

## 연립방정식을 이용한 운전유형별 회전교차로 사고모형

김경환 · 박병호\*

충북대학교 도시공학과

### Simultaneous Equation Models for Evaluating Roundabout Accidents According to Different Driving Types

KIM, Kyung Hwan · PARK, Byung Ho\*

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

#### Abstract

This study dealt with traffic accidents occurring within roundabouts. The objective was to develop roundabout accident models for different driving types by using simultaneous equations. In pursuing the above, this study used a statistical program SPSS 17.0 to accommodate data from 148 accidents occurred within 39 roundabouts of Korea. In addition, the 2SLS(2 stage least square) estimation method was adopted to calibrate the models. The main results are as follows. First, both the number of accidents and the EPDO were evaluated to have bilateral relationships. Second, all 6 different simultaneous equation models according to driving types were found to be statistically significant. Third, the developed models were compared to each other with respect to either common or specific variables. Finally, variables such as ADT, conflicting rate, heavy vehicle ratio, circulatory roadway width, number of circulatory roadway lane, approach lane width, average approach lanes, parking places, and bus stops were selected as independent variables for the models.

이 연구는 회전교차로의 교통사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 연립방정식을 이용한 회전교차로의 운전유형별 교통사고모형을 구축하는데 있다. 이를 위해 이 연구는 국내 회전교차로 39개소에서 발생한 148건의 사고자료와 통계 프로그램인 SPSS 17.0을 이용하였다. 또한 사고모형은 2SLS(2단계 최소자승) 추정법을 이용하여 구축하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 사고건수와 EPDO는 쌍방향 관계를 갖는 것으로 평가되었다. 둘째, 운전유형별로 개발된 6개의 연립방정식은 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 셋째, 개발된 모형은 공통변수와 특정변수를 사용하여 비교 분석되었다. 마지막으로 독립변수에는 ADT, 상충비, 중차량 비율, 회전차로 폭, 회전차로 수, 접근로 차로 폭, 접근로 평균 차로 수, 주차시설 유무 및 정류장 유무가 채택되었다.

#### Key Words

Accident Model, Driving Type, Roundabout, Simultaneous Equation, 2SLS(2 Stage Least Square)  
사고모형, 운전유형, 회전교차로, 연립방정식, 2SLS

\* : Corresponding Author  
bhpark@chungbuk.ac.kr, Phone: +82-43-261-2496, Fax: +82-43-264-2496

Received 25 January 2012, Accepted 17 December 2012

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

교통사고 관련 연구는 도로의 안전성 향상 및 교통사고 감소를 위해 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 사고예측 모형을 개발하여 왔다. 지금까지 교통사고 관련 연구는 주로 교차로 중심으로 진행되었으며, 가로구간에 대한 교통사고 연구로 확대되어 왔다.

최근 국내에서는 신호교차로와 비교하여 지체감소, 용량 및 안정성 증가 등의 운영효과를 가진 회전교차로의 도입이 적극 추진되고 있으며, 용량 분석 및 서비스분석이 활발히 진행되고 있다. 또한 회전교차로의 안전성 향상을 위한 교통사고 관련 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 회전교차로의 용량 및 운영효과 분석에 비해 교통사고에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

이에 이 연구는 국내 회전교차로의 교통사고를 운전 유형별로 구분하여 사고특성을 분석하고, 사고건수와 EPDO(Equivalent Property Damage Only)의 상호관계를 고려하여 연립방정식 모형을 개발하는데 그 목적을 두고 있다. 또한 연립방정식 모형을 사용함에 따라 사고건수와 EPDO에 영향을 미치는 요인들을 비교 분석하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

이 연구는 국내 회전교차로 39개소를 대상으로 하였다. 사고 자료는 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS: Traffic Accident Analysis System)을 이용하여 2007년부터 2009년까지 3년간의 자료를 수집하였다. 기하구조는 2009년 조사 자료를 기준으로 활용하였다. 이 자료는 도로교통공단에서 관리중인 교차로 기하구조자료와 항공사진을 활용하였으며, 현장조사를 통해 보완하여 정리하였다. 또한 동영상 촬영 분석으로 교통량 및 중차량 비율 등 교차로 운영실태 자료를 수집하였고, 이를 기반으로 교통사고 특성을 검토하여 사고모형을 개발하였다.

