

토지이용 및 교통특성을 반영한 교통사고 예측모형 개발 연구

Development of Traffic Accident Forecasting Models Considering Urban-Transportation
System Characteristics

박 준 태

(교통안전공단 안전진단처 책임연구원)

손 의 영

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

장 일 준

(경원대학교 도시계획학과 교수)

이 수 범

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 과정
- II. 이론 및 선행 연구고찰
 - 1. 토지이용과 교통사고의 관계
 - 2. 지역단위 교통사고 예측모형 고찰
- III. 분석자료 구축 및 방법론 설정
 - 1. 분석자료 수집개요
 - 2. 분석방법론 정립
- IV. 토지이용 기반 교통사고 예측모형 개발
 - 1. 토지이용을 고려한 유형구분 결과
 - 2. 사고분포 검정 및 과분산 분석
 - 3. 모형개발 결과
 - 4. 공통요인 변수
 - 5. 특성요인 변수
 - 6. 모형 검증
- V. 결론 및 향후과제
참고문헌

Key Words : 토지이용, 개발밀도, 교통안전, 교통사고예측, 기초자치단체

Land Use, Development Density, Traffic Safety, Traffic Accident Prediction, Local Government

요 약

본 연구에서는 서울시 자치구(행정구역) 중심의 거시적 사고예측모형을 개발하였다. 사고예측모형 개발과정에서 서울시 전체를 하나의 모형식으로 개발하지 않고 지역 토지이용(개발밀도)과 교통사고빈도와의 관계를 분석하여 토지이용 유형에 따른 사고예측모형을 개발하였다. 토지이용과 교통사고빈도와의 관계에서 개발밀도(연상면적)가 높을수록 교통사고빈도가 높게 나타나는 상관성을 파악하였으며 주거연상면적, 상업연상면적, 업무연상면적 모두 교통사고와 반응하는 특징이 다름을 확인할 수 있었다. 총 4개의 유형구분이 가능하였으며 각 유형에 대한 지역특성과 사고특성을 살펴보았다. 4개 유형의 모형에 반영된 설명변수는 공통변수와 각 유형별로 상이한 특성변수가 도출되어 지역적 특성이 모형에 반영된 것으로 판단할 수 있다. 사회·경제적 변수로는 통행을 유발·유입시키는 교통활동을 대변할 수 있는 변수가 채택되었으며 교통여건 변수로는 교통시설 및 안전과 관련된 변수가 채택되었다.

This study proposed a traffic accident prediction model developed based on administrative districts of Seoul. The model was to find the relationship between accident rates and the representative land usage of the districts (development density) - the higher the development density (building floor area) is, the higher the traffic accident rate is. The findings showed that traffic accident statistics differ from (1) residential building floor area, (2) commercial building floor area and (3) business building floor area.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원 (10 교통체계-미래03)에 의해 수행되었습니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지금까지 국내에서는 다양한 교통안전정책과 활동을 기반으로 교통사고 감소에 많은 노력을 해오고 있으나, OECD 국가를 중심으로 비교하여 보면 여전히 교통사고¹⁾의 발생 수준이 심각한 수준²⁾임을 알 수 있다. 이를 위해서는 전 국민이 적극적으로 참여의식을 갖고 안전의식 수준을 제고시키려는 노력이 절대적으로 필요하겠지만 앞서 국가적, 지역적 차원에서의 교통안전정책의 효율적 수립 및 집행이 선행되어야 할 것이다. 이에 지속적인 노력과 함께 새로운 교통안전 대책 수립의 접근방식이 필요하다고 판단된다.

우리나라는 교통안전법에 의해 1980년부터 5년마다 중장기 종합계획으로 교통안전기본계획을 수립하여 현재 6차(2006~2011) 기본계획이 시행되고 있으며, 현행 교통안전법에 지방자치단체는 주민의 생명과 재산을 보호하기 위한 자자체별 맞춤형 교통안전정책 수립 시행을 규정하고 있어(교통안전법 제3조, 제17조~제20조) 교통안전 향상을 위한 기초자치단체 차원의 대책 수립 및 역할분담이 강조되고 있다. 이는 기초자치단체가 지역실정에 맞는 내실 있는 지역교통안전정책을 실질적으로 주도하여 추진하는 것을 의미한다.

그러므로 자치단체들이 가지고 있는 다면적인 특성을 체계적으로 분석하여 각 자치단체의 특성에 부합하는 효율적인 교통안전정책의 수행이 필요하나 대부분의 기초자치단체는 교통안전 관련 예산 확보가 어려우며, 교통안전 정책에 대한 관심부족, 교통안전 전문가 부족 등의 이유로 지역교통안전기본계획의 수립 및 이행이 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

현재 기초자치단체의 교통안전기본계획 수립시 활용

할 수 있는 예측모형에 관한 연구는 미흡하다고 할 수 있다. 이를 개발할 경우 교통안전 대책을 효율적으로 추진할 수 있는 기본적인 틀을 마련할 수 있을 것이다. 교통안전 대책을 효율적으로 추진하기 위해 필요한 지역 단위 거시적 교통사고 예측 모형을 개발하여 자치단체에서 활용할 수 있도록 제공하는데 본 연구의 목적을 두었다.³⁾

현재 거시적 교통사고 예측모형으로 널리 사용되고 있는 방법론은 선형회귀모형이다. 대부분의 선형회귀모형은 오차에 대한 가정과 각종 사회경제지표와 교통사고와의 관계가 선형임을 전제로 한다. 다소 설명력의 차이는 있지만 적용이 간편하고 결과해석이 용이하기 때문에 회귀모형이 널리 사용된다. 하지만 급격한 도시개발이나 도시계획구조가 변경되었을 때 교통사고 빈도를 예측하기 위한 사회경제지표 자료가 부족하여 추정 오차가 많을 수 있다. 사회경제지표에 초점을 맞춘 선행연구들은 최근 변화하고 있는 국내의 상황을 반영하기에는 다소 무리가 있다고 판단된다. 이에 토지이용에 기반을 두는 새로운 교통사고 예측모형을 개발하고자 한다. 본 연구는 일반적으로 널리 사용되는 사회경제지표를 선형이란 가정을 하지 않고, 다양한 지역의 특성을 반영할 수 있는 변수에 대한 시장분할⁴⁾ 및 추가 변수 도입⁵⁾을 토대로 새로운 유형별 교통사고 예측모형을 개발하였다.

본 연구에서 제시하는 유형별 토지이용-사고발생 모형과 국내의 선행연구의 자료를 비교하여 예측력 개선에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 이를 통해 보다 정확한 교통사고예측이 가능하게 함으로써 지역단위 교통사고발생 안전성을 평가하고 안전개선을 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하고자 한다. 본 연구에서 개발된 모형의 결과는 향후 지역단위의 교통사고예측모형 활용 시 토지이용과 추가변수의 도입가능성에 대한 선행적인 연구가 될 것으로 판단된다.

- 1) 교통사고의 사전적 의미는 도로상에서 차량, 노면, 전차, 열차 등의 교통에 의해 생긴 사고로서 교통수단의 운행과정에서 어떤 불안정한 행동이나 조건으로 운행을 저해하거나 또는 운행할 수 없는 상태가 되면서 인명에 피해를 주고 재산상 손실을 야기 시키는 사건을 말함
- 2) OECD(2008)의 국가 전체 인구10만명당 사고관련 특성을 비교하여보면 다음과 같음.
: 사고발생건수는 13.0(평균 8.7), 어린이발생사고 3.1(평균1.7), 고령자 37.7(평균12.3)
- 3) 제6차 교통안전기본계획이 수립되어 향후 지방자치단체별로 교통안전 기본 및 연차별 계획을 수립하여야 하는 실정이며, 고려 가능한 예측모형은 다소 미흡함. <http://www.mltm.go.kr>
- 4) Data Mining기법을 활용하여 교통사고 발생률과 독립변수 관계의 비선형관계(유형구분)를 증명하며, 증명된 경우 유사성을 바탕으로 모형의 유형을 구분.
- 5) 토지이용을 대변하는 연상면적을 활용할 경우 계획단계의 토지이용계획도를 가지고도 도시의 대안별 안정성 평가가 가능할 것으로 판단됨. 또한, 기존의 사회경제지표인 인구, 자동차 등록대수에 초점을 맞춘 변수에 도시, 교통측면의 변수 추가도입을 통한 모형의 예측력을 개선할 것으로 판단됨.

