

## 구조방정식을 이용한 도시부 4지 신호교차로의 사고원인 분석

### A Causational Study for Urban 4-legged Signalized Intersections using Structural Equation Method

오 주 택 Oh, Jutaek  
이 상 규 Lee, Sangkyu  
허 태 영 Heo, Taeyoung  
황 정 원 Hwang, Jeongwon

정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 조교수 (E-mail: jutaek@ut.ac.kr)  
정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail: thangkyl@ut.ac.kr)  
정회원 · 충북대학교 정보통계학과 부교수 (E-mail: theo@chungbuk.ac.kr)  
정회원 · 한국교통대학교 도시공학과 석사과정 (E-mail: koreatnu@naver.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** Traffic accidents at intersections have been increased annually so that it is required to examine the causations to reduce the accidents. However, the current existing accident models were developed mainly with non-linear regression models such as Poisson methods. These non-linear regression methods lack to reveal complicated causations for traffic accidents, though they are right choices to study randomness and non-linearity of accidents. Therefore, to reveal the complicated causations of traffic accidents, this study used structural equation methods(SEM).

**METHODS :** SEM used in this study is a statistical technique for estimating causal relations using a combination of statistical data and qualitative causal assumptions. SEM allow exploratory modeling, meaning they are suited to theory development. The method is tested against the obtained measurement data to determine how well the model fits the data. Among the strengths of SEM is the ability to construct latent variables: variables which are not measured directly, but are estimated in the model from several measured variables. This allows the modeler to explicitly capture the unreliability of measurement in the model, which allows the structural relations between latent variables to be accurately estimated.

**RESULTS :** The study results showed that causal factors could be grouped into 3. Factor 1 includes traffic variables, and Factor 2 contains turning traffic variables. Factor 3 consists of other road element variables such as speed limits or signal cycles.

**CONCLUSIONS :** Non-linear regression models can be used to develop accident predictions models. However, they lack to estimate causal factors, because they select only few significant variables to raise the accuracy of the model performance. Compared to the regressions, SEM has merits to estimate causal factors affecting accidents, because it allows the structural relations between latent variables. Therefore, this study used SEM to estimate causal factors affecting accident at urban signalized intersections.

#### Keywords

*traffic accident, urban intersections, structural equation methods, factor analysis, regression*

Main Author : Oh, Jutaek, Professor  
Development of Urban Engineering, Korea National University of  
Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, 380-702, Korea  
Tel : +82.43.841.5185 Fax : +82.43.841.5410  
email : jutaek@ut.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

# 1. 서론

## 1.1. 연구배경 및 목적

우리나라의 자동차 등록대수가 최근 10년간 지속적으로 증가하여 2011년도에는 1,800만대를 넘어섰다. 자동차 등록대수와 함께 교통사고 또한 크게 늘어 국가적 문제점으로 대두되고 있는 교통사고는 물적 손실 뿐만 아니라 국민의 인명과 고통이라는 피해를 발생시키고 있다. 이를 반영하는 교통사고 발생건수를 살펴보면 2005년에는 21만여건으로 2006, 2007년에는 발생건수를 유지하였지만 2008년 이후에는 증가 추세를 돌아섰고, 특히 2009년에는 231,900건으로 전년대비 7.5%가 상승하였다. 특히 일반국도의 교통사고 발생건수는 다소 감소 추세를 보이는 반면, 교차로 부근 또는 내에서 발생하는 사고건수는 꾸준히 증가하고 있어 이에 대한 과학적인 분석을 요구하고 있다.

기존의 교차로 안전관련 논문들을 살펴보면 차량자체 요인보다는 인적 요인 그리고 도로 및 주변 환경요인 등 변수에 의해 발생하는 비율이 높다. 특히 도시부 4지 신호 교차로에서의 교통사고에 관한 선행 연구들에서는 사고와 관련이 있는 다양한 요인분석을 하고 있는데, 이들 연구의 대부분은 포아송(Poisson) 또는 음이항(Negative Binomial) 분포기반의 비선형 모형들을 이용하여 요인분석을 하고 있다. 물론 이들 비선형 모형기반의 분석기법들이 임의성과 비선형성을 분석하는데 가장 기본이 되는 통계적 기법들이기는 하지만, 도로에서 발생하는 교통사고의 원인분석적 차원에서 접근하면 이런 사고예측방법론들만 가지고 사고발생의 설명변수들을 규명하는데는 구조적인 한계가 발생한다. 이는 이러한 통계적 방법들이 사고의 예측력을 높이는데 중점을 두고, 이를 위해 소수의 유효한 설명변수들만을 모형식에 포함시키기 때문이다. 따라서 이러한 소수의 설명변수들만을 가지고 이루어지는 사고의 요인분석은 도로의 많은 기하구조들이 미치는 사고의 영향력을 개별적으로 분석하는데 많은 문제점을 야기하고, 이러한 문제점들이 현재 개발 중인 도로안전편람(Highway Safety Manual)의 각 기하구조별 안전성능함수(Safety Performance Function, SPF)를 계산하는데 많은 어려움을 야기시키고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 도로 기하구조의 다양한 설명변수들을 포함하는 사고요인분석의 한 방법으로 변수의 다중관계를 포괄적으로 측정하고 탐색적인 분석을 하는 구조방정식을 이용하여 도로의 주요 기하구조들의 설명력을 분석하였다.

