구역 설치 집단의 전체 사고건수와 추돌사고, 측면직각사고, 회전사고에 대한 비모수 검정의 카이제곱( $\chi^2$ ) 통계량은 각각 1.5514, 0.7622, 0.0586, 0.60

Table 3. Mann-Whitney U Tests by Types at 3-legged Intersections

Sectio	Wilcoxon 2-sample test			Mann-Whitney U	
	Sta.(W)	Z	P-value	Sta. ( $\chi^2$ )	P-value
Total	2213.0	-1.2424	0.2141	1.5514	0.2129
Rear-end	2272.0	-0.8698	0.3844	0.7622	0.3826
Side right-angle	2370.0	-0.2388	0.8112	0.0586	0.8087
Rotation	2286.5	-0.7766	0.4734	0.6082	0.4355

Table 4. Mann-Whitney U Tests by Types at 4-legged Intersections

Sectio	Wilcoxon 2-sample test			Mann-Whitney U	
	Sta.(W)	Z	P-value	Sta. ( $\chi^2$ )	P-value
Total	865.5	-2.1740	0.0297*	4.7441	0.0294*
Rear-end	985.5	-1.2007	0.2298	1.4516	0.2283
Side right-angle	840.5	-2.3856	0.0171*	5.7105	0.0169*
Rotation	886.0	-2.0191	0.0435*	4.0932	0.0431*

Notes : \* are significant at 95% confidence level using a two-tailed test.

82이며, 유의확율은 0.2129, 0.3826, 0.8087, 0.4355로 나타났다. 그러므로 신뢰수준 95% ( $\alpha=0.05$ )에서 통계적 유의성을 나타내지 못하고 있으며, 3지 신호교차로의 유턴구역 설치 유무에 따른 사고유형별 발생건수는 차이가 없다고 결론 내릴 수 있다.

4지 신호교차로에서의 사고유형별 비모수 검정 분석결과는 Table 4에 나타나 있다. 전체사고건수와 측면직각사고, 회전사고에 있어서 두 집단간의 평균 차이는 유의한 것으로 분석되며, 세 가지 사고유형 비모수 검정 통계량의 유의확율이 각각 0.0294, 0.0169, 0.0431로 나타나서 신뢰수준 95% ( $\alpha=0.05$ )에서 4지 신호교차로 유턴구역 설치 유무에 따른 사고유형별 발생건수는 차이가 있는 것으로 해석할 수 있다. 추돌사고의 경우에는 비모수 검정에 의한 카이제곱( $\chi^2$ )검정 통계량이 1.4516로서 유의확율은 0.2283의 값을 보여 두 집단 평균의 동일성 검정에 대해 귀무가설을 채택하여 차이가 없는 것으로 해석된다.

#### 3.2.2 사고발생위치별 발생건수 검정

3지 신호교차로에서의 유턴구역 설치 유무에 따른 두 집단간 사고발생위치별 평균사고건수의 동일성을 확인하기 위한 비모수 통계분석의 결과는 Table 5에 나타나 있다. 유입부, 유출부, 교차로 내로 구분된 사고위치별 유턴구역 미설치 집단과 유턴구역 설치 집단의 비모수 검정 카이제곱( $\chi^2$ ) 통계량은 각각 0.9436, 2.3794, 0.1910로 나타났으며, 그에 따른 유의확율이 0.3314, 0.1229, 0.6621로 나타나서 신뢰수준 95%( $\alpha=0.05$ )에서 3지 신호교차로의 유턴설치 유무에 따른 사고위치별 평균발생건수의 차이는 없는

**Table 5. Mann-Whitney U Tests by Locations at 3-legged Intersections**

Section	Wilcoxon 2-sample test			Mann-Whitney U	
	Sta.(W)	Z	P-value	Sta.( $\chi^2$ )	P-value
Entry section	2256.5	-0.9682	0.3330	0.9436	0.3314
Exit section	2172.5	-1.5393	0.1237	2.3794	0.1229
Inside intersection	2475.0	0.4338	0.6644	0.1910	0.6621

**Table 6. Mann-Whitney U Tests by Locations at 4-legged Intersections**

Section	Wilcoxon 2-sample test			Mann-Whitney U	
	Sta.(W)	Z	P-value	Sta.( $\chi^2$ )	P-value
Entry section	902.5	-1.8783	0.0603	3.5432	0.0598
Exit section	749.5	-3.1587	0.0016*	10.0034	0.0016*
Inside intersection	956.0	-1.4436	0.1489	2.0958	0.1477

것으로 해석된다.