사고 및 기하구조 자료의 코딩은 Excel 2007을 이용하였으며, 사고특성의 통계적 분석을 위하여 통계 프로그램인 SPSS 17.0을 사용하여 사고모형을 구축하였다. 연구의 내용 및 방법을 수행과정에 따라 정리하면 Figure 1과 같다.

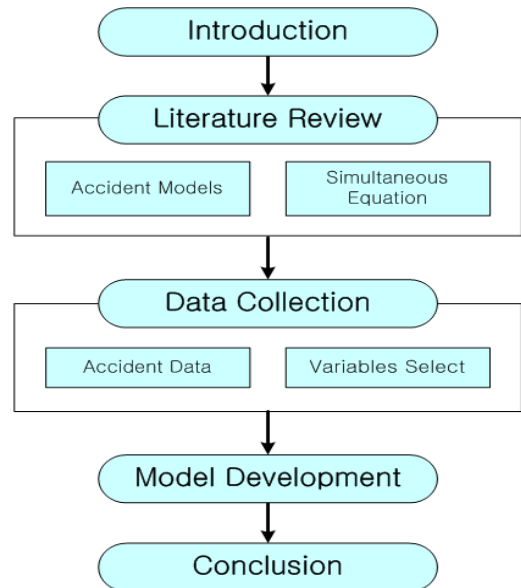


Figure 1. Study process

첫째, 연구의 배경을 서술하고 목적을 제시한다. 둘째, 교통사고 및 연립방정식 모형에 관한 기존 문헌을 고찰한다. 셋째, 연구의 범위를 설정한 후, 관련 자료를 수집한다. 넷째, 수집된 자료를 이용하여 특성을 분석하고, 모형에 사용될 변수를 선정한다. 다섯째, 연립방정식을 통해 모형을 구축한 후, 이를 비교분석한다. 마지막으로 연구의 결론을 요약하며, 한계점 및 향후 연구 과제를 제시한다.

## II. 기존 문헌 고찰

### 1. 교통사고 모형

Park et al. (2008a)은 청주·청원에 위치한 신호교차로를 중심으로 지방부의 교통사고 특성을 분석하였다. 그들은 다중선형, 포아송 및 음이항 회귀모형을 이용하였으며, 지방부의 특성을 반영하는 특정변수에는 평균 차로 폭 차 및 교차로간 거리가 채택되었다.

Park et al. (2008b)은 4지 신호교차로의 사고 자료를 이용하여 사고유형별 특성을 비교하고 사고모형을 개발하였다. 그들은 통계적으로 유의한 5개의 음이항 회귀모형을 개발하였으며, 사고유형별 모형을 공통변수와 특정변수로 비교 분석하였다.

Kim and Park (2010)은 가로구간에서 발생한 사

고를 운전유형에 따라 직진, 차선변경 및 기타로 구분하여, 다중선형회귀모형을 통해 사고모형을 개발하였다. 개발된 8개의 모형은 모두 통계적으로 유의하며, 운전유형을 더미변수로 처리한 모형에 비해 운전 유형별 모형이 더 적합한 것으로 분석되었다.

Han et al. (2011)은 국내 원형교차로 20개소를 대상으로 교통사고를 분석하고 모형을 구축하였다. 사고유형을 차대차, 차대사람 및 차량단독으로 구분하였으며, 그 중 사고자료가 충분한 차대차와 차대사람 유형을 대상으로 가산자료 모형(음이항 및 포아송 회귀모형)을 개발하였다. 종속변수로는 사고건수와 EPDO를 이용하였으며, 개발된 모형은 통계적으로 유의한 것으로 평가되었다.

Saccomanno et al. (2008)은 시뮬레이션을 활용하여 회전교차로와 신호교차로의 후미추돌사고의 안전성을 비교 분석하였다. 그들은 회전교차로가 신호교차로에 비해 후미추돌사고의 발생확률이 더 낮은 것으로 분석하였다.

## 2. 연립방정식 모형

연립방정식 모형은 다양한 분야에 적용되어 연구되고 있으나, 교통사고에 관한 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 다른 분야에서 적용된 연립방정식에 관한 연구를 우선 검토하였다.

Hong (2010)은 장·노년층을 대상으로 공식적·비공식적인 지원활동과 생성감 간 쌍방향 관계를 연립방정식모형(Simultaneous Equation Model)을 이용하여 분석하였다.