## 1.2. 연구수행 절차

본 연구에서 사용한 사고자료는 2007년도 서울시의 4지 신호교차로 188개 지점에서 발생한 교통사고자료를 이용하였으며, 교통사고의 원인과 유발요인들의 관계를 규명하기 위하여 요인들 간의 상호관계를 분석할 수 있는 구조방정식(Structural Equation Modeling)을 적용하였고, 분석 프로그램으로는 SPSS Ver. 20과 AMOS 20 프로그램을 이용하였다. Fig. 1은 본 연구의 수행절차를 나타낸다.

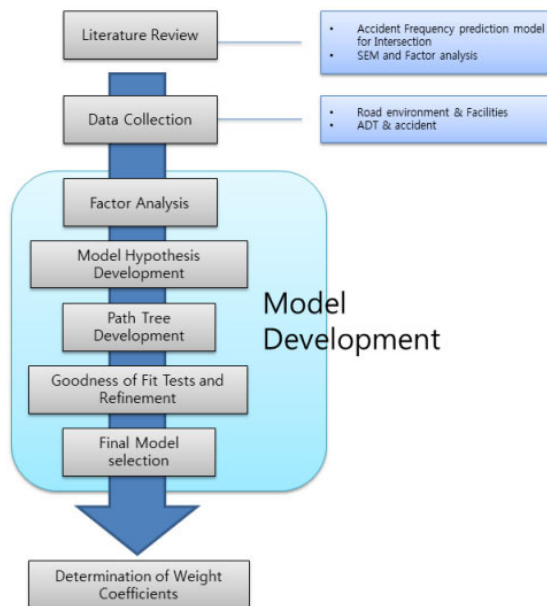


Fig. 1 Research Procedure Flow

## 2. 관련 연구 고찰

기존의 교통사고모형 개발에 관련한 선행 논문들을 살펴보면 상당수의 연구들이 비선형 회귀분석을 이용하여 신호교차로의 안전성을 분석한 것을 확인할 수 있다. 이들 연구들 중 몇 가지 의미있는 논문들을 살펴보면 다음과 같다.

### 2.1. 교차로 사고에 관한 연구

박병호(2008)는 청주시를 사례로 4지 신호교차로를 차종에 따른 사고모형을 개발하였다. 비선형 회귀모형인 음이항 회귀사고모형을 개발하였는데 모든 공통된 사고요인은 일평균교통량이며 소형차의 경우에는 주도로와 부도로의 차로수 차이, 승용차의 특정 사고요인은 주도로 차로폭합, 그리고 대형승합차의 경우 평균 황색 시간으로 분석하였다. 그리고 박병호(2008)는 4지 신호

교차로에서의 사고유형에 따른 교통사고모형 개발에서는 가산자료모형 선정을 위해 과산포 검정을 통해 음이항 회귀모형을 개발하였다.

박준태(2008)는 총 171개 지점을 대상으로 도시부 신호교차로의 안전성을 향상시키기 위하여 사고예측모형을 개발하였다. 사고예측모형은 포아송 회귀분석으로, 사고심각도 모형은 프로빗 모형과 우도비를 이용하여 모형을 검증·개발하였다. 분석 결과, 사고건수에는 교통량 및 차로수, 버스정류장 및 달레마구간 길이 등이 영향을 미치는 것으로 도출되었으며 사고 심각도에는 중차량 비율, 우회전 비율 교차로 지형, 차로 당 평균폭 등이 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

강영균(2011)은 도시부 신호교차로의 교통사고예측모형을 퍼지 및 신경망이론을 이용하여 개발하였다. 자료수집과정에서 발생하는 불확실성을 극복할 수 있는 방법론으로서 퍼지추론모형과 신경망이론모형을 적용하고 포아송 회귀분석과 비교하여 적합성을 검증하였다. 그 결과 포아송 회귀분석모형보다는 퍼지추론모형 및 신경망이론모형이 더욱 적합한 것으로 연구결과를 도출하고 있다.

박정순(2007)은 청주시 4지 신호교차로를 중심으로 도로환경요인과 교통사고의 관계에 대하여 상관분석과 회귀분석을 통해 사고추정모형을 개발하였다.

그 외 해외 논문을 살펴보면 McCoy & Malone(1989)은 방향별 좌회전 차로 설치에 따른 교통사고 감소에 대한 효과분석을 수행하였다. 그 결과, 추돌사고와 접촉사고 좌회전사고가 감소하였으며 주도로 일방향에서는 대략 20% 내외, 주도로 양방향에서는 대략 40% 내외의 감소가 나타났다.

Poch & Mannering(1996)은 비통제(비신호) 방식에서 안전성을 검토하였다. 그 결과, 교차로 내 통과교통량이 적은 경우 총 사고건수와 직각 충돌사고가 감소하는 것으로 분석되었다.

