

# 도시부 4지 신호교차로 유턴 사고모형 개발

## Development of the U-turn Accident Model at 4-Legged Signalized Intersections in Urban Areas

강종호 Kang, JongHo	정회원 · 도로교통공단 울산경남지부 과장 · 공학박사 · 주저자 (E-mail : gobukson@naver.com)
김경환 Kim, KyungWhan	정회원 · 경상대학교 도시공학과 교수 · 환경및지역발전연구소장 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : kwkim@gnu.ac.kr)
하만복 Ha, ManBok	정회원 · 경상대학교 환경및지역발전연구소 연구원 · 공학박사 (E-mail : doro3000@hanmail.net)
김성문 Kim, SeongMun	경상대학교 석사과정 · BK21+ 창조형 중소도시재생 전문인력 양성사업팀 (E-mail : munimusic@naver.com)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of this study is to develop the U-turn accident model at 4-legged signalized intersections in urban areas.

**METHODS :** In order to analyze the characteristics of the accidents which are associated with U-turn operation at 4-legged signalized intersections in urban areas and develop an U-turn accident model by regression analysis, the tests of overdispersion and zero-inflation are conducted about the dependent variables of number of accidents and EPDO (Equivalent Property Damage Only).

**RESULTS :** As their results, the Poisson model fits best for number of accident and the ZIP (Zero Inflated Poisson) fits best for EPDO, the variables of conflict traffic, width of opposing road, traffic passing speed are adopted as independent variable for both models. The variables of number of bus berths and rate of U-turn signal time at which the U-turn is permitted are adopted as independent variable only for EPDO.

**CONCLUSIONS :** These study results suggest that U-turn would be permitted at the intersection where the width of opposing road is wider than 11.9 meters, the passing vehicle speed is not high and U-turn operation is not hindered by the buses stopping at bus stops.

### Keywords

traffic accident, U-turn accident model, overdispersion, zero-inflated, countable data

Corresponding Author : Kim, KyungWhan, Professor  
Department of Urban Engineering, Gyeongsang National University,  
501 Jinju-Daero, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, 660-701, Korea  
Tel : +82.55.772.1771 Fax : +82.55.772.1779  
E-mail : kwkim@gnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ijhe.or.kr/

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 17, 2014 Revised Mar. 18, 2014 Accepted Mar. 24, 2014

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

경찰청의 교통운영체제 선진화 방안에서는 좌회전 교통류와 관련된 현황 및 문제점을 분석하고 좌회전 교통류 처리방안 중 좌회전 제한을 통한 교차로 용량증대 방안을 제시하면서 제한된 좌회전 교통류의 처리방안으로

서 U-turn 설치기준을 정립하고자 하였다. U-turn이 도시 간선도로에서의 새로운 지체완화 방안으로 고려됨에 따라 지체시간, 통행거리 및 주행속도가 주요 교통평가지표로서 제시되었으나 교통사고와의 관계는 고려되지 못하였다. U-turn 교통사고 예측모형의 개발은 그 필요성에도 불구하고 교통사고 관련 변수들의 자료수집

과 분석이 용이하지 않고 자료의 양이 충분하지 않아 국내 연구가 수행된 바 없는 것으로 조사되었다.

본 연구는 도시부 신호교차로를 대상으로 도로환경요인과 교통사고와의 상관관계 분석을 통한 U-turn 사고모형을 개발하는데 그 목적이 있다. 선정된 독립변수와 종속변수에 대해 기술통계분석을 수행하여 U-turn이 허용되는 신호교차로에서의 변수특성 및 교통사고발생 특성을 분석하고 도출된 결과를 기초로 도시부 신호교차로에서의 U-turn과 관련한 사고의 예측을 위한 모형을 개발하였다.

## 1.2. 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 창원시내 신호교차로 중 대향차로가 3차로 이상인 4지 교차로에서 주도로 내측차로가 U-turn과 좌회전이 공용으로 허용되는 교차로로 공간적 범위를 한정하였다. 창원시에서 U-turn이 허용되는 차로는 대다수가 내측 좌회전 대기차로이므로 공간적 범위설정에는 별 무리가 없을 것으로 판단된다. 충분한 교통사고건수와 다양한 사고특성 정보를 수집하기 위해 시간적 범위로는 2010년에서 2012년까지의 3개년을 설정하였다. 경남지방경찰청 교통경찰업무관리시스템(TCS)의 교통사고자료 11,946건을 이용하였으며, 분석기간 동안 교통운영 및 기하구조의 변화가 없었던 4지 신호교차로 49개소가 분석되었다. 교통사고 자료와 현장 조사된 기하구조, 교통량 자료는 EXCEL 프로그램을 이용하여 코딩되었으며, 상관분석 및 사고모형개발을 위한 통계패키지는 SPSS 12와 NLOGIT 3.0 프로그램을 이용하였다.

본 연구의 순서는 선행연구를 고찰하고 U-turn 사고 발생과 관련 있을 것으로 예상되는 독립변수를 선정하였다. 가산자료의 특성을 반영한 교통사고건수와 EPDO(Equivalent Property Damage Only)를 종속변수로 선정하였다. 사고예측모형 개발을 위해 선정된 지점을 대상으로 Poisson 모형과 음이항 모형, ZIP(Zero Inflated Poisson), ZINB(Zero Inflated Negative Binomial) 모형에 대해 과대산포 및 제로팽창검정을 수행하여 최적의 U-turn 사고모형을 도출하였다. U-turn 사고모형에 대해 우도비, RMSE, MPB, MAD, Pearson's R 값으로 개발된 모형의 신뢰성과 적합성을 검증하였다.

## 2. 선행 연구의 고찰

### 2.1. 선행연구

U-turn차로 운영과 분석, 신호교차로 사고모형에 관

한 선행연구를 고찰하여 사고모형개발에서의 본 연구의 차별성에 대해서 살펴보고자 한다. 이정환(2007)은 U-turn 운영이 차량의 소통효율을 향상시킬 수 있지만 설치기준이 명확하지 않아 설치 및 운영에 많은 문제점이 있음을 제기하고 실제 교차로에서의 U-turn차량의 행태조사를 통한 상충형태 분류와 대기행렬이론, 간격수락이론을 바탕으로 U-turn 허용구간의 적정길이를 산정하였다. 박호현(2007)은 U-turn이 허용되는 대향차로가 3~4차로인 신호교차로 10개소를 대상으로 비침투시간대 U-turn 허용구간에서의 후미추돌, 측면충돌, 직각충돌의 3가지 형태의 상충을 분석하였다. 결과를 바탕으로 U-turn 허용구간의 설계기준을 위해 고려해야 하는 운전자의 운전행태, 교통조건, 운영조건, 도로조건 등을 제시하였다.