2. 연구의 내용 및 과정

본 연구의 시간적 범위는 2000년~2009년으로 한정하였으며, 공간적 범위는 서울특별시 기초자치구 25개로 구분하였다.

수집하는 자료는 경찰청 자료(교통사고 빈도 등), 통계청자료(인구통계, 교통, 도시행태 특성), 과세대장자료(용도별 연상면적 및 대지면적 등) 등의 자료를 활용하였다.

본 연구는 지역의 특성을 반영한 유형별 교통사고 예측모형 개발을 위하여 다음과 같은 단계별 내용을 연구의 방법으로 정하였다.

첫째, 도시 및 교통 분야의 연구를 검토하고 도시개발과 교통사고발생의 관련성을 정리하였다.

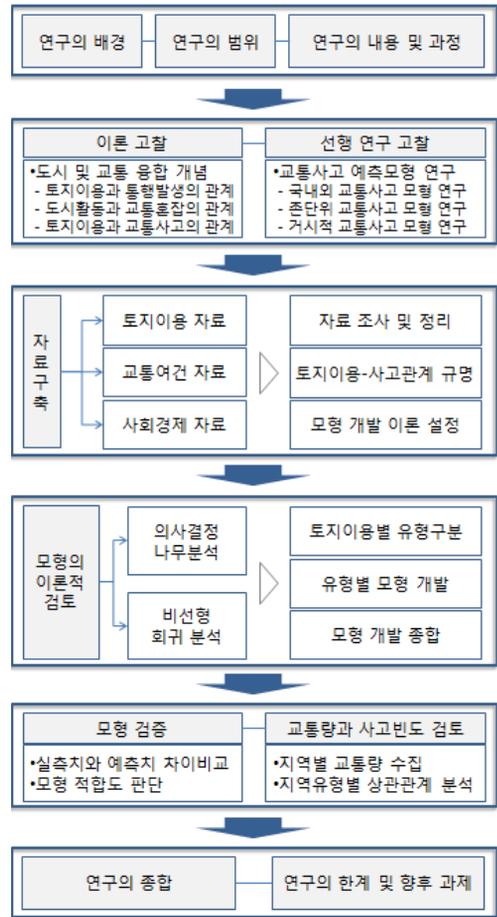
둘째, 국내·외 거시적 교통사고 예측모형 개발 연구 검토를 토대로 교통사고 예측모형의 착안점을 제시하였다.

셋째, 교통사고 통계와 통계청, 과세대장 자료 등을 활용하여 각 지역 교통사고빈도에 영향을 줄 수 있는 다양한 변수를 수집 정리하였다.⁶⁾

넷째, 지역특성(토지이용, 사회경제적)을 규명하기 위하여 상관분석, 데이터마이닝기법⁷⁾인 CHAID(Chi-squared Automatic Interaction Detection)⁸⁾를 실시하고 유형별⁹⁾영향요인을 토대로 모형 구상을 실시하였다.

다섯째, 확정된 변수를 바탕으로 교통사고 발생을 예측할 수 있는 유형별 모형을 도출하였다.

일부 연구에서만 토지이용을 고려하여 교통사고와의 관련성을 제시하고 있으며 국내의 경우는 전무한 상태이다. Megan Wier(2009)의 연구와 Andrew V. Metcalfe(2006)의 연구에서는 토지이용(대지면적 : 평면)과 교통사고와의 관계 규명을 시도하였으나 본 연구의 대상지인 서울시와 같은 고밀도 개발지역에서는 연상면적(입체)을 고려하여 교통사고와의 관계를 규명하는 것이 필요하다고 할 수 있다.



〈그림 1〉 연구의 흐름도

II. 이론 및 선행 연구고찰

본 장에서는 크게 두 가지 부분으로 구분하였으며, 첫째, 도시와 관련된 요인과 교통사고와의 개념적 관계를 검토하고, 둘째, 교통사고 예측모형 관련 연구¹⁰⁾ 등을 고찰하였다. 이를 통하여 기존의 교통사고 관련 연구의 한계점과 새로운 영향모형에 대한 필요성을 도출하여 연구의 착안점으로 정리하였다.

6) 독립변수는 사회경제적요인(인구, 성별분포, 취업자/중사자수 등), 토지이용요인(주거, 상업, 업무의 연상면적 등)을 의미함.

7) 다량의 가공하지 않은 재료(데이터)로부터 소량의 귀중한 덩어리(정보 또는 지식)를 찾아내는 과정을 의미하는 통계적 분석방법을 총칭하는 용어임.

8) CHAID(Chi-squared Automatic Interaction Detection) : CHAID를 통하여 의사결정 나무 분할규칙에 의한 나무모형의 성장, 최종 모형의 선정을 위한 가지치기 등을 이론적으로 정립.

9) 지역의 교통사고 발생에 영향을 미치고 있는 업무연상면적, 인구, 자동차등록대수 등 다양한 변수를 의미함.

10) 국가 및 행정구역별 사고예측을 통하여 향후 지역의 특성을 규명하는 연구에 초점을 맞추어 검토하였으며, 사회경제지표에 근거한 연구가 주를 이루고 있음.

1. 토지이용과 교통사고의 관계

토지이용은 협의적 개념으로 당해 토지가 이용되는 현상으로 정의할 수 있으며, 광의적 개념으로는 토지이용에 영향을 주는 제반여건을 포함한다.¹¹⁾ 협의적 개념의 토지이용은 현재의 토지이용 측면에서 토지 자체의 이용 상황(대지, 전, 답 등), 토지 위에서 이루어지는 활동 양상 또는 기능 특성(주거용지, 상업용지 등), 토지에 입지한 건물 또는 시설물의 용도(단독주택용지, 공동주택용지, 공장용지 등), 토지가 수용하고 있는 대상의 밀도(고밀지역, 저밀지역 등)를 의미한다.

광의적 개념은 토지 자체의 자연환경조건, 토지의 이용가능성(기개발지, 개발예정지, 개발유보지 등), 토지이용 규제(용도지역, 용도지구 등)를 포함한다. 토지이용이 도시문제를 야기할 수 있는 요인은 이용주체간의 경합, 난개발 등이 있다. 다양한 토지이용이 이뤄지고 많은 활동들이 밀집되어 있는 도시에서 토지이용은 교통과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이들의 관계를 명백하고 계량적으로 파악한 연구는 많지 않다.

무계획적인 시가지의 확산은 교통비용을 발생시키고 기반시설의 부족을 야기하여 공공의 과중한 비용을 유발한다. 또한 도심 내의 지나친 밀도의 토지이용은 과도한 교통량을 발생시키고 교통 혼잡을 가중시키는 문제점을 야기한다. 여기에서 개발밀도의 고도화에 따른 교통 혼잡은 교통사고를 발생시키는 노출(exposure)로 판단할 수 있어 본 연구에서는 토지이용을 교통사고와 관련된 중요한 요인으로 판단하였다.

교통사고(Traffic Accident)는 도시의 활동체계를 대변하는 토지이용(Land-Use), 사회경제지표(Socio-Economic), 교통시설(Transportation Facilities), 정책(Policy) 등과 밀접한 관계를 가지고 있다고 전제할 수 있으며, 다음과 같은 개념도를 작성할 수 있다.

다음의 개념도는 행정구역별(Zone)로 교통사고 발생과 도시의 활동체계를 대변하는 입체개발 특성을 반영할 수 있는 연상면적(Floor Area), 사회경제(통행



〈그림 2〉 본 연구의 관계 개념도
(토지, 사회경제-교통사고 Conceptual Diagram)

량) 등을 이용하여 교통사고를 예측할 수 있다는 개념으로 작성한 것이다.

2. 지역단위 교통사고 예측모형 고찰

자동차화가 진행되고, 교통사고가 점차 증가함에 따라 유럽 등 선진국에서는 일찍부터 교통사고의 현상, 교통안전 문제의 본질을 몇 가지 지표로 설명하고자 하는 개념적 설명 모형을 연구자들이 제시하였다.