A. Vogt(1999)는 3년간의 자료를 이용하여 총 205개소를 대상으로 모형을 개발하였다. 그 결과, 지방부 4지 교차로에서 주도로의 좌회전 차로의 설치가 교통사고를 38% 줄이는 것으로 분석하였다.

이와 같이 교통사고 예측모형을 개발하는데 있어서 대부분의 기존 연구들은 비선형 회귀분석을 이용한 연구내용들이 대부분을 차지하고 있다. 반면 구조방정식은 측정모형(Measurement Model)과 이론모형(Structural Model)을 통하여 모형간의 인과관계를 파악하는 모형이다. 이 모형은 확증적 요인 분석을 통해서 측정오차가 없

는 잠재요인을 발견하고 회귀분석으로 잠재요인 간을 연결하는 방법으로 이해할 수 있다. 따라서 연구자는 다중변수관계를 포괄적으로 측정하고 탐색적인 분석에서 확인적인 분석까지 할 수 있는 장점을 가지고 있다(김계수, 2010). 이러한 구조방정식을 가지고 교차로의 안전성을 분석한 관련연구들을 살펴보면 다음과 같다.

## 2.2. 구조방정식에 관한 연구

이주연(2008)은 구조방정식을 이용한 고속도로의 교통사고 심각도에 작용하는 요인들을 분석하였다. 크게 도로요인 및 운전자요인, 환경요인을 외생 잠재변수로 설정하고 사고심각도를 내생 잠재변수로 설정하여 모형을 추정하였다. 모형 추정결과 도로요인과 환경요인은 사고심각도와 음의 관계에 나타났고, 운전자요인은 사고심각도와 양의 관계에 있는 것으로 나타났다.

조정일(2008)은 보행자의 사고심각도에 영향을 주는 요인을 구조방정식을 이용하여 분석하였다. 그의 연구에서는 세가지 주요요인을 구축하였으나, 차량요인만이 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히 차량요인 중에서도 범퍼높이, 차량무게, 충돌속도 중에서 충돌속도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

김상록(2011)의 연구에서는 구조방정식 모형을 활용하여 단속류 시설의 교통사고를 유형에 따라 유발요인을 분석하였다. 사고의 요인을 차대차 사고와 차대사람 사고로 나누었으며 유형별 심각도와 외생 변수들 간의 관계를 추정하였다. 그 결과 차대차 사고에서는 도로요인이, 차대사람 사고에서는 환경요인이 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 구조방정식을 이용한 기존의 연구들은 살펴보면 교차로에서 발생하는 사고의 심각도분석이 다수를 이루고 있으나, 도시부 교차로에서 발생하는 사고의 발생원인에 대한 분석은 아직 미비한 것을 확인할 수 있다.

## 3. 연구 방법

### 3.1. 변수 설정

본 연구에서는 현장 조사를 통해서 수집된 사고 관련 요소들 중 4지 신호교차로에서 발생한 교통사고 건수와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되는 도로의 환경 및 시설과 관련한 20개 변수(주·부도로 차선수, 주·부도로 진출입로수, 주·부도로 좌회전 차선수, 주·부도로 우회전 차선수, 주·부도로 제한속도, 교차로 신호주기, 교차로 영역, 주·부도로 차로 폭, 주·부도로 길어깨 폭, 주

·부도로 교통량, 주·부도로 중차량 비율)를 살펴보고, 변수들 중에서 상관분석과 다중 공선성 진단 등을 통해서 총 10개 변수(주도로 차선수, 부도로 차선수, 주도로 우회전 차선수, 부도로 좌회전 차선수, 부도로 우회전 차선수, 교차로 신호주기, 제한속도, 교차로 영역, 주도로 교통량, 부도로 교통량)를 선정하였고 제 1 종 오류(Type I Error)와 제 2 종 오류(Type II Error)를 고려하여 신뢰수준 90%( $\alpha=0.1$ )에서 모형개발을 하였다. 이들 변수들을 정리하면 Table 1와 같다.

Table 1. Main Explanatory Variables

Variables		Min.	Max.	Avg.
Major Lane	Number of lanes for approach	3	12	7.52
Minor Lane	Number of lanes for approach	1	11	4.91
Major Lane_Rigft	Number of right-turn lanes	0	3	0.58
Minor Lane_Left	Number of left-turn lanes	0	2	0.40
Minor Lane_Right	Number of right-turn lanes	0	2	0.38
Cycle	[Cycle of Intersection/60](min)	1.5	3.8	2.54
Major Speed Limit	Major Speed (Range 20~)	3	8	6.32
Intersection area	Intersection area(m <sup>2</sup> )	4.12	7.33	5.91
Major ADT	LN [Major·Minor ADT] (vph)	9,446	11,894	10,815
Minor ADT		8,369	11,204	10,125

#### 4. 연구모형 개발

본 연구에 대한 연구모형의 개발절차를 정리하면 다음과 같다. 먼저 요인분석은 여러 변수들 간의 상관관계를 분석하여 공통의 성향을 보이는 요인을 추출하여, 변인들이 갖고 있는 정보를 잠재된 적은 수의 구조(construct)로 축약하거나 요약하기 위해 사용하는 통계기법이다. 요인분석은 크게 탐색적 요인분석과 확증적 요인분석으로 구분된다. 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis)은 요인과 변수의 관계에 대한 사전지식이 없는 경우 사용하는 분석이며, 이미 가설에 의해 개별 변수들 간에 방향성과 상관성이 이론적으로 주워지고 이를 통계적으로 입증하는 분석방법을 확증적 요인분석(confirmative factor analysis)이라 한다. 본 연구에서는 도시부 교차로에서 발생하는 사고

의 발생원인에 대한 기존의 연구가 매우 미흡하여 가설에 대한 구성이 어려워 확증적 요인분석보다는 탐색적 요인분석을 통해 도시부 교차로의 기하구조 변수들에 대해 잠재요인을 찾아내고 이를 확증적 요인분석으로 재구성하여 구조방정식 모형에 적용하였다.