Stamatiadis(2004)는 기존에 U-turn이 설치되어 운영되고 있는 지역과 새로 U-turn을 설치한 지역을 대상으로 교통사고 자료를 습득하여 신호교차로에 설치된 U-turn차로의 안전성을 평가하고 가이드라인을 제시하였다. 지체도와 교통량에 따른 시뮬레이션으로서 U-turn이 좌회전 허용구간보다 더 효율적이라는 사실을 확인하였고, U-turn 지역 설치 시 권장하는 사항으로 예상되는 총 U-turn차량보다 20% 더 많게 설치하는 것이 바람직하다는 것을 확인하였다. Ynag(2001)은 U-turn 허용구간에서 U-turn차량의 임계수락간격을 제시하고 비교하였다. 플로리다 템파베이 지역을 대상으로 한 연구결과에서 U-turn차량의 임계간격은 5.8~7.4초의 범위를 보였다. U-turn차량 간격의 분포를 통해 운전자의 행동은 U-turn 간격의 수치에 따라 큰 영향을 받았고 신호교차로와 U-turn 허용지점과의 거리는 운전자의 행동과 밀접한 관련이 있는 것으로 분석하였다. He(2009)는 도시부 가로구간에서 좌회전금지 신호교차로의 증가가 U-turn 이동에 영향을 미치고 있음을 주목하고 전용차로와 보호현시가 주어지는 교차로를 대상으로 U-turn 유출 차두간격에 대해 연구하였다. 대기행렬 차량위치별로 U-turn 유출 차두간격과 8번째 대기차량에 의한 포화차두간격을 제시하였다. 회전반경과 성별 구분이 포화차두간격의 유의한 요소로 나타나고 있음을 제시하였다.

### 2.2. U-turn 차로 설치기준

U-turn이란 도로를 주행하는 자동차가 U자 모양으로 돌아 방향을 바꾸는 운전행위이다. 교차로에서 좌회전 시 직접 통행하지 않고 직진 이후 반대편 차로로 통행방향을 바꾸어 회전한 후 우회전을 통하여 이동하는

것을 말한다. 우리나라의 경우 도로에서 발생하는 교통상의 모든 위협과 장애를 방지하기 위해 제정된 도로교통법상에는 U-turn에 관한 내용이 포함되어 있지 않다. U-turn차로의 설치에 대한 기준 및 권장사항과 예시(Fig. 1 참조)는 경찰청의 교통노면표시 설치관리매뉴얼에서 제시하고 있는데 내용은 다음과 같다.

기준 : U-turn 구역선은 편도 폭 9m 이상의 도로에서 인접교차로간 거리 및 신호주기 등 주변 교통여건을 감안하여 자동차의 U-turn이 허용된 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치한다. U-turn 허용으로 인한 교통장애 및 사고위험이 예상되는 지점은 제외한다. 교통안전표지(311)와 함께 설치한다.

권장 : U-turn 구역선의 길이는 승용차 2~3대에 해당하는 12~18m로 하되, 교통량, 차로수, 신호주기 등을 고려하여 결정한다. U-turn 허용차량은 승용차로 제한한다. 다만, 폭원 등 도로여건에 따라 교통안전표지에 의하여 다른 차량의 U-turn을 허용한다. 좌회전 전용차로(좌회전 포켓)가 있는 도로에 설치한다.

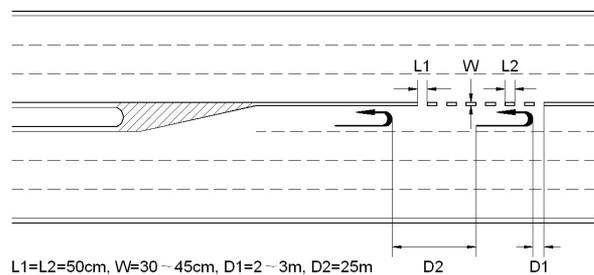


Fig. 1 Design Criteria of U-turn Lane

### 2.3. U-turn 회전반경

경찰청의 교통노면표시 설치관리매뉴얼에는 U-turn 구역에 관한 설치기준은 제시되어 있으나 명확한 운용 기준이나 U-turn 시기는 제시되지 못하고 있다. 매뉴얼에서 제시된 U-turn차로 지정 가능지역은 대향차로의 폭원이 9m 이상인 도로에서 승용차로 한정하고 있다. 하지만 대향차로 폭원을 고려하는데 있어 설계기준이 되는 사항이나 차량의 회전궤적에 관한 내용은 언급이 되어 있지 않다. 도로가 갖추어야 할 구조 및 시설에 관한 규칙의 제 규정을 제시하고 있는 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에서도 U-turn에 관한 내용을 수록하지 않고 있는 실정이다. 그러므로 U-turn 회전반경에 관한 고찰이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

이진욱(2009)의 연구에 의하면 U-turn 회전반경이란 차량이 U-turn시 실제로 사용하는 대향차로의 폭으

로 U-turn하기 직전 차량의 중앙선 방향 가장 안쪽부분에서 U-turn 후 차량의 중앙선에서 가장 먼 부분까지의 폭으로 규정하고 있다.

## 3. 자료수집 및 변수 선정

### 3.1. 자료수집 개요

교통사고자료는 경남지방경찰청 교통경찰업무관리시스템(TCS)의 교통사고자료를 이용하였으며, 2010년부터 2012년까지 창원시에서 발생한 모든 교통사고자료를 수집하여 사고관련 1, 2차량의 진행상태에 기초하여 U-turn 행위에서 발생한 교통사고를 분류하고, 내측 1차로가 좌회전과 U-turn이 공용되는 4지 신호교차로에서 발생한 사고만을 대상으로 세분하였다. 독립변수 선정에 따른 도로의 기하구조는 도로교통공단에서 관리되고 있는 현장 측량자료를 이용하고 보완적인 내용은 광파측량기를 이용하여 현장 실측하였다. U-turn과 좌회전 교통량은 동영상 촬영 후 실내에서 분석하였다. 교차로 통과속도는 속도측정장치(Speed meter)를 사용하여 조사하였다. 신호교차로 운영에 따른 신호현시와 신호시간, 교통량 자료는 관할 경찰서의 문헌자료와 도로교통공단에서 수행한 '창원시 주요 교차로 교통량조사 보고서'를 바탕으로 하였다.

### 3.2. 연구대상 교차로의 선정

본 연구의 대상 교차로 선정을 위해서, 창원시 주요 가로구간의 특성에 대해 도로폭, 차로수, 신호교차로 유무, U-turn 설치 신호교차로 개소수 등을 조사하였으며, 연구대상 교차로를 선정하기 위해 3.15대로를 포함한 창원시 주요 가로구간 15개 구간이 조사되었다. 신호교차로의 U-turn 설치형식에 따라 좌회전과 U-turn이 공용되는 대기차로공용, U-turn차로만 설치된 U-turn 전용, 직진과 U-turn의 직진차로 공용으로 구분하고, 연구의 시간적 범위에 해당하는 기간 동안 개선공사 수행으로 기하구조의 여건이 변화된 지점을 제외한 대기차로 공용 4지 신호교차로 49개소를 연구대상 교차로로 최종 선정하였다.