4지 신호교차로 경우 유출부에서 비모수 검정에 의한 카이제곱( $\chi^2$ )검정 통계량이 10.0034, 유의확률은 0.0016의 값으로 나타나 신뢰수준 95% ( $\alpha=0.05$ )에서 통계적으로 두 집단의 평균사고발생 건수에서 차이가 있는 것으로 해석된다. 유입부와 교차로내에서는 유턴구역 설치 유무에 따른 평균사고발생 건수 차이는 없는 것으로 분석되었다.

비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정으로 사고유형별, 사고위 치별 두 집단의 평균사고발생건수의 차이에 대한 검정을 수행한 결과, 3지 신호교차로에서는 사고유형별, 사고위 치별 두 집단의 평균사고건수는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 4지 신호교차로의 경우 사고발생유형에서는 전체사고건수, 측면직각사고건수, 회전 사고건수에서 차이가 있으며, 사고발생위 치에서는 유출부에서 두 집단간의 평균에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 유턴구역 설치 집단이 더 많은 사고가 발생한 것으로 분석되었다.

## 4. 로지스틱 회귀분석 유턴사고모형 개발

### 4.1 자료수집 및 변수선정

#### 4.1.1 연구대상 교차로의 선정

창원시 주요 가로구간의 특성에 대해 도로폭, 차로수, 신호교차로 유무, 유턴 설치 신호교차로 개소수 등을 조사하였으며, 신호교차로의 유턴 설치형식에 따라 좌회전과 유턴이 공용되는 대기차로공용, 유턴차로만 설치된 유턴전용, 직진과 유턴의 직진차로공용으로 구분하고 연구의 시간적 범위 동안 개선공사 수행으로 기하구조의

여건이 변화된 지점을 제외한 내측 1차로가 좌회전과 유턴이 공용되는 대기차로공용 3지 신호교차로 36개소와 4지 신호교차로 49개소를 연구대상 교차로로 최종 선정하였다.

#### 4.1.2 자료수집

2010년부터 2012년까지 창원시에서 발생한 교통사고 자료를 경남지방경찰청 교통경찰업무관리시스템(TCS)를 이용하여 내측 1차로가 좌회전과 유턴이 공용되는 3지 신호교차로와 4지 신호교차로에서 사고관련 1, 2차량의 진행상태가 유턴행위에서 발생한 교통사고만을 대상으로 수집하였다. 도로의 기하구조는 기본적으로 도로교통공단의 현장측량자료를 이용하고 보편적인 내용은 현장조사를 통해 실측하였다. 도로교통환경 요인은 문헌자료와 현장조사를 병행하여 구축하였으며, 문헌조사는 창원시 관할 경찰서의 신호교차로 신호현시와 신호시간, 교통량 자료는 도로교통공단에서 수행한 ‘창원시 주요 교차로 교통량조사 보고서’를 바탕으로 하였다.

#### 4.1.3 변수 선정

로지스틱 회귀분석에 의한 도시부 신호교차로 유턴사고모형 개발을 위해 3지 신호교차로에서는 선행연구 고찰과 기존 문헌에 대한 검토에서 파악된 다수의 관련 변수 중 교통조건과 도로조건, 운영조건 조사에 기초하여 유턴사고의 요인으로 작용한다고 판단 되는 15개의 독립변수를 선정하였다. 4지 신호교차로에서는 버스 정류장의 측면간섭을 고려하기 위해 버스정류장면수가 독립변수로 추가되었다. 종속변수는 이항 로지스틱 회귀분석을 위해 교통사고 건수 자료를 ‘0’과 ‘1’의 사고발생 유무로 구분하였으며, Table 7에서 선정된 독립변수와 종속변수의 산식, 변수설명, 단위 등을 나타내었다.