#### 4.1. 연구모형 개발에 따른 이론 고찰

##### 1) 제1단계 : 연구모형과 연구가설 개발

본 연구에서는 요인분석의 적합성을 확인하기 위해 SPSS 통계 패키지에서 기본적으로 제공되는 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) 측도와 Bartlett 구형성 검정을 수행한다.

KMO의 표본적합성(Measure of Sampling Adequacy, MSA)은 그 값이 0.5 이상이면 요인분석의 결과가 타당하며, Bartlett 검정은 P-값이 0.05 이하이면 “모상관행렬이 단위행렬이다”라는 귀무가설을 기각하기에 요인분석을 수행할 수 있음을 나타낸다. 또한 요인분석에서 회전후 요인부하량(factor loadings)를 이용하여 연구모형을 개발할 수 있으며 그에 따른 연구가설을 설정할 수 있다.

##### 2) 제2단계 : 경로도형구축

자료파일을 불러온 상태에서 구조방정식모형 분석 패키지를 이용하여 분석을 하기 위한 시작단계라고 할 수 있으며 본 연구에서는 AMOS 20을 사용하였다.

##### 3) 제3단계 : 모형의 분석 및 모형의 인정평가

모형의 식별(model identification)은 제안된 모형이 가치 있는 모형으로 받아들여질지 여부를 평가하는 것을 말한다. 다시 말해서 모형이 수집된 자료에 적용해 볼 수 있는지를 심사하는 과정이라고 할 수 있다.

모형의 적합성 인정평가방법에는 절대부합지수와 증분적합지수, 간명부합지수 등을 이용한다. 절대적합지수는  $\chi^2$ (카이제곱), GFI(Goodness of Fit Index, 적합도지수), AGFI(Adjusted GFI, 조정된 적합지수), RMR(Root Mean-Square Residual, 평균제곱잔차제곱근)이 있으며, 증분적합지수는 NNFI(Non-Normed Fit Index, 비표준적합지수)가 있다. 간명적합지수는 PGFI(Parsimonious Goodness-of-Fit Index, PGFI, 간명기초적합지수), PNFI(Parsimonious Normed-of-Fit Index, 간명표준적합지수), AIC(Akaike Information Criteria)가 있다.

그러나 앞에서 언급한 몇 가지 지수에 대한 판단기준은 학자마다 의견이 서로 다르기 때문에 기본적인 요건을 만족하지 못하는 경우 본 연구에서는 Table 2와 같은 기준을 설정하여 모형의 적합성을 판단할 수 있도록 하였다.

Table 2. Goodness-of-fit Index

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Optimum Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig. < $\alpha=0,1$	sig. > $\alpha=0,1$	sig. > $\alpha=0,1$
	GFI	0	above 0.9	1
	AGFI	0	above 0.9	1
Incremental Fit Measures	RMR	below 0.1	below 0.1	0
	NFI	0	below 0.9	1
	NNFI(TLI)	0	above 0.9	1

#### 4) 제4단계 : 모형의 해석

모형의 적합도 지수에 의해서 모형의 적합도가 만족하는 모형을 선정 후 연구자는 각 추정치에 대한 해석을 하고 결론을 논리적으로 도출한다. 이는 회귀분석에서 분산분석표를 통해서 회귀모형의 유의성을 판단한 다음 각 변수의 유의성은 t 값을 통해서 판단하는 절차와 동일하다고 하겠다.

또한 분석결과 모형의 수정지수(Modification Indices)의 결과값을 검토하여 연구모형을 수정할 수 있으며, 수정지수를 처리할 때 주의할 사항은 논리적으로 변수간의 관계가 타당한지 여부를 고려하여야 한다는 것이다. 즉, 공분산이 존재할 개연성이 있을 때 처리해야 하며, 연결하는 것이 비논리적이거나 연결하지 않도록 하여야 한다.

#### 5) 제5단계 : 최종모형 선택

앞에서 실시한 제1단계에서부터 제4단계까지를 거쳐 연구자는 최종모형을 선정할 수 있다.

## 4.2. 연구모형 개발

### 1) 연구모형과 연구가설 개발

도시부 4지 신호교차로의 교통량 및 도로시설 및 환경을 조사하여 총 188개 교차로 데이터를 취득하였다. 188개의 데이터를 이용하여 요인분석을 실시하기 위하여 Table 3과 같이 원자료를 입력하였다.