Kim and Kim (2010)은 동태적 환경을 가정한 오피시장을 대상으로 연립방정식모형을 구축하였다. 공실률과 임대료를 내생변수로 선정하였으며, 2SLS 방식을 통하여 이를 추정하였다.

## 3. 연구의 차별성

기존 교통사고 및 연립방정식 모형에 대한 관련 문헌을 고찰한 결과, 국내에서는 아직까지 회전교차로의 교통사고에 대한 연구가 미비한 것으로 판단되었다. 연구의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 이 연구에서는 회전교차로 사고를 운전유형별로 구분하여, 각각의 특성을 고려한 모형을 구축하였다.

즉 운전자가 한 차로만으로 운행 할 경우, 차선을 변경할 경우, 후진할 경우, 정지 및 정차 후 출발을 할 경우 등 운전유형에 따라 사고에 영향을 미치는 요인들이 다르게 나타날 것으로 판단되어 유형을 구분하여 분석하고 이를 비교하였다.

둘째, 교통사고 모형 구축에서 연립방정식을 사용하였다는 점에서 차별성을 찾을 수 있다. 기존의 연구에서는 사고건수와 EPDO를 각 모형의 종속변수로만 사용하였으나, 이 두 변수는 상호간에 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 따라서 이 연구에서는 사고건수와 EPDO를 종속변수(내생변수)로 선정하였으며, 연립방정식 모형을 통해 상호관계 및 영향을 미치는 요인들을 평가하였다.

## III. 분석 틀의 설정

### 1. 자료 수집 및 분석

이 연구에서는 국내에 설치되어 운영 중인 회전교차로 39개소(3지 1차로 : 6개소, 3지 2차로 : 5개소, 4지 1차로 : 11개소, 4지 2차로 : 17개소)를 분석대상으로 선정하였다. 회전교차로와 로터리의 가장 큰 차이점은 교차로를 진입하는 차량과 회전하는 차량 중 어느 차량에 통행의 우선권이 부여되는지에 있다. 이 연구에서는 기하구조를 기준으로 회전교차로와 로터리를 구분하였으며, 그 중 회전교차로를 대상으로 분석하였다. 이때 회전교차로와 로터리의 구분 기준은 접근로에 분리교통섬이 존재하고, 양보선이 표시되어 있는 교차로를 회전교차로로 간주하였다.

사고 자료는 2007-2009년 3년간의 차대차 사고내용을 교통사고분석시스템(TAAS)을 통해 수집하였다. 기하구조 요인(중앙교통섬 크기, 회전차로 폭, 회전차로 수, 접근로 수, 접근로 차로 폭, 접근로 평균 차로 수)과 환경조건 요인(조명시설, 주차시설, 정류장)은 도로교통공단 자료, 항공사진 및 AutoCAD를 이용하여 측정하고, 현장조사를 통해 보완하여 정리하였다. 운영조건 요인(일평균 교통량, 상층비, 중차량 비율)은 동영상 촬영을 통해 분석하여 수집하였다.

운전유형은 직진, 차선변경, 후진, 정지 및 정차 후 출발 등으로 구분하였다. 하지만 직진과 차선변경을 제외한 유형의 사고건수가 불충분하여, 운전유형을 크게 직진, 차선변경 및 기타(후진, 정지 및 정차 후 출발 등)로 구분하여 분석을 수행하였다. 이를 운전유형별로 구

**Table 1. Number of accidents by driving Type**

(Unit : Number)

Accident Type	Urban	Region
Straight	49	2
Lane change	65	12
Others	16	4
SUM	130(28)	18(11)

note: ( ) is number of roundabouts

분하여 정리하면 Table 1과 같다. 차선변경 중 사고건수가 총 77건으로 전체 사고의 52.03%를 차지하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 직진 중 사고가 51건 (34.46%), 그리고 기타 사고가 23건(13.51%)으로 조사되었다.

## 2. 모형 및 변수 선정

### 1) 모형 선정

연립방정식 모형은 둘 이상의 방정식으로 구성되며, 내생변수와 선결변수로 구분된다. 내생변수란 연립방정식 체계 내에서 그 값이 결정되고 설명될 수 있는 변수를 말한다. 그리고 선결변수란 모형 밖에서 이미 그 값이 결정된 변수이며 도로 기하구조 같이 임의로 조정할 수 없는 외생변수와 시차가 있지만 어떠한 시점에서 볼 때 그 값이 이미 정해져 있는 내생시차변수(예를 들어 교통량)가 이에 포함된다.