1) Smeed 모형

Smeed(1949)는 어떤 특정 년도의 한 나라의 사망자수(F)는 다음 등식과 같이 그 나라의 등록된 자동차(V: vehicle)의 숫자와 인구수(P: population)와 관련되어 있다고 결론지었다.

$$D = 0.0003(V/P)^{-2/3}$$

여기서 D : 연간사고 사망자수(인)

V : 자동차등록대수(대)

P : 인구수(인)

스미드 모형은 국가별 사망률의 추이를 전망하고 자동차 보유 수준이 유사한 각국의 사망률을 비교하기 위해 사용되어 왔다. 그러나 Smeed의 모델의 한계는 인구와 자동차만이 사망률에 영향을 미치는 유일한 영향 요인이라는 점에 있다. 이에 따라 많은 연구자들은 Smeed 모델이 국가의 자동차화 수준에만 너무 집중하고 다른 요인들의 영향을 고려하지 않았다는 문제점을 지적했다. 안드레센(Andreassen, 1985)은 자동차 보유율의 수준이 다른 국가 간의 사망률을 비교하기 위한 모형으로 사용하기는 어렵다고 주장하였고, 아담스(Adams, 1987) 역시 스미드 모형은 완전한 비교의 기준보다는 단지 사망률을 전망하는데 도움이 된다고 하였다.

2) J. G. Adams 모형

영국의 J. G. Adams는 세계 62개국의 1978~1980년도 교통사고 자료를 사용하여 자동차 1천대당 사망자수와 인구당 자동차보유대수의 관계를 일부 조

11) 대한민국토도시계획학회, 토지이용계획론, 음성각, 2001, p.58.

정함으로써 Smeed 모형을 개선하였다. 그 후 우리나라의 김홍상이 수립한 모형은 Smeed의 모형과 마찬가지로 인구(P) 및 자동차대수(N)의 증가와 함께 교통사고 사망자수(D)가 계속 증가하는 특성을 나타내고 있다고 제시하였다.

$$D = 770.5 + 0.0446P + 0.23898N$$

D : 연간 교통사고 사망자수(명)

N : 자동차등록대수(대)

P : 인구수(명)

(교통사고 사망자수는 자동차대수(N), 인구수(P)에 비례함)

3) 기존연구 검토 결과

교통사고 예측모형의 개발 현황을 살펴보면 영국의 R. J. Smeed(1949)에 시작된 거시적 교통사고예측 모형은 일본의 제등화부(齋藤和夫, 1979), 한국의 김홍상(1988), 이라크의 F. N. Firas(1989) 등으로

이어지고 있으며, 주로 교통사고와 사회경제지표를 이용한 예측모형을 개발하였다. 선행연구들은 주로 모형의 유효성을 단순히 결정계수로만 판정하였는데 결정계수는 독립변수가 증가할수록 향상되는 경향이 있으므로 유의한 모형 판정기준이라고는 할 수 없다. 따라서 결정계수를 비롯한 계수의 유의성검증(t-test), 다중공선성 검증(VIF, Tolerance), 자동상관 검증(Durbin-watson) 등의 모형진단을 통해 예측모형의 유의성을 결정해야 할 것이다. 또한 거시적인 교통사고 예측 모형은 국가간, 국가단위의 예측모형이기 때문에 우리나라 지역별 교통사고 예측과 각 지방자치단체와 같은 소규모 지역단위 교통사고 예측모형으로 활용하기는 곤란하다.

위와 같이 제시한 모형을 이용하거나 또는 기존 모형을 우리나라의 전국 또는 시·군·구별 교통사고를 예측하고자 할 경우 적용상의 문제점은 아래와 같다.

첫째, 영국의 스미드(Smeed, 1949)모형과 같은 기존의 외국 모형은 주로 국가단위의 예측모형이기 때문에 우리나라 시·군·구와 같은 지역 단위의 예측에는 적용상의 한계가 있다. 또한 선진외국과 우리나라는 사회·경제여건(사회·경제지표, 자동차보급률, 자동차 문화의 수준, 교통시설의 구비 등)이 차이가 있기 때문에 이들 모형을 이용해 교통사고를 예측하는 것은 불합리한 것으로 볼 수 있다.

둘째, 기존의 외국 모형은 모형의 유의성을 주로 결정계수(R^2)만으로 판단하였다. 결정계수는 변수의 증가와 더불어 증가하는 경향이 있고 독립변수간에 서로 상관성이 높을 때에는 다중공선성이 발생하기 때문에 모형의 유의성을 충분히 검토하지 않았다.

셋째, 서울시의 지역교통안전 기본계획 수립시 기존의 모형을 사용할 경우 인구 및 자동차 등록대수 상위 지역의 교통사고 위험도가 높게 나타난다. 그러나 도심 지역인 종로구, 중구의 경우 주거중심지역인 도봉구, 서대문구보다 인구 및 자동차 등록대수는 작지만 교통사고빈도는 훨씬 높게 나타나고 있다. 즉, 소규모 지역단위에 적용하기에는 현실 반영이 매우 떨어지는 문제점이 있다.

따라서 국내의 교통사고 모형을 개발하기 위해서는 국내 교통사고와 관계가 깊은 사회·경제변수 및 교통여건변수의 변화를 반영한 국내 고유의 모형을 개발하여 교통사고를 예측하여야 할 것으로 판단된다.

수도권과 같이 개발이 지속적으로 이루어지는 지역

〈표 1〉 거시교통사고 예측모형 고찰

연구자 (연도)	분석방법	토지이용 관계규명	분석대상변수	
			종속변수	독립변수
Smeed (1949)	단순회귀분석 (Regression Analysis)	×	사망자수	자동차등록대수 인구
Adams (1980)	다중회귀분석 (Regression Analysis)	×	사망자수	자동차등록대수 인구
김홍상 (1987)	다중회귀분석 (Regression Analysis)	×	사망자수	자동차등록대수 인구
제등화부 (1979)	단순회귀분석 (Regression Analysis)	×	자동차 대당 사고건수	자동차등록대수 인구
진교남 (1983)	단순회귀분석 (Regression Analysis)	×	교통사고율 (MVK)	평균속도, 경사비율, 일평균 교통량, 교통밀도 등
Navin (1994)	-	-	개념적 모형으로 인간, 자동차, 환경, 도로시스템을 고려하려고 하였으나, 요인규명에 실패함	
Koornstra (1996)	요인분석 (Factor Analysis)	×	가중치 종합점수 (요인 가중치)	속도위험, 음주운전 등
Rumar (1999)	원단위법	×	거주인당 사망자수	노출률
Roger N. Bird (2006)	다중회귀분석 (Regression Analysis)	△	차대보행자 사고건수	도로관련변수 토지이용변수
Megan Wier (2009)	다중회귀분석 (Regression Analysis)	△	자동차 대당 사고건수	토지이용변수



〈그림 3〉 토지이용에 따른 교통사고 발생의 관련성 연구

의 경우 토지이용 변수를 고려하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 과세대장자료 DB화 사업에서 제시하고 있는 행정구역별 연상면적(입체적)을 고려하여 토지이용과 교통사고간의 관계를 추가적으로 설명할 수 있는 모형을 개발하는 것이 적절하다고 판단된다.

예로 2009년 강북구와 강남구 비교시 시가화 면적은 비슷하나 연상면적에서 강북구 11,297,741㎡, 강남구 41,060,253㎡으로 강남구가 강북구에 비해 3.63배 더 높은 고밀도 개발이 이루어진 것을 확인할 수 있다. 또한 상업연상면적(2009년 기준)도 강남구(8,349,347㎡)가 강북구(1,781,791㎡)보다 4.86배 높은 개발이 이루어 졌다. 사고발생측면에서는 강남구 3,723건, 강북구 1,392건으로 강북구보다 고밀도 개발지역인 강남구가 약 2.7배 높은 수준을 보이고 있다.

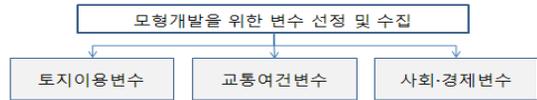
III. 분석자료 구축 및 방법론 설정

1. 분석자료 수집개요

본 연구에서는 2000년부터 2009년까지 경찰청 교통사고 집계자료, 통계청, 과세대장자료(국세청), 서울 통계자료를 대상으로 자료를 수집하였다. 수집된 변수의 세부적인 내용은 다음과 같으며 모든 자료는 각 자치구별 자료이다.