Table 3. Input Data Protocols

ID	Major Lane	Minor Lane	Major ADT	Minor ADT	...	Frequency
1	9	8	11.105	10.655	...	17
2	12	9	11.188	11.007	...	24
3	7	4	11.156	9.666	...	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
188	6	4	9.446	9.341	...	3

원자료에 따른 KMO 값과 Bartlett의 구형성 검정 분석 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.720
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	649.691
	df	45
	Sig.	0.000

본 연구의 자료를 이용한 KMO의 표본적합성은 0.720으로 분석되어 0.5보다 크기에 조건을 만족하고, Bartlett의 구형성 검증결과  $P\text{-값} < 0.000$ 로 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 통계적으로 유의하기에 모상관행렬이 단위행렬이 아니라는 충분한 증거를 보여주고 있어 요인 분석의 적합성을 보여주고 있다.

탐색적 요인분석을 통해 본 연구의 연구모형 및 연구가설을 개발하기 위해 탐색적 요인분석의 결과인 회전 후 요인부하량을 Table 5에 제시하였다. 탐색적 요인분석의 회전 후 요인부하량에 대한 분석결과 세 개의 요인이 도출되었으며, 첫 번째 요인은 주도로 차선수, 부도로 차선수, 교차로 신호주기, 주도로 제한속도, 교차로 영역 변수로 구성되며, 두 번째 요인은 주도로 우회전, 부도로 좌회전, 부도로 우회전 변수로 구성되었다. 마지막으로

Table 5. Rotation Component Matrix

	Component		
	1	2	3
Major Lane	0.121	0.100	0.847
Minor Lane	0.197	0.493	0.682
Major Lane_Rigft	0.060	0.755	0.035
Minor Lane_Left	-0.153	0.754	0.140
Minor Lane_Right	0.027	0.773	0.122
Cycle	0.026	0.003	0.694
Major Speed Limit	0.413	0.106	0.522
Intersection area	0.109	0.403	0.790
Major ADT	0.785	0.202	0.123
Minor ADT	0.846	0.130	0.030

세 번째 요인은 주도로의 교통량과 부도로의 교통량 변수로 구성됨을 Table 5를 통해 확인할 수 있다. 첫 번째 요인은 교통량 요인을 나타내는 요인이며, 두 번째 요인은 회전요인, 세 번째 요인은 기타 도로기하구조 및 운영 요인을 나타내는 잠재요인으로 간주할 수 있다.

Table 5의 회전후 요인부하량 분석 결과를 이용하여 연구모형 구축에 필요한 가설의 설정을 확인하고 Fig. 2와 같이 도식하였다. 본 연구에서는 간주되어진 세 요인을 통해 교통사고 빈도를 종속변수로 하여 모형을 개발하였다.

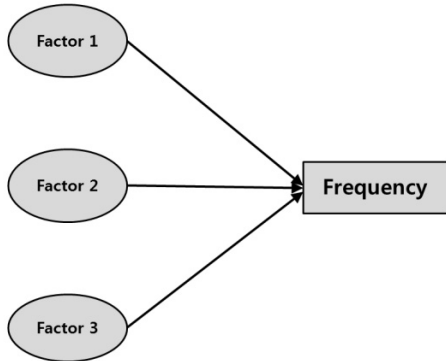


Fig. 2 Model Hypotheses

- 연구가설 : 각 Factor은 사고빈도에 유의한 영향을 미칠 것임

2) 경로도형 구축

Table 5의 회전후 요인부하량과 연구가설의 결과를 반영하여 경로도형을 구축한 결과 Fig. 2와 같이 구축되었다.

3) 모형의 분석 및 모형의 인정평가

Fig. 3의 경로도형 분석을 시행하여 Table 6과 같은 결과가 도출되었다.

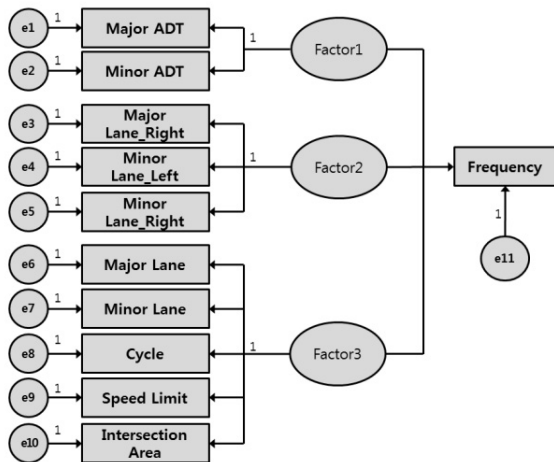


Fig. 3 Path Trees for Models

Table 6. Model Comparison Index

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Basic Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig. < $\alpha=0.1$	sig. > $\alpha=0.1$	0.00
	GFI	0	above 0.9	0.90
	AGFI	0	above 0.9	0.83
	RMR	below 0.1	below 0.1	0.37
Incremental Fit Measures	NFI	0	below 0.9	0.85
	NNFI(TLI)	0	above 0.9	0.85

4) 모형의 해석

분석결과  $\chi^2$ , RMR, GFI, AGFI, RMR, NFI, NNFI 모두 적정모형 기준에 미치지 못함을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 모형의 적합도를 높이기 위해 Table 7의 수정지수(Modification Indices) 결과값을 통해 최적모형에 가장 부합할 수 있는 수정모형을 제시하였다.