모든 내생변수들이 종속변수로만 나타나면 문제가 없으나, 내생변수들이 연립방정식내의 여러 방정식에 동시에 영향을 미치고, 종속변수 또는 설명변수로 표현되어 최소 두 개 이상의 내생변수를 포함하게 된다. 따라서 내생변수들간의 상호교호작용(effect and feedback effect) 및 연관관계(interdependence)를 파악하지 않고는 이들 내생변수의 값을 알아낼 수 없는 특징이 있다.

이 연구에서는 교통사고 관련 변수들의 상호 관계를 방정식에 의해 최적화하는 연립방정식 모형을 이용하였다. 연립방정식은 SPSS 17.0을 이용하였으며, 내생변수의 쌍방향 관계 검증을 위해 2단계 최소자승(2SLS: 2 stage least square) 추정방법을 사용하였다. 연립방정식 모형은 식(1)과 같이 표현되며,  $y_t$ 는 내생변수(endogenous variable),  $x_t$ 는 외생변수(exogenous variable), 그리고  $u_t$ 는 오차 항을 나타낸다.

$$y_t\Gamma + x_tB = u_t, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

### 2) 변수 선정

이 연구에서는 내생변수를 사고모형에서 일반적으로 사용되고 있는 사고건수와 EPDO를 사용하였다. 즉 직진, 차선변경 및 기타의 운전유형에 따라 사고건수와 EPDO를 산출하여 총 6개의 내생변수를 사용하였다. 여기서 내생변수는 일반 모형의 종속변수를 나타낸다.

**Table 2. Definition of variables**

Classification	Symbol	Variable	Definition	
Endogenous variable	Straight type	$Y_1$	Number of accident	Average annual number of accidents by straight type
		$Y_1'$	EPDO	Average annual EPDO by straight type
	Lane change type	$Y_2$	Number of accident	Average annual number of accidents by lane change type
		$Y_2'$	EPDO	Average annual EPDO by lane change type
	Others type	$Y_3$	Number of accident	Average annual number of accidents by others type
		$Y_3'$	EPDO	Average annual EPDO by others type
Exogenous variable	Operation factors	$X_1$	ADT	Average daily traffic volume
		$X_2$	Conflicting rate	Number of conflicting / ADT
		$X_3$	Heavy vehicle ratio	Heavy vehicle volume / ADT
	Geometric factors	$X_4$	Central-island	Diameter of central-island
		$X_5$	Circulatory roadway width	Width of circulatory roadway
		$X_6$	Circulatory roadway lane	Number of circulatory roadway lanes
		$X_7$	Number of approaches	Number of approaches
		$X_8$	Approach lane width	Width of approach lane
		$X_9$	Average approach lanes	Number of average approach lanes
	Environment condition factors	$X_{10}$	Lighting	0 if there is no lighting, 1 otherwise
		$X_{11}$	Parking	0 if there is no parking, 1 otherwise
		$X_{12}$	Bus stops	0 if there is no bus stops, 1 otherwise

외생변수는 일반 사고모형에서 사용되는 독립변수를 의미하며, 운영조건, 기하구조 및 환경조건 요인으로 분류하여 Table 2에 정리하였다.

운영조건 요인으로는 일평균교통량(ADT), 상충비 및 중차량 비율이 사용되었다. 일평균교통량은 1,130-27,165대/일, 중차량 비율은 0.00-0.34의 비율을 갖는 것으로 조사되었다. 상충비는 동영상 분석을 통하여 일평균교통량의 상충하는 차량 비율을 산출하여 사용하였다.

기하구조 요인은 회전부와 접근부로 구분하였으며, 회전부의 변수로는 중앙교통섬 크기, 회전차로 폭, 회전차로 수 및 접근로 수를 선정하였으며, 접근부의 변수로는 접근로 차로 폭, 접근로 평균 차로 수 및 접근로별 분리교통섬 수를 선정하였다.

마지막으로 환경조건 요인은 조명 유무, 주차시설 유무 및 정류장 유무로 정리하였다. 조명 유무는 최전교차로 내의 조명을 대상으로 하였으며, 주차시설 및 정류장은 접근부를 대상으로 조사하였다.