### 3.3. 독립변수의 선정

본 연구의 4지 신호교차로 U-turn 사고모형 개발을 위해 선정된 독립변수는 선행 연구고찰과 기존문헌 검토에서 파악된 다수의 관련 변수 중 교통조건과 도로조건, 운영조건을 고려하여 총 16개의 변수를 선정하였

다. 또한 기존연구의 신호교차로 교통사고 분석과 차별되는 U-turn 사고의 요인으로 작용된다고 판단되는 변수를 중심으로 분석하여 정리하였다. 신호교차로에서 운전자의 U-turn 행위는 통상적 회전과는 차량의 동적 특성이 다르게 나타나므로 점진적 가속능력을 발휘할 수 없고 가·감속을 반복적으로 수행하게 된다. 대향차량간 속도편차가 크게 발생할 수밖에 없어 상충위험에 대한 방어운전에 취약해지기 마련이다. U-turn 행위의 시도는 특정구역에서 제한된 신호현시에 따라 발생하므로 이러한 운전자의 행동적, 심리적 상황을 고려한 신호교차로의 기하구조와 교통운영 요소들이 독립변수 선정에 우선적으로 고려되었다.

### 3.4. 종속변수의 선정

종속변수는 수학적으로 독립변수에 의해 변화되는 값으로서 의미를 가지나 모형식 개발에 있어서는 종속변수의 특성에 따라 독립변수의 계수 값이 달라진다. 본 연구에서는 가산자료모형 구축을 위해 신호교차로에서 발생한 사고건수를 나타내는 교통사고건수와 EPDO를 종속변수로 선정하였다. U-turn과 관련한 사고발생건수는 전체사고건수에 비해 매우 적어서 교통사고 발생건수에 따른 사고율이 종속변수로 선택될 경우 회귀분석에 의한 유의성이 저하될 수 있을 것으로 판단하여 사

고건수가 종속변수로 선정되었으며, 단순사고건수가 아닌 사고의 심각도를 파악할 수 있는 EPDO가 종속변수로 선정되었다. Table 1에 선정된 독립변수와 종속변수의 산식, 변수설명, 단위 등을 나타내었다.

## 4. 사고모형 개발

### 4.1. 분석기법의 개요

선형회귀 모형의 경우 변수 값이 증가할수록 분산이 증가하여 등분산성 가정에 따른 통계적 유의성이 저하될 수 있다. 사고건수와 같은 양의 변수에 대해 음의 사고 수를 예측하는 문제와 사고건수가 낮을 경우 통계적 예측력이 저하된다. 이러한 문제점으로 인해 근래에는 사고건수를 이산적 확률변수로 해석하는 가산자료 모형에 대한 접근법이 제시되고 있다.

#### 4.1.1. Poisson 모형과 음이항 모형

Poisson 회귀모형(Poisson regression)은 가산형 자료에 대한 분석을 수행할 경우 많이 사용되는 모형으로 독립변수에 의해 대상이 되는 계수자료를 모형화 할 때 쓰여 진다. Poisson 회귀모형의 확률밀도함수와 평균, 분산은 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

Table 1. 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 volume	$X_2$	(Opposing straight veh. + approach right-turning veh.) × U-turn veh.(veh/day)
Opposing road width	$X_3$	Opposing road width after U-turn moving(m)
Opposing lane number	$X_4$	Opposing lane number after U-turn moving(ea)
Crossing distance	$X_5$	Distance from U-turn beginning point to stop line of approach lane(m)
U-turn line length	$X_6$	Permissible length for U-turn on a left-turn waiting lane(m)
Signal phasing number	$X_7$	Phasing number operated at 4-legged signalized intersection(ea)
U-turn signal time ratio	$X_8$	Sum of recognizable U-turn flow ratio(%)
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 approach to U-turn permitted sections(%)
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)
EPDO	$Y_2$	12 × death accident + 3 × injury accident + property damage

$$P(Y_i = y_i | X_i) = \frac{\exp(-\mu_i) \mu_i^{y_i}}{y_i!}, \quad y_i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\mu_i = E(Y_i | X_i) = \exp(X_i \beta), \quad \text{Var}(Y_i) = \exp(X_i \beta)$$

여기서,  $\mu_i$ 는 평균사고건수,  $Y_i$ 는 종속변수,  $X_i$ 는 설명변수들의 벡터,  $\beta$ 는  $X_i$ 의 회귀계수의 벡터이다.

조건부 평균이 커질수록 분포의 밀도가 오른쪽으로 이동하는 것과 평균과 분산이 같은 등산포(equidispersion)의 가정이 있다는 것이 Poisson 회귀모형의 주요 특징이다. 자료의 경험적 분산이 미리 가정된 모형의 명목형 분산을 초과하는 경우, 즉 실제자료의 분산이 Poisson 모형 하에서의 분산보다 커지는 과산포 문제가 발생한다. Poisson 회귀모형은 과산포의 문제로 인해 실제 자료에 적합되는 경우는 적으며, 적절하지 않은 분포를 사용함으로써 인한 회귀계수의 표준오차(standard error)가 작게 추정되어 효율성을 가지지 못한다. 이와 같은 과산포의 문제를 해결하는 방법이 모형자체로 과산포를 설명하는 표준적인 모수모형인 음이항 회귀모형이며, 확률밀도함수는 Eq. (2)와 같다.

$$P(Y_i = y_i | X_i) = \frac{\Gamma(y_i + (1/\alpha))}{\Gamma(1/\alpha) y_i!} \frac{\{\alpha \exp(X_i \beta)\}^{y_i}}{\{1 + \alpha \exp(X_i \beta)\}^{y_i + (1/\alpha)}} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 는 과분산 계수,  $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이다.

분산과 평균이 같다는 Poisson 분포의 제약조건은 Poisson 분포와 음이항 분포를 기반으로 한 우도비(Likelihood Ratio) 검정을 통해 과산포 존재여부를 확인할 수 있다. 음이항 회귀모형의 분산은 Eq. (3)과 같다.

$$\text{Var}(Y_i = y_i | X_i) = \mu_i \left(1 + \frac{\mu_i}{\nu_i}\right) = \mu_i + \alpha \mu_i^2 \quad (3)$$

여기서,  $\nu_i$ 는 분산이 평균보다 큰 값을 가질 수 있도록 추가된 모수이다.