Table 7. Covariances (Group number 1-Default model)

	M.I.	Par Change
e2 ↔ e10	23.848	0.206
e3 ↔ e10	6.408	0.029
e9 ↔ e1	12.725	0.158
⋮	⋮	⋮
e4 ↔ e10	5.034	0.077

5) 최종모형 선택

본 연구에서 경로모형의 적합도를 높이기 위해 가장 많은 수정지수와 관련되어 있는 변수들을 수정 및 제거해 가며 본 연구의 최종모형이 설정되었으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4의 최종모형의 분석결과 RMR이 0.098으로 본 연구에서 설정한 충족 요건에 만족하였을 뿐만 아니라  $\chi^2$ : 0.54, GFI: 0.98, AGFI: 0.94, NFI: 0.97, NNFI: 1.00로 모든 부합지수가 적정모형의 충족 요건을 만족하는 것으로 분석되었다. 특히 NNFI(TLI)와 같은 경우는 최종모형의 분석 값이 1.00로 최적모형에 만족하는 것으로 분석되었다.

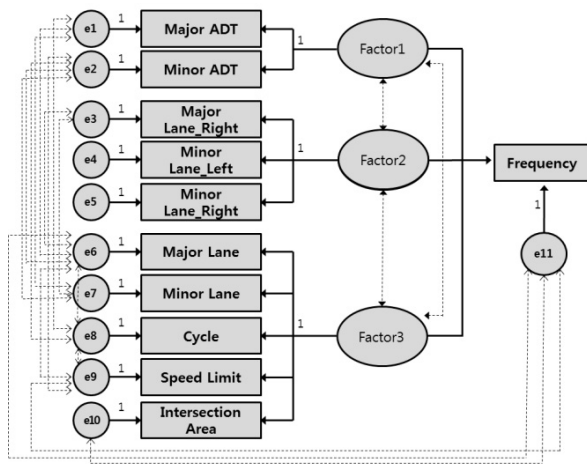


Fig. 4 Development of the Final Model

Table 8. Goodness-of-Fits for the Final Model

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Basic Model	Final Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig. < $\alpha=0,1$	sig. > $\alpha=0,1$	0.000	0.54
	GFI	0	above 0.9	0.90	0.98
	AGFI	0	above 0.9	0.83	0.94
	RMR	below 0.1	below 0.1	0.373	0.098
Incremental Fit Measures	NFI	0	below 0.9	0.85	0.97
	NNFI(TLI)	0	above 0.9	0.85	1.00

Fig. 4의 최종 모형에 대한 표준화된 추정값(Standardized estimates)분석 결과를 요약하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있으며, 잠재요인을 수식화하여 표현하면 Table 9와 같이 나타낼 수 있다.

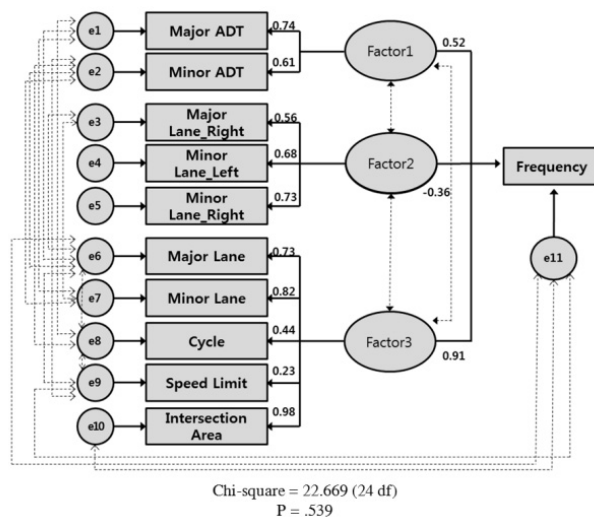


Fig. 5 Standardized Estimates for the Final Model

Table 9. Weights for the Latent Factors

	Formula	t-value	p-value
frequency	Factor 1×0.524+Factor 2×(-0.361)+Factor 3×0.909	-	-
Factor 1 (traffic volumes)	Major ADT×0.737 +Minor ADT×0.610	2.946	0.003
Factor 2 (turning traffics)	Major Lane_Right×0.556+Minor Lane_Left×0.684+MinorLane_Right×0.728	-2.105	0.035
Factor 3 (road elements and operations)	Major Lane×0.726+Minor Lane×0.824+Cycle×0.440+Speed Limit×0.227+Intersection Area×0.983	5.325	0.000

교통사고에 미치는 요인들을 살펴보면 크게 교통량요인, 회전차로요인, 그리고 기타 도로기하구조 및 운영요인들로 인해 사고발생이 일어나는 것을 알 수 있다.