## 4.2 기술통계 및 상관분석

### 4.2.1 기술통계분석

본 연구의 대상지점인 창원시 3지 신호교차로와 4지 신호교차로에서의 유턴사고 발생지점과 무발생지점의 특성을 파악하기 위해 앞서 선정된 독립변수별 평균, 표준편차를 비교하는 기술통계분석을 수행하였다. 3지 신호교차로 36개소 중 사고발생 교차로는 20개소이며, 무발생 교차로는 16개소이다. 4지 신호교차로 49개소 중 사고발생 교차로는 33개소이며, 무발생 교차로가 16개소로 나타나서 사고무발생 교차로가 각각 전체의 44.4%와 32.7%를 차지하여 다소 적은 것으로 조사되었다. 자료의 중심 경향 측도인 평균(mean), 평균을 기준으로 퍼짐의 측도인 표준편차(standard deviation)를 Table 8에서 나타내었다.

Table 7. Definition of Independent and Dependent Variables

Variable(independent)	Symbol	Description(Unit)
ADT(Average daily traffic)	$X_1$	ADT = Peak hour volume * average correction factor(veh/day)
Conflict traffic	$X_2$	(Opposing straight veh.+ approach right-turning veh.) × u-turn veh.(veh/day)
Opposing road width	$X_3$	The width of opposing road(m)
Opposing lane number	$X_4$	The number of opposing lane(ea)
Crossing distance	$X_5$	Distance from U-turn beginning point to stop line of approach lane(m)
U-turn line length	$X_6$	Permissive length for U-turn on a left-turn waiting lane(m)
Signal phase number	$X_7$	The number of signal phase at 4-legged signalized intersection(ea)
U-turn signal time ratio	$X_8$	The ratio of the signal time when u-turn is permitted(%)
Turning vehicles ratio	$X_9$	Composition ratio of left and right turn vehicles in ADT(%)
Heavy vehicles ratio	$X_{10}$	Composition ratio of heavy vehicles in ADT(%)
U-turn vehicles ratio	$X_{11}$	U-turn vehicles ÷ (U-turn vehicles + left turn vehicles) × 100(%)
Longitudinal grade	$X_{12}$	Longitudinal grade the lane approaching the u-turn permitted section(%)
Crosswalk number	$X_{13}$	Number of crosswalk at intersection areas(ea)
Access road length	$X_{14}$	Distance from U-turn beginning point to access road(m)
Traffic passing speed	$X_{15}$	85% traffic speed of straight passing vehicle(kph)
Number of berths	$X_{16}$	Number of berths on bus stop at opposing lane effect areas(ea)
Variable(dependent)	Symbol	Description(Unit)
Traffic accident number	$Y_1$	Number of U-turn traffic accident(ea)

Table 8. Comparison of Variable Statistics

Variable	3-legged intersection				4-legged intersection			
	Occurrence		No occurrence		Occurrence		No occurrence	
	Mean	S:D	Mean	S:D	Mean	S:D	Mean	S:D
$X_1$	58,763	16,040	59,342	17,283	64,935	18,509	63,153	16,229
$X_2$	60,443	43,134	27,107	8,621	90,943	75,506	24,112	12,069
$X_3$	11.56	1.45	11.78	1.25	11.46	1.20	11.91	1.18
$X_4$	3.25	0.44	3.44	0.51	3.42	0.56	3.31	0.48
$X_5$	38.89	9.70	37.86	8.54	50.33	12.12	47.21	11.02
$X_6$	24.21	7.96	22.84	8.22	27.34	9.96	26.96	9.29
$X_7$	3.00	0.46	2.81	0.40	4.79	0.55	4.63	0.62
$X_8$	0.38	0.08	0.37	0.08	0.36	0.09	0.37	0.06
$X_9$	20.46	8.99	15.04	5.42	22.00	7.38	27.63	12.62
$X_{10}$	7.92	2.73	8.33	3.37	7.10	3.31	7.93	4.57
$X_{11}$	0.32	0.23	0.26	0.18	0.33	0.20	0.23	0.17
$X_{12}$	-0.28	2.55	1.68	2.60	-0.31	1.17	0.52	1.57
$X_{13}$	1.90	0.45	1.88	0.34	3.12	0.99	3.44	0.73
$X_{14}$	167.50	134.26	147.38	97.26	156.13	125.89	224.13	132.18
$X_{15}$	60.42	8.72	61.44	5.86	57.89	8.10	59.25	4.94
$X_{16}$	-	-	-	-	0.85	0.91	0.38	0.50