종속변수는 각 연도별 사고발생빈도(건)이다. 종속변수의 변화를 설명하기 위해 수집한 독립변수는 크게 토지이용변수, 교통여건변수, 사회경제변수로 구성하였다. 토지이용변수 중 연상면적관련 변수는 모형세분화를 위한 유형분류시 활용하였으며 각 분류된 유형은 교통여건변수와 사회경제변수를 투입하여 개발하였다. 모든 변수는 연속형 비율척도(Ratio Scale)로 구성하였다.

토지이용변수로는 총대지면적과 총연상면적 그리고 세부적인 주거연상면적, 상업연상면적, 업무연상면적으로 구분하였다. 연상면적에 따른 사고발생 차이가 있



〈그림 4〉 분석자료 수집

음을 상관분석 및 R Square을 통해 확인할 수 있었으며 본 연구에서는 총연상면적에 따라 사고발생 빈도의 차이가 있음을 규명하였다. 다음으로 교통여건변수에 대해 수집하였다. 각 자치구마다 교통여건의 상이함이 교통사고에 반응하는지 알아보기 위함이며 모형개발을 위한 정량적 규모 산정이 필요하기 때문이다.

사회·경제변수는 거시적 교통사고예측 모형 개발시 필수적으로 활용하는 변수로 사회·경제의 전반적인 변화는 교통사고와 관련이 있음을 수많은 기존 연구에서 제시되어 왔다. 여러 사회·경제변수 중 인구구조, 경제성장에 따른 변화가능한 변수를 수집하였으며 모형에 반영하였다. 도시의 특성에 따라 사회·경제 규모가 상이할 것이고 이는 통행패턴 양상에 영향을 미쳐 다시 교통사고에 영향을 주기 때문이다. 따라서 도시특성을 반영하여야 한다. 인구 및 종사자는 도시의 특성을 나타내는 가장 기본적인면서도 중요한 요소이다. 이들 규모는 교통발생량과 밀접한 관련을 가지고 있다. 또한 교통발생량에 직접적으로 영향을 주는 요인이 경제적 측면이다. 도시의 경제적인 상태에 따라 활동성이 변화할 수 있고 이는 다시 교통발생량에 영향을 주기 때문이다.

〈표 2〉 종속변수 및 토지이용변수 수집

대분류		변수 설명	단위	
종속 변수	동별사고빈도	서울시 개별 행정동 단위 사고발생빈도	건	
	구별사고빈도	서울시 개별 행정구 단위 사고발생빈도	건	
토지 이용 변수	모형 유형 구분 시 활용	총대지면적	대지의 면적(대지의 수평투영면적)	㎡
		주거연상면적	주거용으로 사용되는 연상면적	㎡
		상업연상면적	상업용으로 사용되는 연상면적	㎡
		업무연상면적	업무용으로 사용되는 연상면적	㎡
		총연상면적	모든 연상면적의 합산면적	㎡

〈표 3〉 모형개발을 위한 분석자료 수집(교통여건변수)

대분류		변수 설명	단위
교통 여건 변수	고속화도로연장	주요 연속류기능의 간선도로 총 연장	km
	고속화도로점유율	도로연장 중 고속화도로가 차지하는 비율	%
	도로연장	전체 도로의 연장 합산값	km
	도로면적	각 도로당 가로X세로 면적 합산값	km ²
	광로비율	도로연장 중 폭원40m이상 도로의 비율	%
	대로비율	도로연장 중 폭원25~40m미만 도로의 비율	%
	중로비율	도로연장 중 폭원12~25m미만 도로의 비율	%
	소로비율	도로연장 중 폭원12m미만 도로의 비율	%
	도로율	시가지면적에 대한 도로면적의 비율	%
	보도연장	전체 보도의 연장 합산값	km
	보도면적	각 보도당 가로X세로 면적 합산값	km ²
	신호등있는횡단보도	-	개소
	신호등없는횡단보도	-	개소
	도로연장당횡단보도수	도로 1km연장당 횡단보도 개수	개소/km
	교차로개수	-	개소
	교차로밀도	도로 1km연장당 교차로 개수	개소/km
	자전거도로구간수	-	개소
	자전거도로길이	-	km
	주차장개소	주차장 개소수(민영+공영)	개소
	주차장면수	주차장 개소당 주차면수의 합산값	면수
	거주자우선주차면수	주거지역내 거주자우선주차면수	면수
	신호등	도로 1km 연장당 설치된 신호등 비율	개/km
	보행등	도로 1km 연장당 설치된 보행등 비율	개/km
	안전표지	도로 1km 연장당 설치된 안전표지 비율	개/km
	노면표시	도로 1km 연장당 설치된 노면표시 비율	개/km
	횡단보도 예고표시	횡단보도당 예고표시설치율	%
	안전지대개수	교차로당 설치된 안전지대개수	개/교차로
	안전지대연장	교차로당 설치된 안전지대연장	km/교차로
잔여시간표시기	횡단보도당 잔여시간표시기 설치율	%	
음향신호기	교차로당 음향신호기 설치율	%	
어린이보호구역	행정구 별 어린이보호구역 개소	개소	
비신호교차로	도로 1km당 비신호교차로 운영 개소	개/km	

〈표 4〉 모형개발을 위한 분석자료 수집(교통여건변수)

대분류		변수 설명	단위
사회 경제 변수	주민등록인구수	해당지역의 주민등록표상에 기재된 인구수	명
	인구밀도	주민등록인구수/해당지역의 총연상면적	명/km ²
	고령자인구비율	주민등록인구수 중 65세 이상인구 비율	%
	어린이인구비율	주민등록인구수 중 65세 미만인구 비율	%
	종사자수	지역내 종사자수	명
	쇼핑센터개수	-	개소
	인구십만명당문화기반시설수	문화기반시설/인구십만명	개소/인
	일인당자동차등록대수	-	대
	승용차등록대수	-	대
	승합차등록대수	-	대
	화물차등록대수	-	대
	특수차등록대수	-	대
	사업체수	-	개소
	인구천명당사업체수	해당 지역의 인구천명당 사업체 개수	개소/인

2. 분석방법론 정립

1) 의사결정나무분석

의사결정나무는 의사결정규칙(decision rule)을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류(classification)하거나 예측(prediction)을 수행하는 분석방법이다. 의사결정나무분석의 과정 및 결과가 나무구조에 의해서 표현되기 때문에, 분류 또는 예측을 목적으로 하는 다른 방법들(예를 들면, 신경망, 판별분석, 회귀분석 등)에 비해 연구자가 분석과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다. (최종후 외(2002))

2) 로그선형모형

대표적인 로그선형모형으로 포아송회귀(Poisson Regression)와 음이항회귀(Negative Binomial Regression)가 있다. 포아송분포는 계수분포이고, 아직도 많이 쓰이고 있지만 이는 분산과 평균이 같다는 특성이 있다. 이는 실제상황에서 매우 드문 경우이다. 대부분의 교통사고자료는 평균보다 과분산되어 있고, 이는 포아송으로 계수추정시 표준오차를 과소추정하게 하는 문제가 있다. 음이항은 포아송분포에서 유래하였고, 평균과 분산이 동일하다는 제한이 없다. 이에 따라 최근 대부분의 안전관련 연구는 음이항모형을 사용하고 있다. Shankar 등(1995)¹²⁾은 지방부고속도로를 대상으로 도로기하구조와 날씨관련 환경변수를 이용한 포아송과 음이항회귀모형을 구축하였다. 전체사고뿐 아니라 사고유형별로 별도의 모형이 구축되었다. 추정결과, 전복사고를 제외하고는 전체사고유형에 대하여 음이항회귀가 더 적합하였다. Poch와 Mannering (1996)은 교통사고에 영향을 미치는 교통과 도로기하구조 요소만을 설명변수로 한 모형구축시 음이항회귀가 더 적절함을 보였다. Milton과 Mannering (1998)¹³⁾은 도로기하구조, 교통관련요인과 교통사고와의 관련성을 평가하는 예측모형구축에서 음이항회귀를 사용하였다.

3) 연구수행절차

첫째, 본 연구의 가장 주요한 영향요소로 평가되는 토

지이용 유형의 구분을 위하여 의사결정나무법을 이용하여 교통사고와 관계가 높은 토지이용 특성을 규명한다. 또한 상관분석을 활용하여 교통사고 발생여부에 영향을 미치는 특성 변수를 분류하여 1차적으로 선택한다.