$\alpha = 0$ 인 경우 분산은  $\mu_i$ 가 되므로 Poisson 회귀모형의 분산과 같게 된다. 따라서 검정가설과 검정통계량은 Eq. (4), Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있으며,  $LL_P$ 와  $LL_{NB}$ 는 각각 Poisson과 음이항 분포의 우도(Likelihood)를 나타내고 검정통계량은 자유도가 1인 카이제곱( $\chi^2$ ) 분포를 근사적으로 따른다.

$$H_0 : \alpha = 0, H_1 : \alpha > 0, \quad (4)$$

$$\text{Log Likelihood Ratio} = -2(LL_P - LL_{NB})$$

$$\text{Likelihood Ratio statistics} > \chi^2_{(1-2\alpha, df=1)} \quad (5)$$

#### 4.1.2. ZIP 모형과 ZINB 모형

분석기간 동안 사고발생이 '0' 값을 나타내는 지점이 많이 포함될 경우 모형은 이론적으로 '0' 값의 확률에 대해 과장한 예측값을 나타내게 된다. 이런 특수한 성격의 자료에 대해서는 '0' 값의 과다분포 현상을 고려한 분석이 요구되는데 과대산포 및 사고발생 값이 '0'이 많은 경우를 고려한 ZIP(Zero-Inflated Poisson) 회귀모형, ZINB(Zero-Inflated Negative Binomial) 회귀모형과 같은 ZAM(Zero Altered Model)모형이 있다.

베르누이 시행에 대한 결과로서  $Y_i$ 에 대한 2가지 가능한 분포를 고려한 제로팽창모형 확률밀도함수는 Eq. (6)과 같다.

$$P(Y_i | X_i) \begin{cases} \phi_i + (1 - \phi_i)g(0), & Y_i = 0 \\ (1 - \phi_i)g(Y_i), & Y_i = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (6)$$

여기서,  $\phi_i(0 < \phi_i < 1)$ 는 0에서의 팽창확률, 즉 제로 팽창확률을 나타내며,  $g(Y_i)$ 는 Poisson 또는 음이항 분포를 따른다.

Washington et al.(2003)은 가산자료 모형에 대한 ZAM모형의 적합성을 검정하기 위해 Poisson, 음이항 분포의 특정상황, 즉 과대산포와 제로팽창의 적합성을 검정하기 위해 Eq. (7)과 같은 통계치를 제시하였다.

$$m_i = LN\left(\frac{f_1(y_i | X_i)}{f_2(y_i | X_i)}\right) \quad (7)$$

여기서,  $f_1(y_i | X_i)$ 은 모형 1의 확률밀도함수이고,  $f_2(y_i | X_i)$ 는 모형 2의 확률밀도함수이다.

Eq. (7)의 2개 모형 확률밀도함수에 대한 non-nested 가설검정을 이용하여 Eq. (8)의 Vuong 통계치를 계산할 수 있다.

$$V = \sqrt{n} \left[ \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \right) / \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2} \right] = \frac{\sqrt{n}(\bar{m})}{S_m} \quad (8)$$

여기서,  $\bar{m}$ 은 평균이고  $S_m$ 은 표준편차,  $n$ 은 표본크기이다.

Vuong 통계치는 근사정규분포를 이루고 있으며 신뢰수준에 따른 임계값에 따라 기각역이 설정되며, Vuong 통계치와 과분산계수( $\alpha$ )를 기준으로 한 가산자료모형과 제로팽창모형을 선택하는 기준은 다음의 Table 2와 같으며, Fig. 2는 가산형 계수자료에 대해 적용될 수 있는 모형을 도식화한 것이다.

Table 2. Guidelines for Model Selection among Count Data Models

Section		T Statistics for overdispersion parameter	
		<  1.96	>  1.96
Vuong value for ZINB and NB	<-1.96	ZIP or Poisson	NB
	>1.96	ZIP	ZINB

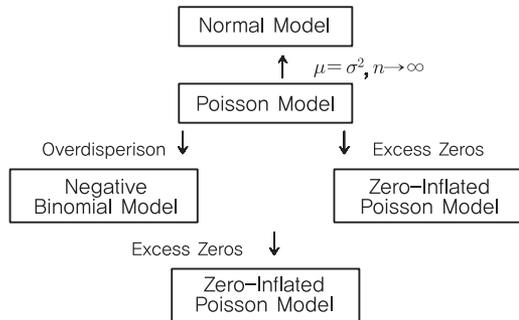


Fig. 2 Relationships of Distribution for Count Data Models

#### 4.1.3. 모형의 적합성 검증

정량화된 방법으로 개발된 모형을 검증하는 과정으로 우도비( $\rho^2$ )와 RMSE(Root Mean Square Error), MPB(Mean Prediction Bias), MAD(Mean Absolute Deviation)가 있으며, 관측치와 모형에 의한 예측치의 오차분포 특성을 분석할 수 있다. 우도비( $\rho^2$ )는 0과 1사이의 값을 가지며, 일반적으로 McFadden의 결정계수라고 지칭된다. 그 값이 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가되며, 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다. 평균제곱근오차'인 RMSE는 관측치와 모형에 의한 예측치의 차이를 다룰 때 가장 널리 사용하는 척도로서 정밀도(precision)를 표현하는데 적합하다. MPB는 종속변수의 관측치와 모형에 의한 예측치가 어느 정도, 어떻게 치우쳐 있는지를 판단할 수 있는 기준을 제공한다. MPB수치가 작을수록 모형의 예측치가 정확하다고 판단할 수 있으며 '평균예측편이'로 해석될 수 있다. MAD는 모형의 예측치가 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지의 척도이다. MPB와 다른 점은 관측치와 예측치의 절대값을 계산하므로 음과 양의 차이를 상쇄시킨다.

#### 4.2. 기술통계 분석

기술통계(descriptive statistics)란 수집된 자료를 잘

Table 3. Descriptive Statistics for Variables

Independent variables(unit)	Minimum	Maximum	Mean	S · E	S · D	Variance	Skewness	Kurtosis
ADT(veh/day)	21,203	105,348	64,353	2,521	17,647	3.1E+08	0.13	-0.03
Conflict volume(veh/day)	5,901	364,212	69,121	9,948	69,634	4.9E+09	2.31	6.14
Opposing road width(m)	9.70	13.70	11.61	0.17	1.20	1.44	-0.23	-1.53
Opposing lane number(ea)	3.00	5.00	3.39	0.08	0.53	0.28	0.90	-0.32
Crossing distance(m)	27.00	83.90	49.31	1.68	11.75	137.96	0.34	0.40
U-turn line length(ea)	10.00	59.00	27.22	1.38	9.65	93.17	0.88	1.35
Signal phasing number(ea)	4.00	6.00	4.73	0.08	0.57	0.32	0.03	-0.39
U-turn signal time ratio(%)	0.13	0.64	0.36	0.01	0.08	0.01	0.53	3.42
Turning vehicles rate(%)	7.00	60.40	23.84	1.38	9.65	93.19	1.31	3.37
Heavy vehicles ratio(%)	2.60	20.00	7.37	0.53	3.74	13.98	1.07	1.15
U-turn vehicles ratio(%)	0.03	0.82	0.30	0.03	0.20	0.04	0.83	0.07
Longitudinal grade(%)	-3.60	4.10	-0.04	0.19	1.36	1.85	0.60	2.25
Crosswalk number(ea)	0	4	3.22	0.13	0.92	0.84	-1.31	1.99
Access road length(m)	12	567	178.33	18.66	130.63	17064.16	1.10	0.94
Traffic passing speed(kph)	42.7	71	58.33	1.03	7.20	51.79	-0.30	-0.52
Number of berths(ea)	0	3	0.69	0.12	0.82	0.68	1.10	0.78
Dependent variables(unit)	Minimum	Maximum	Mean	S · E	S · D	Variance	Skewness	Kurtosis
Traffic accident number(ea)	0	7.0	1.306	0.219	1.530	2.342	1.929	4.343
EPDO	0	19.0	3.327	0.540	3.783	14.308	1.888	5.143