4.2.2 상관분석

선정된 독립변수와 종속변수의 상관관계를 Table 9에서 나타내었다. 3지 신호교차로에서는 종속변수와 상관관계가 높은 독립변수로 상충교통량( $X_2$ ), 회전차량비율( $X_9$ ), 종단경사( $X_{12}$ )가 도출되었으며, 종단경사( $X_{12}$ )에서 (-)의 상관관계를 보이고 나머지는 (+)의 상관관계를 보였다. 4지 신호교차로에서도 3지 신호교차로에서와 같이 종단경사( $X_{12}$ )와 상충교통량( $X_2$ )에서 유사한 상관관계를 보이고 있다. 상충교통량( $X_2$ )은 신뢰수준 99% ( $\alpha=0.01$ )에서도 상관관계를 보인 반면 기존 연구되어 나타났던 신호교차로 사고모형의 주요 변수인 일평균교통량( $X_1$ )은 상관계수가 극히 무의미한 수준으로 나타나서 유턴사고는 교차로 통행의 전체 교통량과는 상관이 없는 것으로 해석된다.

일평균교통량( $X_1$ ), 대향차로수( $X_4$ ), 유턴현시율( $X_8$ ), 회전차량비율( $X_9$ ), 횡단보도수( $X_{13}$ ), 접근로길이( $X_{14}$ )의 독립변수는 3지 신호교차로와 4지 신호교차로에서 상관계수의 부호가 다르게 나타나고 있다. 이는 독립변수 자체의 영향요인이기 보다는 신호교차로 유형별 유턴사고 발생지점과 무발생지점의 평균값의 차이에 있다고 해석된다. 예를 들어, 일평균교통량의 경우 3지 신호교차로에서는 사고무발생지점의 평균값이 높게 나타나지만 4지 신호교차로의 경우는 유턴사고 발생지점의 평균값이 높게 나타나고 있음을

Table 9. Correlation of Dependent and Independent Variable

Independent variable	3-legged intersection		4-legged intersection	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
$X_1$	-0.017	0.917	0.047	0.744
$X_2$	0.461**	0.004	0.454**	0.001
$X_3$	-0.082	0.632	-0.178	0.219
$X_4$	-0.197	0.247	0.099	0.497
$X_5$	0.057	0.741	0.125	0.389
$X_6$	0.085	0.618	0.018	0.898
$X_7$	0.215	0.207	0.135	0.352
$X_8$	0.034	0.841	-0.066	0.650
$X_9$	0.341*	0.041	-0.276	0.054
$X_{10}$	-0.069	0.688	-0.105	0.471
$X_{11}$	0.141	0.410	0.260	0.070
$X_{12}$	-0.362*	0.029	-0.289*	0.043
$X_{13}$	0.031	0.854	-0.163	0.262
$X_{14}$	0.085	0.618	-0.246	0.087
$X_{15}$	-0.068	0.691	-0.089	0.539
$X_{16}$	-	-	0.273	0.057

otes: \*\* are significant at 99% confidence level, \* are significant at 95% confidence

Table 8에서 볼 수 있다.

종속변수와 독립변수간에 높은 상관관계를 보이는 것은 분석에 있어 유리하지만 독립변수간에 높은 상관관계가 나타나게 되면 다중공선성의 존재를 의심할 필요가 있으며, 이는 추정량 분산이 과대해지는 결과를 가져오므로 최적모형 구축시 제거되어야 한다. Table 10에 나타난 바와 같이 독립변수들간의 상관관계를 바탕으로 다중공선성이 발생할 것으로 판단되는 독립변수는 사고모형을 개발할 때 변수선택에서 제외하였다.

4.3 유턴사고모형 개발

4.3.1 3지 신호교차로 모형해석

15개의 독립변수 중 단계적 변수선택에 의해 3개의 변수가 유의한 것으로 분석되었으며, 개발된 3지 신호교차로 이항 로지스틱 회귀모형을 식으로 표현하면 다음의 Eq. (7)과 같고 도출된 각각의 독립변수에 대한 통계값은 Table 11과 같다.

$$\log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = 0.657X_2 - 1.887X_4 - 0.356X_{12} \quad (7)$$