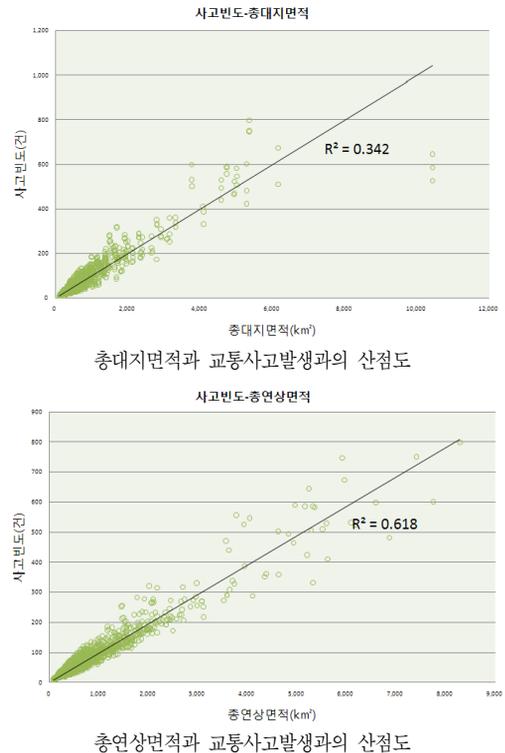
둘째, 교통사고 예측모형 개발시 종속변수인 교통사고 발생건수는 연속형 가산자료(비율척도 : Scale)이므로 이러한 경우 고려해 볼 수 있는 분석방법은 회귀분석방법론을 이용하여 교통사고와 직접적인 계수 추정을 하는 것이다.

셋째, 모형개발시 사회경제지표, 토지이용 등의 예측력 개선여부를 판단하기 위하여 여러 모형을 토대로 적용률이 높은 모형을 최종 판단하여 교통사고 예측에 적용한다.

4) 개발밀도와 교통사고와의 관계

대지면적과 연상면적으로 구분하여 교통사고와의 관

〈표 5〉 대지면적과 연상면적의 교통사고 산점도 비교

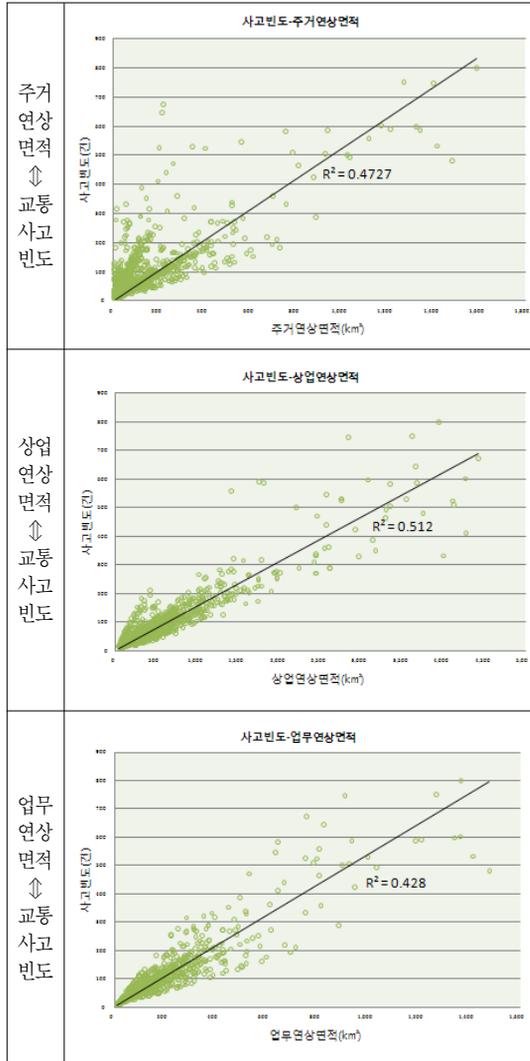


12) Shankar, V., Mannering, F. L., Barfield, W., 1995, "Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies", Accident Analysis and Prevention Vol.27, No.3, pp.371-389
 13) Milton, J. C., Mannering F. L., 1998., "The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies", Transportation 25, 395-413

〈표 6〉 각 연상면적별 교통사고와 반응하는 탄력도

반응변수	각 연상면적 1%증가		
	주거연상면적	상업연상면적	업무연상면적
교통사고 증가	0.027%	0.041%	0.033%

〈표 7〉 용도별 면적과 교통사고빈도와의 산점도(순서대로)



계를 비교한 결과 연상면적이 대지면적보다 사고와의 관계를 잘 설명하는 것으로 나타났다.

서울시 각 동별(2000~2009) 총대지면적-사고빈도, 총연상면적-사고빈도 비교 산점도를 작성한 결과 총연상면적의 사고빈도 설명력이 더 높다

연상면적을 세분화하여 주거, 상업, 영업 면적으로 구분하여 산점도를 작성한 결과에서도 각 면적별 사고

와 연관성이 있는 것을 확인할 수 있다. 주거연상면적, 상업연상면적, 업무연상면적 각 교통사고와의 설명특성이 다르게 나타남이 확인되었다. 추가로 3가지 변수들을 대상으로 어떠한 변수에 교통사고가 더 탄력적으로 변화하는지 알아보았다. 주거연상면적이 1%증가하였을 경우 교통사고는 0.027% 증가로 가장 작은 수치를 나타낸다. 반면 토지이용에 따른 활동량이 상대적으로 강한 상업 및 업무의 경우 각 0.041%, 0.033%로 나타났다. 앞서 살펴본 토지이용과 교통사고 관계에 대한 국외연구에서는 평면적인 토지이용 변수인 대지면적과의 관계를 제시한 바 있다. 하지만 서울시와 같이 고밀개발이 이루어진 경우 대지면적과 연상면적 중 어떠한 토지이용 변수가 더욱 적합한지를 판단하기 위해 교통사고와 각 면적의 상관분석을 실시하였다. 분석 결과 연상면적(입체밀도)이 대지면적보다 교통사고와 밀접한 관련이 있는 변수로 판단할 수 있다.

IV. 토지이용 기반 교통사고 예측모형 개발

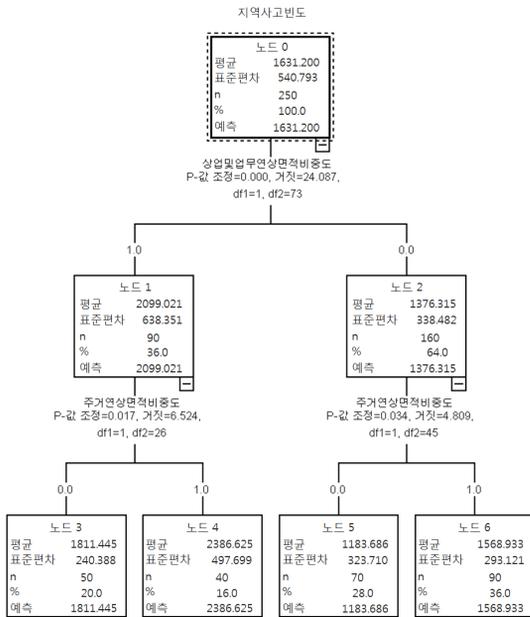
1. 토지이용을 고려한 유형구분 결과

CHAID(Chi-squared Automatic Interaction Detection)분석을 통한 토지이용-사고빈도 유형분류를 위해 상대적 비중도로 계산하였다. 상대적 비중도란 서울시 평균보다 높을 경우(1), 낮을 경우(0)으로 유형을 구분하는 방식으로 총 4개의 유형이 구분됨을 알 수 있다. 노드 분리의 각 단계에서 CHAID는 종속변수와 가장 강하게 연관된 설명변수를 선택한다(카이제곱 기준).

서울시 평균 사고빈도인 1,631건을 중심으로 상업 및 업무연상면적비중도와 주거연상면적비중도 구성에 따라 구분되며 상업·업무 및 주거연상면적이 높은(고밀도 개발) 지역에서 가장 큰 사고발생 빈도를 나타내고 있다.

의사결정나무분석의 유형구분에 따른 추가적 확인분석으로 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 $F=27.069$, $p\text{-value}=0.000$ 으로 $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ 는 $\alpha=0.05$ 에서 기각된다. 즉, 각 토지이용 유형구분에 따른 사고빈도는 차이가 있다고 할 수 있다.