모형 분석 결과 사고빈도를 추정하는 척도로는 교통량 변수로 구성된 Factor 1: 0.524, 회전차로변수로 구성된 Factor 2: -0.361, 그리고 기타 도로기하구조 및 운영 변수로 구성된 Factor 3: 0.909로 사고발생에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 Factor 1(교통량요인)로 분석되었다. 또한 각 Factor의 p-value가 0.05보다 낮으므로 Factor는 통계적으로 유효하게 분석되었다. Factor 1(교통량요인) 구성요소는 주로 교통량과 부도로의 교통량으로 사고에 미치는 가중치는 0.52로 사고발생에 3개의 Factor 중 가장 낮게 분석되었으나, 도로 사고 분석에 교통량이 중요한 요인이 분명하다는 사실과 가중치의 값이 현저히 적지 않으며 Factor 3과 인과관계가 다수 연결되었다는 점에서 사고발생에 결코 무시해서는 안 될 중요한 요인 중 하나임이 틀림없다. 사고발생에 영향을 미치는 Factor 중 음(-)의 영향을 미치는 요인으로 분석된 Factor 2는 도로 차로수 중에서도 선회차로로 구성요소를 이루고 있다.

이 중 부도로의 우회전 차선수가 0.73으로 가장 사고 발생 영향을 줄이는 요인으로 분석되었고 부도로 좌회전 차선수가 0.68, 주로 우회전 차선수가 0.56으로 분석되었다. 마지막으로 Factor 3(기타 도로기하구조 및 운영요인)은 교차로 주도로 및 부도로와 관계없이 복합적으로 포함된 주·부도로 차선수, 교차로 신호주기, 제한속도, 교차로 영역이 하나의 요인으로 구성되어 있다. 이 중에서도 교차로의 영역이 0.98로 가장 사고발생에 작용하는 큰 요인으로 분석되었으며 부도로 차선수가 0.82, 주로 차선수 0.73, 교차로 신호주기

0.44, 제한속도가 0.23으로 분석되었다.

Factor 1, 2, 3 중 음(-)의 영향을 미치는 Factor 2는 Factor 1, 3과 다르게 차량의 회전, 선회와 관계가 있는 변수들이 포함되어 있다. 이는 교차로의 직진차량과 회전차량을 명확히 분리함으로써 사고발생을 감소시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다. 반면 가중치가 가장 높은 Factor 3은 교차로를 횡단하는데 필요한 통행시간이 길어질수록 사고발생을 증가시킬 수 있음을 보여준다고 볼 수 있다.

### 4.3. 연구결과 분석

구조방정식을 이용하여 구축된 사고모형의 분석결과를 살펴보면, 우선 구조방정식 모형에서는 사고에 대한 설명요인을 크게 3가지로 구분하여 교통사고발생정도에 미치는 영향을 분석함을 알 수 있다. Factor 2는 도로의 회전차로에 관한 요인인데 회전을 전용으로 하는 차로의 설치가 사고발생정도를 낮출 수 있음을 의미한다. 교차로 사고는 회전에 의한 교통상충이 많아지므로 증가한다. 이를 회전차로가 완하시키기 때문이라고 판단된다. 회전차로에 대한 본 연구의 결과는 오일석(2007)의 연구 내용에서 회전차량의 비율이 사고건수나 심각도에 많은 영향을 미친다는 연구결과와 일치하며, Harwood, et al.,(2002)의 연구에서도 좌회전 차로 일방향 설치 시 18~24%, 양방향 설치 시 33~48%가 감소한다는 결과를 도출하여 회전차로의 설치가 사고의 빈도를 감소시킨다는 본 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

또한 Factor 1(교통량 요인)은 주·부도로 교통량이 많을수록 교통사고발생정도가 높았는데, 이는 교통량이 많을수록 사고에 노출되는 확률이 높아지기 때문이며, 이러한 연구결과는 Lau & May(1988) 논문 이외에도 많은 기존의 연구들에서 확인할 수 있다.

기타 도로기하구조 및 운영변수로 구성된 Factor 3 역시 사고발생정도를 높이는 요인으로 분석되었는데 Factor 3의 항목으로는 주·부도로 차선수, 교차로 신호주기, 제한속도, 교차로 영역이 포함되어 있다. 변수들 중 주·부도로 차선수는 교통량과 밀접한 관련이 있기 때문에 역시 사고발생정도를 높인 것으로 판단되며 이는 Harwood(1996)의 연구에서 비신호 교차로에서는 접근로가 많을수록 교통사고가 감소하지만 도시부의 신호교차로에서는 오히려 증가한다는 연구와 일치하는 내용이다. 또한 교차로가 넓을수록 차량이 횡단하는 시간이 길어지기 때문에, 이 변수 역시 사고의 노출(Exposure)을 높여 사고를 발생시킬 수 있는 요인이라

고 볼 수 있다. 또한 Factor 3에 속해 있는 신호주기, 차량속도에 대한 변수들 역시 교차로 사고의 주요 설명요인들이라는 기존의 많은 연구결과들과 일치하며, 이 설계요소들에 대한 세심한 주의가 필요하다 할 수 있다.

## 5. 결론

교통사고는 다양하고 복잡한 요인에 의해 발생한다. 따라서 사고를 효율적으로 관리하고 예방하는 방법으로 사고의 원인에 대한 관심이 필요하다. 기존의 선행 연구들에서는 주로 Poisson 모형 등의 비선형 회귀분석을 이용하여 원인분석을 실시한다. 반면 본 연구에서는 사고발생의 원인을 보다 다양하게 분석하고, 이들 설명변수들이 교차로에 미치는 요인들을 구조방정정식을 통해 분석하고자 하였다.