Table 10. Multicollinearity of Independent Variables

Independ.	3-legged intersection		4-legged intersection		
	Multicol-linearity	Coeff.	Independ.	Multicol-linearity	Coeff.
$X_1$	$X_4$	0.39 *	$X_1$	$X_4$	0.50 **
	$X_{10}$	0.53 **		$X_4$	0.53 **
$X_2$	$X_{11}$	0.39 *	$X_2$	$X_{11}$	0.58 **
$X_3$	$X_4$	0.59 **		$X_{14}$	-0.45 **
$X_4$	$X_{10}$	0.49 **	$X_3$	$X_4$	0.66 **
$X_5$	$X_7$	0.43 **	$X_4$	$X_{11}$	0.34 *
	$X_{11}$	-0.40 *	$X_6$	$X_9$	0.34 *
$X_7$	$X_8$	0.48 **	$X_7$	$X_{12}$	-0.39 **
	$X_{13}$	0.60 **	$X_8$	$X_9$	0.34 *
$X_8$	$X_{13}$	0.57 **	$X_9$	$X_{12}$	0.31 *
$X_9$	$X_{10}$	-0.41 *	$X_{11}$	$X_{14}$	-0.51 **
	$X_{11}$	-0.50 **	$X_{13}$	$X_{15}$	-0.34 *

Table 11. Logistic Regression Analysis at 3-legged Intersections

Section	$\beta$	S.E	Wald	DF	P-value	Exp( $\beta$ )
$X_2$	0.657	0.276	5.695	1	0.017	1.930
$X_4$	-1.887	0.839	5.060	1	0.025	0.152
$X_{12}$	-0.356	0.182	3.814	1	0.050	0.701

회귀계수  $\beta$ 값에서 상충교통량( $X_2$ )은 (+), 대향차로수( $X_4$ )와 종단경사( $X_{12}$ )는 (-)의 부호로 나타나고 신뢰수준 95%( $\alpha=0.05$ )에서 유의한 것으로 분석된다.  $\text{Exp}(\beta)$ 은 지수화된 계수를 의미하며, 모형해석의 중요한 요소이다. 다른 독립변수의 변화가 없다는 전제하에 특정 독립변수가 1단위 증가할 경우 사고가 발생할 확률이 높아지는 정도를 나타내는 것으로 해석된다. 그러므로 사고발생에 가장 큰 영향을 미치는 독립변수는 상충교통량( $X_2$ )으로서 사고무발생에 대해 사고발생확률이 1.93배 높아진다고 해석된다. 다음으로 종단경사( $X_{12}$ ), 대향차로수( $X_4$ ) 순으로 사고발생 확률에 높은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.  $\text{Exp}(\beta)$ 가 1.0을 넘게 되면 (+)의 영향력, 1.0 미만이면 (-)의 영향력을 갖는다고 해석되며, (+)의 계수 값일 경우 절대값이 높을수록 영향력이 높은 것이다. 로지스틱 회귀분석에서는 이항분포를 모형화하므로 자료분포가 정규분포를 따르지 않는다. Wald 통계량은 (회귀계수/표준오차)<sup>2</sup>에 의해 산출되며,  $\chi^2$ 분포에 근사시켜 p-value를 계산하게 된다. 결국 Wald 값이 크면 클수록 p-value는 작아지고 회귀계수는 유의한 것으로 해석된다.

4.3.2 3지 신호교차로 모형적합도 검증

로그우도비 제곱값은 로그우도 함수비의 제곱값에 해당한다. Table 12에서와 같이  $\chi^2$ 통계량은 11.693, 자유도는 2, 유의확률이 0.00289로 나타나서 신뢰수준 95% ( $\alpha=0.05$ )에서 유의한 것으로 해석된다. Hosmer & Lemeshow 검정에 의하면  $\chi^2$ 통계량은 6.3933, 자유도 5에서의 p-value는 0.270으로 유의확률 0.05보다 커서 추정된 모형이 자료를 적절하게 적합시키지 못한다는 가설을 기각하므로 모형은 적합하다고 할 수 있다. 나겔케르케(Nagelkerke)의 유사결정계수(Pseudo- $R^2$ )는 0.236으로 나타났다. 앞서 기술된 바와 같이 이 값은 로지스틱 회귀모형과 같은 일반화선형모형의

Table 12. Model Goodness of Fit at 3-legged Intersections

Section	$\chi^2$	DF	P-value
Squared log-likelihood ratio	11.693	2	0.003
Hosmer & Lemeshow	6.3933	5	0.270

Nagelkerke's Pseudo- $R^2 = 0.236$

Table 13. Hit Ratio at 3-legged Intersections

Section		Predicted value		Hit-Ratio (%)
		No accident	accident	
Observed value	No accident	11	5	68.75
	Accident	5	15	75.00
Total(%)		-	-	72.22

결정계수를 일반화하는데 있어 이산모형의  $R^2$ 보다 작은 값의 최대값을 갖도록 조정해주는 의미이다. 그러므로 모형을 평가할 때 참고하는 수준이지 결정계수에 의한 절대적 평가를 피해야 한다.