Notes: S · E = Standard error, S · D = Standard deviation.

요약하고 묘사하는 통계기법을 말하며, 자료가 함축하고 있는 정보를 도표나 그래프로 표현하여 시각적으로 보여 주거나 평균, 분산 등과 같은 통계량으로 요약하여 제시하는 기법이다. 관측된 자료의 균형점을 요약하는 중심 경향의 측도인 평균(mean), 평균을 기준으로 퍼짐의 측도인 분산(variance)과 표준편차(standard deviation), 분포의 형태를 묘사하는 형상의 측도인 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)가 대표적인 통계량이며, 자료의 범위인 최소값과 최대값이 기술된다. 본 연구에서 채택된 변수들의 기술통계는 Table 3과 같다.

4지 신호교차로에서 U-turn과 관련한 사고발생의 분포특성을 비교하기 위해 사고발생지점과 무발생지점의 독립변수들의 평균, 표준편차를 비교한 기술통계 분석의 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Comparison of Variables at Intersections with and without Accidents

Section	Accident		No Accident	
	Mean	S · E	Mean	S · E
ADT(veh/day)	64,935	18,509	63,153	16,229
Conflict volume(veh/day)	90,943	75,506	24,112	12,069
Opposing road width(m)	11.46	1.20	11.91	1.18
Opposing lane number(ea)	3.42	0.56	3.31	0.48
Crossing distance(m)	50.33	12.12	47.21	11.02
U-turn line length(ea)	27.34	9.96	26.96	9.29
Signal phasing number(ea)	4.79	0.55	4.63	0.62
U-turn signal time ratio(%)	0.36	0.09	0.37	0.06
Turning vehicles rate(%)	22.00	7.38	27.63	12.62
Heavy vehicles ratio(%)	7.10	3.31	7.93	4.57
U-turn vehicles ratio(%)	0.33	0.20	0.23	0.17
Longitudinal grade(%)	-0.31	1.17	0.52	1.57
Crosswalk number(ea)	3.12	0.99	3.44	0.73
Access road length(m)	156.13	125.89	224.13	132.18
Traffic passing speed(kph)	57.89	8.10	59.25	4.94
Number of berths(ea)	0.85	0.91	0.38	0.50

일평균교통량은 비슷한 반면 상충교통량에 있어서는 사고발생지점의 교통량이 크게 높았다. 사고발생 교차로의 평균이 높게 나타난 변수들은 대향차로수, 교차로 횡단거리, U-turn 구역길이, 신호현시수, U-turn 차량비율이며, 무발생지점의 평균이 높게 나타난 변수들은 대향차로폭, 회전차량비율, 중차량비율, 횡단보도수이다.

사고발생 교차로의 버스정류장면수 평균은 0.85면으로 무발생지점의 0.38면에 비해 매우 높게 나타났으며,

종단경사는 U-turn 구역 대향차로의 종단경사 상·하향 구분에 따라 사고발생과 사고무발생 간에 뚜렷한 차이를 보인다는 것을 볼 수 있다.

### 4.3. 사고특성 분석

본 연구의 분석대상인 창원시의 4지 신호교차로 49개소 중 U-turn사고가 발생한 지점은 33개소, 교통사고 미발생지점은 16개소이다. 사고발생지점 33개소에서 발생한 사고건수는 총 65건이며, 진행방향별 사고발생에 있어서는 가해차량과 피해차량이 직진 또는 U-turn일 때 발생한 측면직각 사고유형이 59건으로 전체 사고건수의 90% 이상을 차지하고 있다(Table 5 참조).

Table 5. Accident Number by Vehicle Moving Direction

Assult\Damaged	Straight	U-turn	Right turn	Left turn
Straight	0	18	0	0
U-turn	41	0	2	2
Right turn	0	2	0	0
Left turn	0	0	0	0

### 4.4. 상관관계 분석

U-turn사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 16개의 독립변수를 대상으로 상관분석을 실시하였다. 독립변수간 상호관련성의 정도와 방향을 수치로 표현한 피어슨의 상관계수(Pearson's correlation coefficients)를 바탕으로 교통사고건수 및 EPDO의 종속변수에 대한 유의성과 독립변수간 다중공선성을 확인하고 신뢰도가 높은 항목을 추출할 수 있다. 신뢰수준을 95%( $\alpha = 0.05$ )로 하여 상관관계의 유의성을 판단하였으며 분석된 결과는 Table 6과 같다. 종속변수인 교통사고건수( $Y_1$ )와 양의 상관관계를 보이는 독립변수는 상충교통량( $X_2$ ), 유턴구역선길이( $X_6$ ), 유턴차량비율( $X_{11}$ ), 버스정류장면수( $X_{16}$ )이며, EPDO( $Y_2$ )와는 상충교통량( $X_2$ ), 유턴차량비율( $X_{11}$ ), 버스정류장면수( $X_{16}$ )이 비교적 높은 양의 상관관계를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. Table 6의 결과를 바탕으로 독립변수들간의 상관관계를 살펴보면, 일평균교통량( $X_1$ )은 대향차로수( $X_4$ )와 비교적 높은 상관관계를 보이며, 상충교통량( $X_2$ )은 대향차로수( $X_4$ ), 유턴차량비율( $X_{11}$ )과 대향차로폭( $X_3$ )은 대향차로수( $X_4$ )와 유턴구역길이( $X_6$ )는 회전차량비율( $X_9$ )과 상관관계를 보여 다중공선성이 발생할 것으로 판단되어 모형개발 시의 변수선택에 고려되었다.