#### IV. 모형개발

##### 1. 사고건수와 EPDO의 관계 분석

###### 1) 직진 유형

2단계 최소자승(2SLS) 추정방법을 통한 직진 유형의 사고건수와 EPDO의 쌍방 관계 분석 결과는 Table 3과 같다. 각 모형에서 직진 유형의 사고건수( $Y_1$ )와 EPDO( $Y_1'$ )의 t 값은 15.727과 24.188로 분석되어, 각 방정식 내에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 즉, 직진 유형의 사고건수와 EPDO 관계가 쌍방적이고 동시에 상호균형이 유의미한 수준에서 성립되는 것으로 평가되었다.

Table 3. Result of 2SLS by straight type

Number of accidents			EPDO		
Variable	Coefficient	t value	Variable	Coefficient	t value
$Y_1'$	0.269	15.727**	$Y_1$	2.990	24.188**
$X_1$	2.722E-5	1.851*	$X_2$	-0.217	-2.345**
$X_8$	-0.220	-2.651**	$X_{11}$	1.646	3.022**
$X_9$	0.844	2.877**	$X_{12}$	0.908	2.332**
$X_{12}$	-0.360	-2.437**			
$R^2$	0.963		$R^2$	0.964	
$F$	205.334**		$F$	263.218**	

\*. t value is significant at the 0.10 level.

\*\* . t value is significant at the 0.05 level.

직진 유형의 사고건수를 내생변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 ADT( $X_1$ ), 접근로 차로 폭( $X_8$ ), 접근로 평균 차로 수( $X_9$ ) 및 정류장 유무( $X_{12}$ )로 분석되었다. ADT와 접근로의 차로 수는 사고건수와 양의 관계를 갖고 있으며, 교통량과 접근로의 차로 수가 증가할수록 회전차로 내 직진 차량의 상충기회가 증가하여 사고 발생 확률이 높아지는 것으로 평가되었다.

직진 유형의 EPDO를 내생변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 상충비( $X_2$ ), 주차시설 유무( $X_{11}$ ) 및 정류장 유무( $X_{12}$ )로 분석되었다. 주차시설 유무와 정류장 유무는 EPDO와 양의 관계를 갖고 있으며, 주차시설 및 정류장이 설치되어 있을 경우 회전교차로 내 직진 유형의 사고위험률은 증가하는 것으로 분석되었다. 반면 상충비가 증가할수록 EPDO는 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 상충기회가 많을수록 차량이 속도를 감속하여 EPDO가 감소하는 것으로 평가되었다.

###### 2) 차선변경 유형

직진 유형과 동일 방법을 이용하여 차선변경 유형의 사고건수와 EPDO의 쌍방 관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 각 모형에서 차선변경유형의 사고건수( $Y_2$ )와 EPDO( $Y_2'$ )의 t 값은 41.013과 30.236으로 나타났다. 이는 직진 유형과 마찬가지로 사고건수와 EPDO 간의 관계가 쌍방적이고 동시에 상호균형이 유의미한 수준에서 성립되는 것을 알 수 있다.

세부적으로 검토하면, 차선변경 유형의 사고건수를 내생변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 중차량 비율( $X_3$ )과 주차시설 유무( $X_{11}$ )로 나타났다. 두 변수는 사고건수와 양의 관계를 갖으며, 중차량 비율이 높아질수록 차선변경 중인 차량의 사고 발생 확률이 높아지는 것으로 분석되었다. 이는 중차량의 회전반경이 클에 따라 상충면적이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 주차시설이 설치되어 있을 경우에는 주차시설의 차량을 피해가기 위한 차선변경 횟수가 증가하여 사고건수와 양의 관계를 갖는 것으로 평가되었다.

한편 차선변경 유형의 EPDO를 내생변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 일평균교통량( $X_1$ ), 중차량 비율( $X_3$ ) 및 주차시설 유무( $X_{11}$ )로 분석되었다. 일평균교통량은 EPDO와 양의 관계를 갖는 것으로 나타났으며, 교통량이 증가할수록 차선변경 중인 차량의 사고위험률이 증가하여 EPDO가 높아지는 것으로

**Table 4. Result of 2SLS by lane change type**

Number of accidents			EPDO		
Variable	Coefficient	t value	Variable	Coefficient	t value
$Y_2'$	0.269	41.013**	$Y_2$	3.454	30.236**
$X_3$	0.015	3.186**	$X_1$	9.258E-5	2.396**
$X_{11}$	0.369	2.669**	$X_3$	-0.067	-3.570**
			$X_{11}$	-1.507	-3.008**
$R^2$	0.985		$R^2$	0.985	
$F$	827.178**		$F$	630.603**	

\*. t value is significant at the 0.10 level.  
 \*\*. t value is significant at the 0.05 level.