적중률(Hit-ratio)에 있어서는 적중에 대한 임계값 0.5를 기준으로 하였을 때 사고무발생 전체 16개 중 11개가 사고무발생으로 예측 분류되어 68.75%의 적중률을 보였고 사고발생에 대해서는 20개 중 15개가 적중되어 75.0%의 적중률을 보여 모형 전체의 적중률은 72.22%로 나타났다.

4.3.3 4지 신호교차로 모형해석

4지 신호교차로에서는 16개의 독립변수 중 3개가 유의한 것으로 분석되었으며, 이항 로지스틱 회귀분석에 의해 개발된 사고모형은 Eq. (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = 0.951X_2 - 1.683X_4 - 1.060X_{13} \quad (8)$$

도출된 각각의 독립변수에 대한 통계값은 Table 14에 나타나 있다. 상충교통량( $X_2$ ), 대향차로수( $X_4$ ), 횡단보도수( $X_{13}$ )의 회귀계수  $\beta$ 값은 각각 0.0056, 0.0367, 0.0291로서 신뢰수준 95%( $\alpha=0.05$ )에서 유의한 것으로 나타났다. 사고발생확률에 대한 이항 로지스틱 모형이 종속변수를 잘 설명하고 있음을 보여준다. 교통사고 발생에 상충교통량( $X_2$ )은 (+), 대향차로수( $X_4$ )와 횡단보도수( $X_{12}$ )는 (-)의 요인으로 작용하는 것을 알 수 있다. 회귀계수  $\beta$ 값을 지수화한  $\text{Exp}(\beta)$ 에서는 상충교통량( $X_2$ )이 가장 높은 2.589의 값을 보이며, 이는 다른 독립변수의 변화가 없을 경우 1단위 증가함에 따라 사고무발생에 대해 사고발생의 확률이 2.589배 증가하는 것으로 해석된다. 대향차로수( $X_4$ )와 횡단보도수( $X_{12}$ )는  $\text{Exp}(\beta)$

Table 14. Logistic Regression Analysis at 4-legged Intersections

Section	$\beta$	S.E	Wald	DF	P-value	$\text{Exp}(\beta)$
$X_2$	0.951	0.344	7.664	1	0.0056	2.589
$X_4$	-1.683	0.806	4.363	1	0.0367	0.186
$X_{13}$	-1.060	0.488	4.764	1	0.0291	0.345

Table 15. Model Goodness of fit at 4-legged Intersections

Section	$\chi^2$	DF	P-value
Squared log-likelihood ratio	12.476	2	0.002
Hosmer & Lemeshow	8.499	4	0.07

Nagelkerke's Pseudo- $R^2 = 0.202$



Table 16. Hit Ratio at 4-legged Intersections

Section		Predicted value		Hit-Ratio (%)
		No accident	accident	
Observed value	No accident	8	8	50.00
	Accident	3	30	90.91
Total(%)		-	-	78.95

Table 17. Accident Factors of Developed Model

Section	3-legged intersection	4-legged intersection
Common variables	Conflict volume( $X_2$ ), Opposing lane number( $X_4$ )	
Specific variables	Longitudinal grade( $X_{12}$ )	Crosswalk number( $X_{13}$ )

값이 1보다 작아서 변수값이 증가할수록 사고무발생에 확률이 낮아지는 것으로 분석된다.

#### 4.3.4 4지 신호교차로 모형적합도 검증

로그우도비 제곱값의  $\chi^2$ 검정 통계량은 12.476, 자유도 2에서의 유의확률 값이 0.002로 나타나서 신뢰수준 95% ( $\alpha=0.05$ )에서 통계적으로 유의한 것으로 해석된다. Hosmer & Lemeshow 검정에 의한  $\chi^2$ 통계량은 8.499이며 자유도 4에서의 p-value가 0.07로서 이는 유의확률 0.05보다 커서 귀무가설을 채택하여 모형은 적합하다고 할 수 있다. 로그우도비 제곱값과 Hosmer & Lemeshow 검정에 의하면 개발된 이항 로지스틱 모형이 변수들을 잘 설명하고 있는 것으로 분석된다.