Table 6. Results of Correlation Analysis

	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>
Y <sub>1</sub>	1																	
Y <sub>2</sub>	0.93**	1																
X <sub>1</sub>	0.04	0.00	1															
X <sub>2</sub>	0.60**	0.51**	0.28	1														
X <sub>3</sub>	-0.02	-0.10	0.32*	0.24	1													
X <sub>4</sub>	0.18	0.09	0.50**	0.53**	0.66**	1												
X <sub>5</sub>	0.07	0.03	0.16	0.11	0.09	0.16	1											
X <sub>6</sub>	0.23	0.19	0.28*	0.21	-0.09	0.29*	0.16	1										
X <sub>7</sub>	0.12	0.19	0.13	-0.10	-0.01	-0.07	-0.32*	-0.03	1									
X <sub>8</sub>	0.11	0.07	0.16	.09	0.28	0.21	0.36*	0.16	-0.05	1								
X <sub>9</sub>	-0.07	-0.06	0.02	-0.17	0.14	-0.05	0.28	0.34*	-0.05	0.34*	1							
X <sub>10</sub>	-0.09	-0.10	-0.07	-0.33*	-0.02	-0.14	0.12	-0.27	0.07	-0.21	-0.07	1						
X <sub>11</sub>	0.36*	0.31*	-0.19	0.58**	0.25	0.34*	-0.08	0.12	-0.22	-0.17	-0.21	-0.16	1					
X <sub>12</sub>	-0.14	-0.15	-0.09	-0.12	0.20	0.09	0.15	0.16	-0.39**	0.09	0.31*	-0.03	-0.05	1				
X <sub>13</sub>	0.05	0.03	0.05	-0.15	0.14	-0.01	0.11	0.14	0.19	0.23	0.23	0.05	-0.12	-0.04	1			
X <sub>14</sub>	-0.31*	-0.27*	0.24	-0.45**	0.14	-0.07	0.07	0.06	0.24	-0.06	0.18	0.18	-0.51**	0.19	0.08	1		
X <sub>15</sub>	-0.05	0.01	0.21	-0.14	0.21	0.15	-0.30*	0.04	0.11	-0.20	-0.18	0.05	-0.06	-0.16	-0.34*	0.33*	1	
X <sub>16</sub>	0.59**	0.54**	0.06	0.35*	0.24	0.23	0.24	0.05	-0.04	0.06	-0.03	.08	0.27	-0.08	0.15	-0.23	-0.02	1

주: Pearson 상관계수, Y<sub>1</sub> ~ Y<sub>2</sub> 는 종속변수, X<sub>1</sub> ~ X<sub>15</sub> 는 독립변수, \*\*, 0.01 수준(양쪽)에서 유의, \*, 0.05수준(양쪽)에서 유의.

4.5. U-turn 사고모형 개발  
4.5.1. 교통사고건수 모형

교통사고 발생건수에 대한 Poisson모형과 ZIP모형을 구축한 결과는 Table 7과 같다. 신뢰수준 95%에서 Poisson 회귀분석의 유의한 결과를 바탕으로 음이항 회귀분석을 수행한 결과 음이항 회귀모형식이 성립하지 않는 결과가 나타났다. 추정된 Poisson모형과 ZIP모형의 우도비( $\rho^2$ )는 각각 0.31과 0.30으로 통계적 유의성을 확보하는 것으로 판단되며, Poisson모형에서는 상충교통량( $X_2$ ), 대향차로폭( $X_3$ ), 버스정류장면수( $X_{16}$ )의 변수가 채택되었고, ZIP모형에서는 대향차로폭( $X_3$ )을 제외한 두 개의 변수가 선정되었다. 두 모형의 우도비( $\rho^2$ )가 대체적으로 높게 나와서 4지 신호교차로의 U-turn 교통사고건수 모형은 구축될 수 있으나, 두 모형 중 ZIP모형은 '0' 값의 확률에 대해 과장한 예측을 판별하는 가설검정의 t값이 -1.103, 유의확률이 0.270의 값을 보여서 귀무가설을 기각할 수 없으므로 Poisson모형을 채택하게 된다.

모형의 분석결과를 살펴보면, 상충교통량( $X_2$ )과 버스정류장면수( $X_{16}$ )가 많을수록 교통사고건수( $Y_1$ )가 증가하고, 대향차로폭( $X_3$ )이 넓어질수록 교통사고가 감소하는 것을 알 수 있었다. 음이항 회귀모형이 구축되지 않

Table 7. Count Data Regression Models for Accident Number

Variable/Model		Traffic accident number( $Y_1$ )			
		Poisson	ZIP		
Const.	Coeff	-5.0305	-3.1254		
	t-ratio	-2.689	-2.390		
	p-value	0.0072	0.0168		
Conflict volume ( $X_2$ )	Coeff	0.9168	0.4241		
	t-ratio	4.219	3.374		
	p-value	0.0000	0.0007		
Opposing road width ( $X_3$ )	Coeff	-0.4544	-		
	t-ratio	-3.151	-		
	p-value	0.0016	-		
Number of berths ( $X_{16}$ )	Coeff	0.4108	0.3150		
	t-ratio	3.072	3.446		
	p-value	0.0021	0.0006		
Statistics	Observation	49	49		
	L.L. function	-55.262	-55.781		
	Restricted L.L.	79.576			
	$\rho^2$	0.31	0.30		
Alpha( $\alpha$ )	Coeff	0.0001	Coeff	-10.0232	
	t-ratio	0.055	Tau	t-ratio	-1.103
	p-value	0.9558	p-value	0.2700	
Model for accident number		$Y_1 = \exp(-5.0305 + 0.9168X_2 - 0.4544X_3 + 0.4108X_{16})$			

는 이유는 과분산 파라메타( $\alpha$ )의 t값이 0.055, 유의확률이 0.9558로 나타나서 95% 신뢰수준에서 종속변수인 교통사고건수의 평균에 대한 분산이 과분산하지 않기 때문이며, 다음에서 기술하게 될 모형추정에 따른 교통사고건수의 빈도 누적확률분석을 참고할 수 있다. 결국, 창원시 4지 신호교차로의 U-turn 사고모형 구축을 위한 종속변수인 교통사고건수 발생분포의 경험적 분산이 가정된 모형의 명목상 분산을 초과하지 않는 경우로 등산포(equidispersion)의 가정을 충족한다고 해석된다.