H_0 : 토지이용형태별로 사고발생빈도(건)는 차이가 없다.
 H_1 : 토지이용형태별로 사고발생빈도(건)는 차이가 있다.



〈그림 5〉 연상면적과 사고빈도와의 의사결정나무 분류 결과

〈표 8〉 의사결정나무 분석에 따른 토지이용 유형구분

구분	유형 설명(분류 기준)
Type I	상업및업무연상면적 ≥ 1 and 주거연상면적 < 1 : Node3
Type II	상업및업무연상면적 ≥ 1 and 주거연상면적 ≥ 1 : Node4
Type III	상업및업무연상면적 < 1 and 주거연상면적 ≥ 1 : Node6
Type IV	상업및업무연상면적 < 1 and 주거연상면적 < 1 : Node5

총 4개로 유형별 해당구를 정리한 결과 Type1은 종로구, 중구 등 총 5개구로 선정되었으며 Type2는 강남구, 서초구 등 4개구로 분석되었다. Type3에서는 총 9개구가 선정되었으며 대표적으로 중랑구, 구로구

〈표 10〉 지역 유형 특성 종합

지역 동질성 유형구분		유형특성 (토지이용)	사고발생특성 (연평균사고빈도)	해당구
1순위	2순위			
상업및업무연상면적 높음	주거연상 면적높음	전체적으로 고밀도 개발지역 (상업업무↑ 주거↑)	가장높게 발생 (2,386)	관악구, 서초구, 강남구 송파구
	주거연상 면적낮음	상업및업무중심 고밀도개발지역 (상업업무↑ 주거↓)	서울시평균보다 높은수준 (1,811)	종로구, 중구, 영등포구 마포구, 동대문구
상업및업무연상면적 낮음	주거연상 면적높음	주거중심 고밀도개발지역 (상업업무↓ 주거↑)	서울시평균수준 (1,568)	중랑구, 성북구, 노원구 은평구, 양천구, 강서구 구로구, 동작구, 강동구
	주거연상 면적낮음	전체적으로 저밀도 개발지역 (상업업무↓ 주거↓)	가장적게 발생 (1,183)	용산구, 성동구, 광진구 강북구, 도봉구, 금천구 서대문구

〈표 9〉 분산분석(ANOVA) 결과

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11,546,646.795	3	3,848,882.265	27.069	.000
Within Groups	10,095,209.204	71	142,186.145		
Total	21,641,856	74			

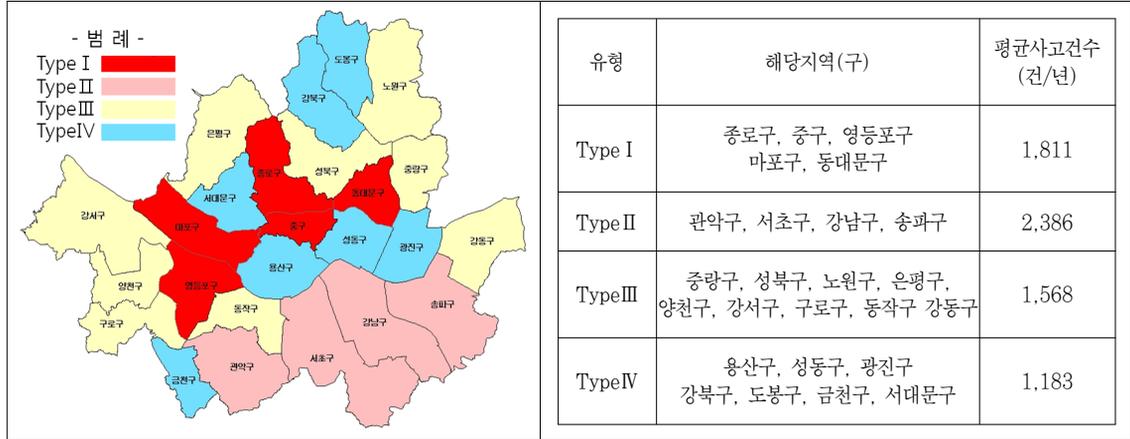
를 볼 수 있다. Type4는 서대문구와 도봉구 등 총 7개구로 구성되었다.

타입별 해당구의 특성은 토지이용과 관련하여 고밀도 및 저밀도 개발이 이루어진 해당구의 특성이 교통사고 발생 빈도와 함께 반영된 것으로 판단된다.

2. 사고분포 검정 및 과분산 분석

종속변수인 사고빈도의 정규성 여부를 파악하여 선형 및 비선형 중 어떠한 특징을 갖는지 분석을 하기 위해 자료의 정규성을 파악할 수 있는 Kolmogorov-Smirnov검증을 수행하였다. 총 4개(Type I, II, III, IV)의 토지이용-사고 유형에 대한 Kolmogorov-Smirnov 검증결과, 사고빈도 모두 95%의 신뢰수준 안에 유의적으로, 정규성을 따른다고 볼 수 없어 비선형적 특성이 있는 것으로 파악되었다. 정규성이 만족되지 않는 모수 분포에 표준 선형 모형을 적용할 경우, 부적절한 모형 설정(misspecification)으로 인하여 모수를 정확히 추정하기 어렵기 때문이다(Shin & Moon, 2007).

〈표 11〉 지역 유형 특성 종합



〈표 12〉 Kolmogorov-Smirnov 검정 결과

구분		사고건수(Y)			
		Type I	Type II	Type III	Type IV
Normal Parameters	Mean	1,811	2,386	1,568	1,183
	Most Extreme Differences	Absolute	0.493	0.348	0.426
	Positive	0.356	0.306	0.426	0.355
	Negative	-0.420	-0.312	-0.345	-0.217
Kolmogorov-Smirnov Z		3.325	4.312	2.986	3.966
Asymp. Sig. (2-tailed)		0.000	0.000	0.000	0.000

택하면 된다. Type별 과산포 분석결과 모두 포아송모형이 채택되었다.

3. 모형개발 결과

서울시 구별 토지이용-사고발생 특성구분에 따라 총 4개의 유형별 사고예측모형을 개발하였다. 모형 개발 결과 유형별 교통사고 빈도 증·감에 영향을 미치는 변수를 파악하였다. 변수는 크게 지역별 공통적으로 나타난 공통변수와 지역타입별 특성변수로 나타났다.

〈표 13〉 Type별 과산포 분석 결과

유형 구분	Log likelihood	Pseudo R2	Alpha (P-value)	채택	
Type I	poisson	-318.481	0.379	-	○
	NB	-336.254	0.344	0.044(0.318)	
Type II	poisson	-242.185	0.349	-	○
	NB	-259.603	0.310	0.059(0.361)	
Type III	poisson	-273.899	0.338	-	○
	NB	-299.037	0.329	0.034(0.409)	
Type IV	poisson	-249.254	0.316	-	○
	NB	-229.784	0.276	0.049(0.278)	

공통변수로는 각 자치구의 사업체당 종사자수, 도로연장당 교차로개수(도로연장에서 이면도로 제외), 고령자인구 구성비율로 나타났다.

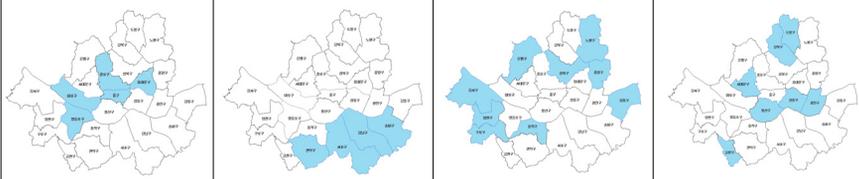
개별특성변수로는 전체도로연장에서 광로·대로가 차지하는 연장 비율, 이면도로에 설치된 거주자 우선주차면수의 밀도, 잔여시간표시기 설치율로 나타났다.

개발한 모형을 종합하여 타입별 사회·경제변수, 교통여건변수의 특성을 파악하여 보았다. 개발밀도 수준에 따른 사고영향 변수는 공통적으로 교통활동을 대변할 수 있는 변수로 판단된다.