**Table 5. Result of 2SLS by others type**

Number of accidents			EPDO		
Variable	Coefficient	t value	Variable	Coefficient	t value
$Y_3'$	0.240	18.424**	$Y_3$	3.669	17.988**
$X_1$	1.255E-5	1.855*	$X_2$	0.268	3.420**
$X_2$	-0.041	-1.821*	$X_6$	-0.421	-3.421**
$X_5$	0.027	2.386**			
$X_{12}$	-0.169	-2.098**			
$R^2$	0.945		$R^2$	0.945	
$F$	134.335**		$F$	224.255**	

\*. t value is significant at the 0.10 level.  
 \*\*. t value is significant at the 0.05 level.

평가되었다. 중차량 비율과 주차시설 유무는 사고건수와는 달리 EPDO와 음의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 즉, 중차량의 비율이 증가하고 주차시설이 설치되어 있을 경우엔 사고건수는 증가하지만 단순 접촉사고가 많아 EPDO가 감소하는 것으로 판단된다.

**3) 기타 유형**

Table 5에서 보는 바와 같이 각 모형에서 기타 유형의 사고건수( $Y_3$ )와 EPDO( $Y_3'$ )의 t 값은 18.424와 17.988로 분석되어, 각 방정식 내에서 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 즉, 기타 유형의 사고건수와 EPDO 관계가 쌍방향적이고 상호균형이 유의미한 수준에서 성립되는 것으로 평가되었다.

세부적으로 살펴보면, 기타 유형의 사고건수를 내생 변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 ADT( $X_1$ ), 상충비( $X_2$ ), 회전차로 폭( $X_5$ ) 및 정류장 유무( $X_{12}$ )가 채택되었다. 사고건수와 양의 관계를 갖는 변수는 ADT와 회전차로 폭이며, 음의 관계를 갖는 변수는 상충비와 정류장 유무로 나타났다. 일반적으로 상충비가 증가할수록 사고 발생 확률이 높아지는 것으로 알려져 있으나, 2SLS 추정 결과에서는 부호가 역으로 추정되었

다. 이는 기타 유형의 사고 자료 부족으로 인해 변수가 모형을 충분히 설명하지 못한 것으로 평가되었다.

기타 유형의 EPDO를 내생변수로 설정한 방정식에서 통계적으로 유의미한 변수는 상충비( $X_2$ )와 회전차로 수( $X_6$ )로 분석되었다. 사고건수를 내생변수로 설정한 방정식과는 달리, 상충비는 EPDO와 양의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 즉, 상충비가 증가할수록 사고위험률이 증가하여 EPDO가 증가하는 것으로 평가되었다. 반면, 회전차로 수가 증가할수록 EPDO가 감소하는 것으로 분석되었다.

**2. 모형 종합 분석**

이 연구에서는 대응표본 t검정(Paired Sample t-test)을 통해 구축된 6개의 모형을 검정하였다. 그 결과 직진, 차선변경 및 기타 유형의 분석결과 상관계수는 0.547-0.697사이에 있으며, 유의확률은 0.572-0.789사이로 나타났다. 즉 “실제치와 예측치는 차이가 없다 ( $H_0 = d_0$ )”는 귀무가설을 모두 기각하지 못하여 실제치와 예측치의 차이가 있다고 할 수 없는 것으로 평가되었다.

2단계 최소자승 추정방법을 통해 운전유형별 사고건수와 EPDO의 관계를 분석한 결과, 각 유형의 사고건수와 EPDO는 서로 쌍방향적이고 상호균형이 유의미한 것으로 평가되었다. 직진, 차선변경 및 기타 유형 모두 계수의 값이 다르게 나타났지만, EPDO가 사고건수에 미치는 영향에 비해 사고건수가 EPDO에 미치는 영향이 더 큰 것으로 평가되었다. 특히 Table 6에서 보는 바와 같이, 각 유형별 분석 결과를 신뢰수준 90%( $\alpha=0.10$ ) 수준에 유의한 외생변수를 이용하여 비교 분석하였다.