#### 4.5.2. EPDO 모형

U-turn사고 EPDO 모형에 대한 독립변수의 특성과 유의확률 등의 결과는 Table 8과 같다. EPDO 사고모형을 분석해보면 Poisson모형과 ZIP모형에서 상충교통량( $X_2$ )과 대향차로폭( $X_3$ ), 유턴가능현시율( $X_8$ ), 교차로통과속도( $X_{15}$ ), 버스정류장면수( $X_{16}$ ) 등 5개의 독립변수가 채택되었으며, 음이항 모형과 ZINB모형에서는

Table 8. Count Data Regression Models for EPDO

Variable/Model		EPDO( $Y_2$ )			
		Poisson	ZIP	NB	ZINB
Const.	Coeff	-6.1504	-5.1757	-9.2583	-7.6229
	t-ratio	-4.101	-3.502	-3.762	-3.184
	p-value	0.0000	0.0005	0.0002	0.0015
Conflict volume ( $X_2$ )	Coeff	0.9829	0.8220	1.2515	1.0268
	t-ratio	6.481	7.834	5.874	6.479
	p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Opposing road width ( $X_3$ )	Coeff	-0.6101	-0.5076	-0.5089	-0.4083
	t-ratio	-6.180	-7.751	-3.865	-4.308
	p-value	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
U-turn signal time ratio ( $X_8$ )	Coeff	1.9613	1.6996	-	-
	t-ratio	2.262	1.885	-	-
	p-value	0.0237	0.0594	-	-
Traffic passing speed ( $X_{15}$ )	Coeff	0.0413	0.0378	0.0426	0.0387
	t-ratio	3.659	2.961	2.322	1.978
	p-value	0.0003	0.0031	0.0202	0.0479
Number of berths ( $X_{16}$ )	Coeff	0.4280	0.4238	-	-
	t-ratio	5.249	5.804	-	-
	p-value	0.0000	0.0000	-	-
Statistics	L.L function	-94.266	-89.462	-97.937	-95.061
	Restricted L.L.	-153.023		-109.369	
	Alpha( $\alpha$ )	-		1.38	1.69
	$\rho^2$	0.38	0.41	0.10	0.13
	Vuong	3.4165		2.9224	
Model for EPDO	$Y_2 = \exp(-5.1757 + 0.8220X_2 - 0.5076X_3 + 1.6996X_8 + 0.0378X_{15} + 0.4238X_{16})$				

상충교통량( $X_2$ ), 대향차로폭( $X_3$ ), 교차로통과속도( $X_{15}$ ) 등 3개의 변수가 선정되었다. Table 2를 참고하여 과분산 파라메타( $\alpha$ )의 t값이 1.38과 1.69로 나타나서 음이항이나 ZINB모형보다는 Poisson이나 ZIP모형이 적합한 것으로 분석되며, Vuong 통계값이 3.4614와 2.9224로 나타나서 ZIP모형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 신뢰수준 95%에서 ZIP모형의 우도비( $\rho^2$ )는 0.41로서 회귀분석에 따른 좋은 값을 보이고 있어 추정된 모형식은 통계적으로 유의한 모형임을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

ZIP모형식에 따르면 상충교통량( $X_2$ )이 증가할수록 EPDO 건수가 증가하며, U-turn을 할 수 있는 시간적 기회를 나타내고 있는 유턴가능현시율( $X_8$ )이 길며, U-turn행위에 따른 노변간섭의 측도인 버스정류장면수( $X_{16}$ )가 많고 대향직진 통과교통의 교차로통과속도( $X_{15}$ )가 클수록 EPDO가 증가하는 것을 알 수 있다. 대향차로폭( $X_3$ )은 (-)의 계수값을 보여서 U-turn 차량의 회전반경이 충분히 확보될수록 사고위험도는 줄어드는 것으로 해석된다.

#### 4.6. 모형추정에 따른 누적확률분석

4지 신호교차로 49개소에서 관측된 U-turn 사고건수의 분포를 살펴보면, 사고가 발생하지 않은 교차로가 32.7%인 16개소를 차지한다. 사고발생건수가 1건인 교차로가 18개소로 누적백분율 69.4%, 2건인 교차로가 9개소로 87.8%의 누적백분율을 보이며, 4건까지의 누적분포가 평균이 1.30인 Poisson 누적분포와 대체적으로 잘 부합하는 것을 Table 9에서 볼 수 있다.

Table 9. Accumulated Percentiles on U-turn Accident

Accident number	Frequency	Percentiles	Acumulative percentiles	Poisson* distribution
0 case	16	32.7%	32.7%	27.3%
1 case	18	36.8%	69.4%	62.7%
2 case	9	18.4%	87.8%	85.7%
3 case	1	2.0%	89.8%	95.7%
4 case	3	6.1%	95.9%	98.9%
5 case	0	0%	95.9%	99.8%
6 case	1	2.0%	98.0%	100.0%
7 case	1	2.0%	100.0%	100.0%

\* 평균( $\mu$ )=1.30인 Poisson 분포의 누적확률

종속변수인 교통사고건수의 평균은 1.30이며 분산은 2.34인 것을 기술통계 분석결과에서 알 수 있었다. 관

측치와 Poisson 분포에 따른 빈도를 나타내고 있는 Fig. 3을 살펴보면 사고무발생과 1건의 비율이 높게 나타나고 이후의 빈도 비교에서는 대체적으로 Poisson 분포의 비율이 높게 나타나고 있다.

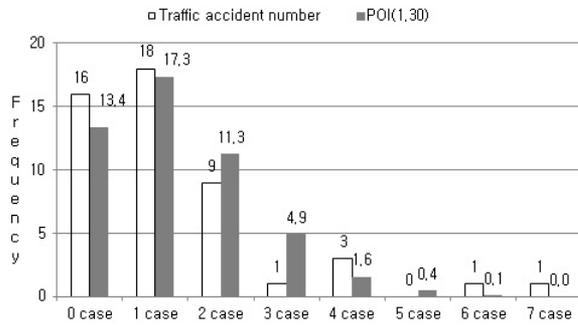


Fig. 3 Histogram of Accident Number and Poisson(1.30)

#### 4.7. 개발모형의 적합성 검증

본 연구의 공간적 범위인 창원시의 도시부 신호교차로에서 U-turn이 허용되는 4지 신호교차로의 표본은 전체가 모형을 개발하는데 사용되어 적합성 검증용 표본을 구축할 수 없었다. 따라서 모형구축에 사용된 표본의 관측수와 예측치를 직접 비교하였다.

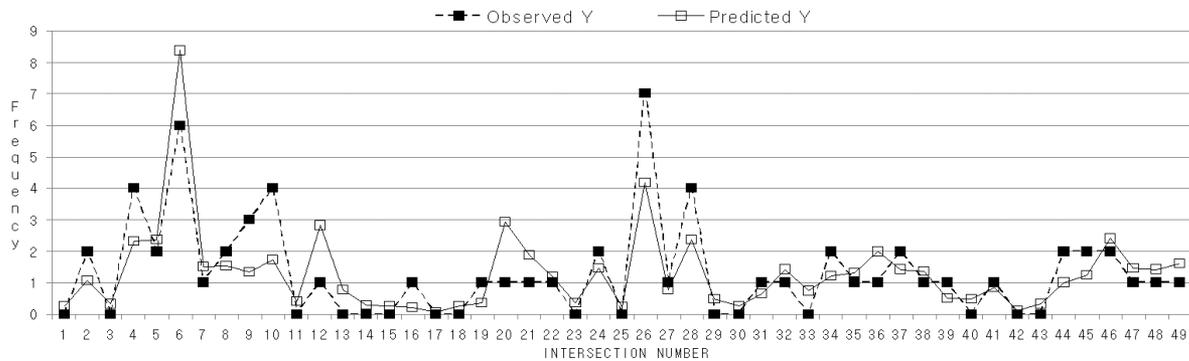
Table 10에서와 같이 4지 신호교차로의 교통사고건수와 EPDO에 대한 개발모형의 우도비( $\rho^2$ )는 각각 0.31, 0.41의 값으로 나타나서 전반적으로 개발된 모형이 충분히 높은 설명력을 나타내고 있다고 평가된다. RMSE는 관측치와 예측치의 잔차, 오차를 제공한 평균근이므로 이 값은 작을수록 모형의 적합도가 높은 것으로 해석할 수 있으며 각각의 RMSE가 0.965, 2.182이므로 모형이 관측치를 비교적 양호하게 추정하고 있음