자주 발생하지 않는 교통사고 건수의 예측에 가장 적합한 모형인 포아송 회귀모형(Poisson)과 음이항 회귀모형(Negative Binomial) 분석결과를 가지고 과산포가 존재하는지 검정하여 적합모형을 찾으려 하였다. 앞서 언급한 것과 같이 과산포가 존재할 경우 음이항 회귀모형이 적합하며, 과산포가 존재하지 않을 경우는 포아송과 음이항 모형 중 적합도가 높은 모형을 선

타입별 공통적인 사고영향 관계를 분석해 보면 사회경제변수 중 지역 통행의 활동량을 나타내는 변수(종사자수의 규모)는 사고와 양(+)의 관계를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 고령자의 인구 구성비율은 사고와 음(-)의 관계를 보이고 있어 실질적인 경제활동 인구가 아닌 고령자의 증가는 전반적으로 교통사고 빈도를 증가시키지 못하는 것을 알 수 있다. 도출된 변수에

〈표 14〉 Type별 교통사고 예측 모형

변수		Type I	Type II	Type III	Type IV
상수	Coef.	6.924	6.467	5.642	5.180
	t-value	6.972	6.492	6.773	3.748
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
사업체당 종사자수	Coef.	0.051	0.073	0.034	0.036
	t-value	6.813	8.111	4.253	5.142
	p-value	0.000	0.000	0.000	0.000
도로연장당 교차로개수	Coef.	0.099	0.086	0.055	0.062
	t-value	8.831	2.529	6.111	3.647
	p-value	0.000	0.011	0.000	0.001
고령자인구 구성비율	Coef.	-0.014	-0.021	-0.071	-0.054
	t-value	-7.630	-2.333	-4.437	-4.909
	p-value	0.000	0.018	0.000	0.000
광로및대로 구성비율	Coef.	0.818	0.623		
	t-value	4.480	4.098		
	p-value	0.000	0.000		
이면도로 연장당 거주자우선 주차면수	Coef.		0.042	0.031	0.043
	t-value		5.251	6.231	2.047
	p-value		0.000	0.000	0.034
잔여시간 표시기 설치율	Coef.	-0.003	-0.002	-0.002	
	t-value	-5.142	-4.000	-2.133	
	p-value	0.000	0.000	0.032	
ρ^2		0.379	0.349	0.338	0.316
lnL		-318.481	-242.185	-273.899	-249.254
해당 자치구	종로 중구 영등포 마포 동대문		관악 서초 강남 송파	중랑 성북 노원 은평 양천 강서 구로 동작 강동	용산 성동 광진 강북 도봉 금천 서대문
					

대한 해석은 기존 연구 결과와 비교하여 의미를 알아보았다.

4. 공통요인변수

1) 종사자수

본 연구에서는 종사자를 경제활동인구(Economically Active Population)를 대변하는 의미로 간주하였다.

즉, 특정지역의 토지이용 개발에 따른 종사자수의 증가는 지역의 교통활동의 증가로 이어지는 것을 의미한다. 해외 문헌을 살펴보면 P. Montnemery(2003)는 교통혼잡에 영향을 미치는 사회경제여건 중 종사자(Worker)의 증가는 교통혼잡을 증가시키는 요인이라고 제시하였다. Joshi SK(2009)의 연구에서는 네팔(Nepal) 국가의 교통사고원인 조사 결과, 경제활동 중 교통사고 발생이 전체 교통사고 발생빈도의 69%를 차

지하고 있다고 보고하였으며, 인구구성 측면에서 경제활동인구가 가장 높은 교통사고를 일으키고, 어린이, 학생, 노약자 등의 비경제활동 인구는 사고심각도 측면에서 위험한 그룹이라고 제시하였다. Cheng Heng (2010)은 캄보디아를 대상으로 도시화 및 경제발전예 따라 주요 도시에 사람들이 집중적으로 몰렸으며, 최근 5년간 교통사고는 2배 수준으로 증가하였다고 보고하였다. 말레이시아의 경우에도 그러한 현상이 나타나며 이는 아시아 개발도상국에서 공통적으로 나타나고 있는 특성으로 주요 교통사고발생 연령대는 20-45세의 경제활동 인구인 것으로 분석하였다.

Jukka Takala(2009)는 국가와 지역 수준에 따라 교통사고와 사망률의 관계를 규명하였다. 1998년부터 2003년까지 국가별 경제활동인구와 사업체수를 조사하고 유럽 및 아메리카 국가의 경우 경제활동인구증가와 교통사고발생 증가는 미약한 관계를 보이지만 아프리카 지역의 경우 경제활동인구 증가에 따라 급격하게 교통사고가 증가하였다고 보고하였다. 또한 Daminda P. Weerasinghe(2009), Carlos Carrillo(2000)의 연구에서도 지역 사례를 들어 업무활동 종사자가 증가할수록 교통사고의 증가는 관련이 있음을 제시하였으나 경제활동인구의 통행량은 조사하지 않아 경제활동의 증가에 따른 통행량의 증가, 교통사고의 증가 연관관계는 규명하지 못하였다.

국내의 경우 엄기진(2008)의 연구에서 활동인구 추정에 의한 통행수요를 예측하였다. 여기에서는 교통사고와의 관련성은 제시하지 않았지만 지역의 토지이용별, 건물용도별에 따라 활동인구를 추정할 수 있으며 통행량을 산출할 수 있는 모형을 개발하였다. 특히 여가활동에 비해 업무활동 증가에 의해 더 높은 통행량이 증가함을 제시하였다.

2) 교차로밀도

도로연장당 교차로개수는 이면도로를 제외한 자치구별 도로연장(km)당 교차로의 밀도를 나타낸다. 교차로의 밀도가 증가할수록 교통사고가 증가한다는 연구는 이수범(2003)의 연구에서 교차로수 1개/km 증가는 사고빈도 1.164씩 증가시킨다고 하였으며, Patrick T. McCoy(2000), D.M. Priyantha Wedagama(2006)에서도 교통사고 증가요인으로 규명한바 있으나 적절히 배치하여야 한다는 내용으로 결론을 내렸

으며 교통사고감소와 안전성 향상을 위한 교차로 설치간격에 대해 심층연구한 내용은 없다.

도로설계와 안전을 다룬 Roadway Safety Design Synthesis(2005)에서는 도시부 도로는 운전자, 보행자, 자전거이용자 등 다양한 이용주체가 혼합되어 있으며 이들 모두를 고려하면서 안전성, 효율성, 도로건설의 경제성을 평가하는 방안은 불행하게도 현재는 마련되어 있지 않다고 지적하였다. 다만 도로설계 안전성에 대하여 제시하였는데, 단위구간당 교통량(ADT)과 도로변 노상주차장 설치비용, 진출입구수, 교차로밀도는 교통사고를 증가시키는 요인이고 차로폭과 길어깨폭의 증가는 교통사고를 감소시키는 요인으로 사고예측모형을 제시하였다. 그리고 업무 또는 상업(business or office land use)의 도로주변 공간점유율이 높을수록 교통사고 위험성은 높게 나타난다고 제시하였다.

기존 연구문헌에서는 교차로 밀도가 높을수록 교통사고를 증가시키는 것으로 분석·제시되어 있다. 본 연구결과에서도 동일하게 나타났다. 기존 연구의 내용을 종합하면 교차로 밀도의 증가는 교통상충의 증가로 이어지고 또한 차로수가 많은 구간일수록 더욱 위험에 노출된다는 것을 제시하고 있다. 이는 교차로에서 각 진행방향(직진, 우회전, 좌회전)으로 이동을 위한 차로변경 횟수가 증가하고 도로변의 진출입구수가 많을수록 진입과 진출을 위한 차량의 마찰이 교통사고 위험성을 증가시킨다고 해석하고 있다.

미국의 경우 도로접근관리(access management)를 통해 실제로 도로를 개선하고 교통사고를 감소시키고 있다. 접근로의 간격, 접근 지점의 설계등과 교통사고는 밀접한 상관성을 보이는 것으로 알려져 있어 접근 관리에 대한 많은 노력이 필요하다 할 수 있다.

3) 고령자인구 구성비

고령자인구 구성비율은 전체 인구 중 65세 이상 인구의 비율이다. 기존 문헌을 검토한 결과 이탈리아의 Trichopoulos(1972)는 교통사고예측에서 65세 이상 고령자 비율이 높을수록 교통사고는 감소(-)한다고 제시하였다. 또한 19세 이하 청소년 인구비율 역시 높을수록 교통사고가 감소한다고 하였다. 그 원인으로는 청소년 및 노년층의 경우 통행을 유발하는 인구에는 포함되지만 실제적으로 운전할 확률이 적으므로 청소년 및 노년층이 많을수록 사고율은 감소하게 되는 것이라고

생 위험도 함께 증가한다고 하였다. 또한 도로구간을 분석한 연구에서는 최계성(1995), Charles v. Zegeer (1991), 교통량과 도로폭(차로수 증가)이 교통사고 증가 요인이라고 지적하였다.