직진 유형의 사고건수와 EPDO에 공통으로 영향을 미치는 변수는 정류장 유무로 분석되었다. 특정변수로는 사고건수의 경우 ADT, 접근로 차로 폭 및 접근로 평균 차로 수가 채택되었으며, EPDO의 경우엔 상충비와 주

**Table 6. Common and specific variables**

Classification	Exogenous variable	
	Common	Specific
Straight type	$Y_1$	$X_{12}$
	$Y_1'$	
Lane change type	$Y_2$	$X_3, X_{11}$
	$Y_2'$	
Others type	$Y_3$	$X_2$
	$Y_3'$	

차시설 유무가 채택되었다. 직진 유형의 사고건수에서는 접근로 차로 수가 많을수록 직진 교통량이 증가하여 사고 발생 확률의 기회가 많아지기 때문에 사고건수가 증가하는 것으로 평가되었다. 또한 직진 유형의 EPDO는 주차시설과 정류장이 설치되었을 경우 사고위험률이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 주차시설과 정류장에서 위치한 차량이 본선으로 합류하는 과정으로 인해 상충 기회가 증가하기 때문인 것으로 해석하였다.

차선변경 유형의 경우에는 공통변수로 중차량 비율과 주차시설 유무가 선정되었다. 특정변수는 사고건수의 경우에는 채택되지 않았으며, EPDO에서는 ADT가 선정되었다. 중차량은 회전차로내에서 차선을 변경할 경우에 회전반경이 크기 때문에 다른 차선의 차량과의 접촉면이 커지므로 사고가 증가하는 것으로 해석하였다. 주차시설의 유무는 직진 유형의 경우와 비슷한 의미로 해석이 가능하며, 주차시설의 차량이 본선에 합류하는 과정에서 주행 중이던 차량이 이를 피하기 위해 차선변경의 횟수가 증가하여 상충 기회가 증가하기 때문으로 평가되었다. EPDO에서 일평균교통량이 증가할수록 사고위험률이 높아지는 것은 기존 연구 결과와 일치하는 것으로 평가되었다.

마지막으로 기타 유형에서는 공통변수로 상충비가 채택되었다. 특정변수로는 사고건수의 경우 ADT, 회전차로 폭 및 정류장 유무가 선정되었으며, EPDO의 경우엔 회전차로 수가 선정되었다. 그러나 상충비는 기타 유형의 사고건수에 대해서는 통계적으로는 유의하나, 기존 연구의 결과와 부호를 달리하여, 설명력은 크게 없는 것으로 평가하였다. 기타 유형의 EPDO는 상충이 증가할수록 사고위험률이 높아지는 것으로 나타났으며, 이는 상충지점이 회전차로와 접근로에 위치하고 있는 특성에 의해 측면 직각 충돌사고의 발생 확률이 높기 때문인 것으로 평가하였다.

이 연구에서는 대응표본 t검정(Paired Sample t-test)을 통해 구축된 6개의 모형을 검정하였다. 그 결과 직진, 차선변경 및 기타 유형의 분석결과 상관계수는 0.547-0.697사이이며, 유의확률은 0.572-0.789사이로 나타났다. 즉 “실제치와 예측치는 차이가 없다 ( $H_0 = d_0$ )”는 귀무가설을 모두 기각하지 못하여 실제치와 예측치의 차이가 있다고 할 수 없는 것으로 평가되었다.

## V. 결론

이 연구는 회전교차로의 교통사고에 관한 연구로서

2SLS를 이용하여 사고건수와 EPDO 간에 쌍방향 관계를 분석하였다. 또한 교통사고를 운전 유형별로 구분하여 외생변수가 유형별 사고건수와 EODO에 미치는 영향을 비교 분석하였으며, 주요 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 운전 유형별 사고건수와 EPDO가 서로 영향을 미치는지에 대하여 쌍방향 관계를 설정하고, 이를 연립 방정식모형을 사용하여 분석하였다. 그 결과 직진, 차선변경 및 기타 유형의 사고건수와 EPDO는 서로 쌍방향 관계를 갖는 것으로 분석되었으며, 이는 통계적으로 유의미한 것으로 평가되었다.

둘째, 직진 유형의 사고건수를 설명하는 ADT, 접근로 차로 폭, 접근로 평균 차로 수 및 정류장 유무와 EPDO를 설명하는 상충비, 주차시설 유무 및 정류장 유무는 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 특히, EPDO는 주차시설 및 정류장 등 직진 차량의 통행에 방해가 되는 요인들이 있을 경우에 사고의 위험도가 커지는 것으로 평가되었다. 따라서 회전교차로 접근로에 주차시설 및 정류장의 설치를 최대한 자제해야 할 것으로 판단되었다.