Table 10. Goodness of Fit Tests for Developed Models

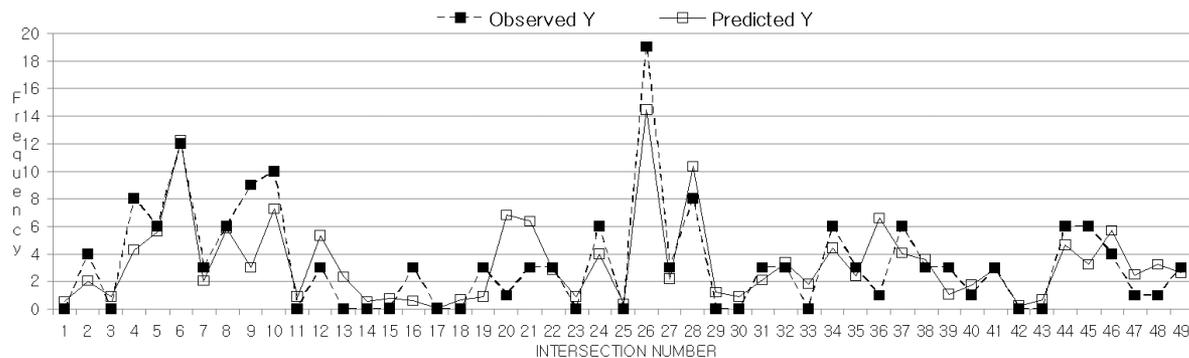
Section	Traffic accident( $Y_1$ )	EPDO( $Y_2$ )
Likelihood ratio( $\rho^2$ )	0.31	0.41
RMSE	0.965	2.182
MPB	0.653	1.601
MAD	0.724	1.616

Table 11. Pearson's Coefficient of Correlation for Developed Models

Section	Mean	S · D	Pearson's R	
Traffic accident number( $Y_1$ )	Observed	1.306	1.530	0.778
	Predicted	1.306	1.353	
EPDO( $Y_2$ )	Observed	3.327	3.783	0.813
	Predicted	3.327	3.067	



Traffic Accidents of 4-legged Signalized Intersections



EPDO of 4-legged Signalized Intersections

Fig. 4 Graph to Real Data and Predicted Data

을 알 수 있다. 관측 사고건수와 예측 사고건수 사이의 상관관계를 분석한 결과도 Table 11에 수록하였는데, Pearson 상관계수는 각각 0.778, 0.813으로서 상당히 강한 양의 상관관계를 보이며 유의한 것으로 해석될 수 있다. 결국, 창원시의 4지 신호교차로에서 발생한 U-turn 교통사고건수와 EPDO에 대해 구축된 모형은 통계적으로 유의한 모형임을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 종속변수별 최적모형 선정에 따른 모형식 예측치와 관측치를 그래프로 비교하고 있으며, 예측치 분포가 관측치에 근사한 분포를 이루고 있음을 볼 수 있다.

## 5. 결론

교통사고 발생건수를 이산형 확률변수로 해석하는 가산자료모형 중 Poisson모형을 바탕으로 도시부 4지 신호교차로 U-turn 사고예측모형을 개발하였다. 개발된 6개의 유의적인 모형 중에서 과대산포와 제로팽창에 대한 검정을 수행하여 종속변수의 자료속성을 가장 효과적으로 나타낼 수 있는 최적 모형을 통계적 검정에 따라 도출하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 과산포 검정과 제로팽창 확률에 대한 통계값에 의해 4지 신호교차로의 교통사고건수에 대해서는 Poisson모형, EPDO에서는 ZIP모형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이는 자료의 분석방법에서 비롯된 다기 보다는 연구의 대상이 되는 공간적 범위에서 발생한 교통사고건수의 특수성이라 해석된다.
2. 4지 신호교차로 U-turn 사고모형의 두 개의 종속변수인 교통사고건수와 EPDO에 공통적으로 작용하는 영향요인은 상충교통량, 대향차로폭, 교차로통과속도이며, EPDO모형에서 유턴가능현시율과 버스정류장면수의 변수가 추가되었다.
3. 기존연구의 신호교차로 사고모형에서는 교차로의 일평균교통량(ADT)이 주요한 독립변수로 선정되었으

나 본 연구에서는 교통사고건수 및 EPDO와 ADT와의 상관분석에서 상관계수가 극히 무의미한 수준으로 나타나서 U-turn 사고는 교차로 통행의 전체 교통량과는 상관이 없는 것으로 해석될 수 있다.

본 연구의 U-turn 교통사고 예측모형의 개발에 따라 도출된 주요한 독립변수를 고려할 때 도시부 4지 신호교차로의 도로설계 시 고려될 수 있는 사항으로는 대향차로폭이 사고무발생 지점의 평균폭원 11.9m 이상인 지점이나 교차로통과속도가 높지 않은 지점에 U-turn을 설치하는 것이 적절하다고 제안된다. 또한 운영적 측면에서는 U-turn 차량의 유출부 영향권내에 버스정차에 따른 간섭이 심한 경우 그 설치를 제한할 필요가 있다.

## References

- Lee, J. H., 2008. A Study on U-Turn Location and Length Estimation at Signalized Intersection, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 26, No. 1, pp. 203-213.
- Park, Ho. H., 2007. A Study on Traffic Conflict Analysis of Allowed U-Turn, M.A. Dissertation, University of Chonnam National.
- Stamatiadis, N., Kala, T., Clayton, A. 2004. U-turns at Signalized Intersections, KTC Research Report KTC-04-12.
- Ynag, X. K., 2001. The Gap Acceptance Study of U-turn at Median Openings, ITE.
- He, Min., Liu, Lei., Wei, Heng., 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.
- Lee, J. W., 2009. A Study on Appropriate Breadth for U-turn Setup, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 27, No. 3, pp. 39-47.
- Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering., 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, Chapman & Hall/CRC.