본 연구에서는 잠재변수들을 설명하기 위해서 관측변수를 주도로 차선수, 부도로 차선수, 주도로 우회전 차선수, 부도로 좌회전 차선수, 부도로 우회전 차선수, 교차로 신호주기, 교차로 영역(넓이), 제한속도, 주도로 교통량, 부도로 교통량, 총 10개의 주요변수로 선정하였으며, 4지 신호교차로 188개 지점의 데이터를 이용하였다.

본 연구에서 보여준 구조방정식에 의한 모형개발은 사고빈도를 정확하게 예측하기 위한 목적보다는 각 주요설명변수들이 사고에 영향을 미치는 설명력을 분석하기 위한 목적에 좀 더 무게를 두고 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 모형은 한국형 도로안전편람 개발에 필요한 주요 도로기하구조들의 안전성능함수를 계산하는데 많은 도움을 줄 수 있다고 판단한다.

본 연구진에서는 향후 연구과제로 도시부 도로 뿐만 아니라 지방부 도로를 포함한 다양한 도로유형에서 이루어지는 사고요인분석의 필요성을 제기하고자 한다. 이는 아직 국내의 안전성관련 연구가 미국 등 주요 도로 선진국에 비해 분석기법의 다양성, 응용성 등이 상대적으로 부족함을 의미한다. 또한 기존의 사고관련연구들이 사고의 빈도와 심각도를 각기 분리하여 모형개발을 하고 있는 문제점을 보완하기 위해 사고빈도와 심각도를 동시에 고려하는 모형방법론의 개발이 앞으로 국내 교통안전분야의 발전을 유도하는 또 하나의 필요한 연구분야라고 생각한다. 또한 많은 연구자들이 지적하는 바와 같이 사고발생에 대한 인적, 기후적 요인들의 영향력 분석 역시 보다 구체적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.



## 감사의 글

이 논문은 2012년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

## References

- Ha T., Kang J., Park J., 2001. Development and Application of Traffic Accident Forecasting Model for Signalized Intersections (Four-Legged Signalized Intersections In Kwang-Ju), *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.19, No.6, pp.207-218
- Kang Y., Kim J., Lee S., Lee S., 2011. Development of Traffic Accident Frequency Prediction Model in Urban Signalized Intersections with Fuzzy Reasoning and Neural Network Theories, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol.13, No.1, pp. 69-77
- Park B., Han S., Kim T., Kim W., 2008. Traffic Accident Models of Cheongju Four-Legged Signalized Intersections by Accident Type, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.26, No.5 pp.53-162
- Park J., Lee S., Kim J., Lee D., 2008. Development of a Traffic Accident Prediction Model for Urban Signalized Intersections, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.26, No.4, pp.99-110
- Park B., Park G., In B., 2008. Accident Models of 4-Legged Signalized Intersections by Vehicle Type in the Case of Cheongju, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol.10, No.4, pp.161-170
- Park J., Kim T., Yu D., 2007. Correlation Analysis and Estimation Modeling Between Road Environmental Factors and Traffic Accidents (The Case of a 4-legged Signalized Intersections in Cheongju), *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.25, No.2, pp.63-72
- Lee J., Chung J., Son B., 2008. Analysis of Traffic Accident Severity for Korean Highway Using Structural Equations Model, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.26, No.2, pp.17-24
- Kim S., Bae Y., Jeong J., Kim H., 2011. Factor Analysis of Accident Types on Urban Street using Structural Equation Modeling(SEM), *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.29, No.3, pp.93-101
- Hong J., Doh T., 2002. Development of a Traffic Accident Prediction Model and Determination of the Risk Level at Signalized Intersection, *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol.20, No.7, pp.155-166
- O I., Kim S., Sin C., 2007. Development of Traffic Accident Forecasting Model for Signalized Intersections (Focusing National Highway in Kyonggi Province), *Proceedings of the KOR-KST Conference*, Korean Society of Transportation, pp.315-322.
- Ha O., 2005. *Development of Accident Prediction Models and Accident Injury Severity for Rural Signalized Intersections*, Hanyang University graduate school
- Kim W., Lee S., 2001. Namgung Moon, Hirofumi Imada. Constructing Method of Traffic Accidents Prediction Model for Safety Evaluation at Intersections, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Korean society of civil engineers, Vol.21, No.4-D, pp.427- 435
- McCoy P. T., M. S. Malone., 1989. Safety Effects of Left-Turn Lanes on Urban Four- Lane Roadways, *Transportation Research Record 1239*, TRB
- Poch M., F. L. Mannering., 1996. Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies, *Presented at the 75th Annual Meeting of the BRT January*
- Vogt A., 1999. *Crash Models for Rural Intersection; Four-Lane by Two-Lane Stop Controlled and Two-Lane Signalized*, FHWA-RD, pp.98-128
- Kim, K., 2010. *AMOS 18.0*, Hannarae Academy
- Lee H., Lim J., 2011. *SPSS 18.0 Manual*  
(접수일 : 2012. 7. 5 / 심사일 : 2012. 7. 10 / 심사완료일 : 2012. 11. 23)