구축된 이항 로지스틱 모형에 의해 사고발생 유무에 대한 적중률을 분류한 내용이 Table 16에 나타나 있다. 적중에 대한 임계값 0.5를 기준으로 하였을 때 사고발생 관측치 33개소 중 30개소를 예측함으로써 90.91%의 적중률을 보였고 사고무발생에 대해서는 50.0%의 적중률, 모형 전체의 적중률은 78.95%로 나타났다.

Table 17은 사고모형 구축에 따른 사고발생요인 독립변수를 공통변수와 특정변수로 나누어 비교하고 있다. 3지 신호교차로와 4지 신호교차로 유턴 교통사고에 영향을 미치는 공통변수는 상충교통량과 대향차로수이며, 3지 신호교차로의 종단경사와 4지 신호교차로의 횡단보도수가 특정변수로 도출되었다.

### 5. 결론

본 연구는 도시부 신호교차로에서의 유턴과 관련하여 발생하는 교통사고의 모형을 개발하는 것이 주요 목적이다. 창원사내 유턴 설치에 의한 교차로 운영이 가능한 편도 3차로 이상의 3지, 4지 신호교차로를 대상으로 로지스틱 회귀분석에 의한 교통사고모형을 개발하였다.

사고모형 개발 이전에 유턴구역이 설치된 교차로와 설치되지

않은 교차로의 교통사고 발생에 차이가 있는지를 검증하기 위해 사고발생건수에 대해 사고유형별, 사고위치별로 분석하였다. 이 분석에서 비모수 검정인 맨-유티니(Mann-Whitney) U 검정으로 유턴구역 설치 유무에 따른 평균사고건수의 차이 검정을 수행한 결과 3지 신호교차로에서는 두 집단간의 사고유형별, 사고위치별 교통사고건수에 차이가 없는 것으로 나타났으며, 4지 신호교차로에서는 전체사고건수, 측면직각사고건수, 회전사고건수에서 두 집단간의 평균사고건수에 차이가 있으며 사고발생위치에서는 유출부에서 차이가 있는 것으로 나타나 유턴구역 설치 집단의 사고발생건수가 많다고 결론 내릴 수 있었다.

교통사고건수에 대한 반응 척도를 이항(사고발생, 사고무발생)으로 분류하고 로지스틱 회귀분석에 의해 교통사고모형을 구축하였다. 3지 신호교차로에 대한 이항 로지스틱 모형추정 결과 교통사고 발생확률에 (+)의 영향을 미치는 변수로는 상충교통량이고, 대향차로수, 종단경사는 (-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 4지 신호교차로에서도 상충교통량이 사고발생확률에 (+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 대향차로수나 횡단보도수는 (-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

유턴 교통사고 예측모형의 개발에 따라 도출된 주요한 독립변수를 고려할 때 도시부 신호교차로에서 유턴 운영을 위해서는 유턴 구역 대향차로수가 사고무발생 교차로의 평균차로수인 3.5개 차로 이상이며, 접근부의 종단선형이 하향경사가 아닐 경우에 설치를 고려할 수 있을 것으로 제안된다. 또한 유턴 차량의 많은 비율이 횡단보도 시간을 이용하여 회전하는 점을 고려하여 차량의 유턴 시기에 대한 지시표지를 설치할 필요가 있다.

### References

- Adams, J. C. and Joseph, E. H. (1993). *Effects of U-turn on left turn saturation flow rates*, TRB.
- Carter Daniel. (2005). *Operational and safety effects of U-turns at signalized intersection*, TRB.
- He, M., Liu, L. and Wei, H. (2009). "Characteristics signalized U-turn movements in headway distribution, capacity, and control delay." *Paper presented at the 88th Annual Meeting of the TRB*, Washington D. C.
- Park, B. H. (2009). "Logistic regression accident models by location in the case of Cheong-ju 4-Legged signalized intersections." *Journal of Korea Society of Road Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp. 17-25.
- Park, G. W. (2009). *Development of U-Turn design criteria at urban signalized-intersection*, Ph.D. Dissertation, University of Chonnam National.
- Yang, X. K. (2002). *Capacity estimation of U-turn movement at median openings using simulation*, ITE.