셋째, 차선변경 유형에 영향을 미치는 요인으로 사고건수의 경우엔 중차량 비율과 주차시설 유무가 선정되었으며, EPDO의 경우엔 ADT, 중차량 비율과 주차시설 유무가 선정되었다. 이는 중차량의 큰 회전반경에 따라 다른 차선 차량과의 접촉면이 증가하는 것으로 평가되었다. 또한 주차시설 유무의 경우에는 직진 유형과는 달리, 주차시설에 위치한 차량이 본선에 합류하는 과정에서 주행 중이던 차량이 이를 피하기 위해 차선변경의 횟수가 증가하여 사고가 증가하는 것으로 해석되었다. 즉 회전교차로 접근로에 주차시설의 설치를 자제하여 사고를 줄일 수 있을 것으로 판단되었다. 교통량이 EPDO에 미치는 영향은 기존 연구 결과에 의해 설명될 수 있다.

마지막으로 기타 유형에서는 공통변수로 상충횟수가 선정되었으며, 이 변수는 기타 유형의 사고건수에 대해서는 기존 연구에 비해 설명력이 크게 없는 것으로 평가되었다. 반면, 회전교차로의 상충지점은 회전차로와 접근로에 위치하고 있는 특성에 의해 측면 직각 충돌사고의 발생 확률이 높기 때문에 상충비가 증가할수록 사고위험률이 증가하는 것으로 분석되었다.

이 연구는 회전교차로의 사고건수와 EPDO를 대상으로 연립방정식을 이용하여 쌍방향 관계를 분석하고, 운전 유형별 사고건수와 EPOD 모형식을 통해 사고에 영향을 미치는 외생변수를 비교 분석하였다는 점에 의의를 두고 있다.

향후 더욱 설명력 있는 연구가 되기 위해서는 보다 많

은 사고 자료와 인적요인을 고려할 수 있는 변수를 수집하여 이를 비교 분석해야 할 것이다. 특히 이 연구에서 자료의 불충분으로 인해 구분하지 못하였던 기타 유형을 세분화하여 각 유형에 대한 특성을 분석해야 할 것이다. 또한 도로의 기하구조와 운영 특성을 내생변수로 활용한 연구 및 모형의 예측에 대한 검증도 함께 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Han S. S., Kim K. H., Park B. H. (2011), Accident Models of Circular Intersections by Type in Korea, J. Korea Soc. Road Eng., Vol.13, No.3, pp.103-110.
- Hong E. J. (2010), A Study on Helping Activities of Mature and Senior Age Group and Their Generativity: Use of Simultaneous Equation Model, J. Korean Gerontological Soc., Vol.30, No.2, pp.515-534.
- Kim K. H., Park B. H. (2010), Developing the Traffic Accident Models of Arterial Link Sections by Driving Type, J. Korean Soc. Saf., Vol.25, No.6, Korean Society of Safety, pp.197-202.
- Kim K. M., Kim J. H. (2010), Forecasting Seoul Office Market Dynamics using a Simultaneous Equation System, J. Korea Planners Association, Vol.45, No.7, pp.21-29.
- Park B. H., Han S. W., Kim T. Y., Kim W. H. (2008b), Traffic Accident Models of Cheongju Four-Legged Signalized Intersections by Accident Type, J. Korean Soc. Transp., Vol.26, No.5, Korean Society of Transportation, pp.153-162.
- Park B. H., Yoo D. S., Yang J. M., Lee Y. M. (2008a), Analysis of Accident Characteristics and Development of Accident Models in the Signalized Intersections of Cheongju and Cheongwon, J. Korean Soc. Transp., Vol.26, No.2, Korean Society of Transportation, pp.35-46.
- Saccomanno F. F., Cunto F., Guido G., Vitale A. (2008), Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts using Simulated Rear End Conflicts, TRB 2008 Annual Meeting CD-ROM 08-2078, pp.90-95.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제65회 학술발표회 (2011.10.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 김경환
- ☞ 교신저자 : 박병호
- ☞ 논문투고일 : 2012. 1. 25
- ☞ 논문심사일 : 2012. 6. 17 (1차)  
2012. 8. 29 (2차)  
2012. 10. 17 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2012. 10. 17
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 2. 28
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필