2) 이면도로연장(1km)당 거주자우선주차면수

이 변수는 Type II, III, IV 지역에서 교통사고빈도와 유의한 관계로 나타났다. 변수 특성상 이면도로에서 발생하는 교통사고와 관련이 있다고 볼 수 있다. 그러나 이면도로의 교통사고 통계는 현재 정확히 산출¹⁴⁾이 안 되고 있어 총 교통사고 발생빈도 중 일정부분을 차지하고 있다고 판단된다. 이들 지역은 상업및업무 중심지역인 Type I 에 비해 주거기능이 높은 지역이다.

1996년 거주자우선주차제(Residential Parking Permit Program) 도입 이후 생활도로의 대부분에 노상주차장 설치가 허용되면서 생활도로의 안전문제가 크게 악화되었으며 이면도로 주차구획선 정비 및 확충 사업을 통해 노상주차장의 설치가 가능하게 되어 주택가 생활도로에 교통사고가 급증¹⁵⁾하게된 원인으로 지적되고 있다. 부족한 주차공간의 확보를 위해 한시적으로 이면도로를 사용하는 정책으로 인간중심적이고 환경친화적인 주차 및 주거환경과는 상반되는 제도로 볼 수 있다. 거주자우선 주차 구획 등의 설치로 인한 주차공간 확보는 이면도로의 안전성 및 쾌적성을 저하를 담보로 한 일차원적인 수단으로, 지양되어야 한다. 거주자우선주차제는 주로 다세대·다가구 거주 세대가 이용하는 편이나 전일·주간·야간제로 운영되는 특성과 노외주차장 및 공용주차장을 이용하는 주민도 있어 직접적인 거주자우선주차면수/다세대·다가구세대 등으로 나누어 변수로 활용할 수 없다. 또한 서울시에서 공표하는 지역별 주차장확보율 역시 96%를 상회하는 수치를 제시하나 이는 양적성과 위주의 공표이고 80% 이상 건축물부설 주차면수임을 감안할 때 주차장 확보가 안된 다세대·다가구 밀집지역의 주차면수 부족은 잘 알려진 사실로 주차장확보율 역시 변수로 활용하기 어려움이 있다.

따라서 교통사고는 도로에서 발생하는 사건으로, 주거지에서 간선도로로 진입하려면 이면도로를 통과하여

야 하므로 차량과 보행자의 마찰, 교행 등 위험요소로 작용하는 이면도로에 설치된 주차차량을 대변할 수 있는 거주자우선주차면수를 변수로 활용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 이면도로는 지구 내 거주민들의 일상적인 삶의 바탕이 되는 생활의 공공영역으로서 단지 지구 내로의 차량 소통을 위한 도로의 역할만을 하는 것은 아니다. 따라서 현재 차량중심의 지구교통환경을 생활환경 및 보행환경 중심으로 변화시키는 지구 내 생활교통환경의 정비는 매우 중요하다고 판단된다. 또한 이면도로(생활도로)는 주민통행의 기중점의 역할을 담당하기 때문에, 서울시의 정책방향인 지속가능한 대중교통중심도시를 구현하는 데 있어서도 필수적으로 개선되어야 할 부분이다. 본 연구에서는 이면도로의 교통사고빈도가 전체도로 교통사고빈도에서 어느정도의 규모로 나타나고 있는지는 기존 통계집계의 한계점으로 파악할 수 없었으나 9m미만 도로의 교통사고를 이면도로 교통사고로 간주하였을 경우 매우 큰 부분을 차지함을 알 수 있었다.

3) 잔여시간표시기 설치율

잔여시간표시기(Pedestrian Countdown Signal)는 1992년 미국에서 처음 소개 되었으며, 국내에서는 2000년부터 보행신호 잔여시간 표시장치를 설치하여 운영하고 있다. 잔여시간표시기 설치에 따른 국내 연구로는 주로 보행속도 변화분석 및 보행태도분석을 수행하였다. 장명순(2006)의 연구에서는 잔여시간표시기 설치구간 횡단보도를 통행하는 보행자의 보행속도는 1.5m~1.8m/sec으로 미설치 횡단보도를 통행하는 보행자의 1.2m/sec보다 빠르며 통계적 평균차이가 난다고 제시하였다. 원제무(2004)의 연구에서는 잔여시간표시기 설치에 따른 정석적측면의 분석으로 무단횡단 위반율은 2%정도의 감소효과를 보이며 보행의 편안함 측면에서 8차로 이상인 도로의 횡단보도에서 만족도가 매우 크다고 제시하였다.

Minnesota(1999)주의 연구결과에 의하면 기존의 횡단보도에 비해 보행자가 안전하게 횡단하는 횡단비율이 기존 67%에서 78%로 증가하는 것으로 아주 긍정적인 결과가 나타났다고 보고하였다. 특히 전 연령대

14) 많은 보도자료에서 이면도로의 교통사고가 증가하고 있다고 알려져 있으나, 이면도로의 교통사고 통계는 정확히 산출되지 못하고 있음. 도로폭원에 따라 교통사고를 집계하고 있어 12m이하 도로의 사고를 전부 이면도로 사고로 한정할 수 없는 이유로 본 연구에서는 이면도로 교통사고 발생건수를 정확히 반영할 수 없음

15) 서울시 보행우선지구 제도 운영방안(2002), 정석

에서 일반보행신호등보다 잔여시간표시기가 설치된 보행신호등을 선호한다고 하였다. 캘리포니아 San Jose 시에서는 잔여시간표시기의 설치효과 분석을 수행하였다. 잔여시간 표시장치가 운전자에게 미치는 부정적인 영향은 없는 것으로 판단하였으며 보행자측면에서는 장점이 매우 많다고 해석하였다. 교통사고 변화 분석을 수행하였으나 설치전 3년간 24건의 교통사고가 검토되었으나 설치후 4개월 동안에는 보고된 교통사고가 없어 직접적인 비교는 불가능하였다.

국내에는 잔여시간표시기 설치에 따른 교통사고분석 연구가 없다. 해외의 경우에도 교통사고 변화분석 연구는 매우 미비한 실정이다. 지역별 특성을 살펴보면 사회복지시설(평균 : 0.37개소/만인)¹⁶⁾이 평균 이상시설을 갖춘 종로구, 은평구 등 서북권에 교차로당 잔여시간 표시기 설치율이 높은 것으로 보이나 전반적으로 토지이용특성(상업, 업무, 주거)과의 관련성은 없는 것으로 보인다. 본 연구에서는 잔여시간 표시기 설치율이 교통사고빈도에 감소영향으로 작용함을 알아보았으나 거시적으로 판단할 수 있을 뿐 특정 사고유형이나 도로 유형에 따른 사고감소효과는 추정하지 못한다. 이는 현재까지도 심층 연구가 없는 상황임을 볼 때 심도깊은 연구가 필요하다고 판단된다.

참고로 유럽연합은 신호기 설치율이 높을수록 도시 교통의 안전성이 저하된다는 인식을 갖고 있어 신호기, 표지판을 제호화하는 시범사업을 다각적으로 지원하고 있다. 서울시의 경우 차량통행량 및 보행량을 고려했을 경우 생활도로를 제외하고 설치율을 낮추는 것을 어려울 것으로 판단된다. 이러한 부분은 해외 사례의 적용 가능 지역을 파악하여 서울시에 도입할 수 있는 방안도 고려해 볼 수 있다.

6. 모형 검증

모형에 대한 적합도 검증(Goodness-of-fit) 방법은 내부검증(Internal validation) 방법과 외부검증(External validation) 방법으로 구분된다. 내부검증 방법은 변수선정에 있어서 기존문헌 등을 통해 변수들의 적절성을 평가하고, 모델식의 적용에 있어서 적절한 통계적 방법을 이용하였는지에 대해 검증하며, 자료수집의 타당성 및 대표성을 살펴보는 과정 등을 의미

다. 한편 외부검증방법은 내부검증방법과는 달리 보다 정량화된 방법으로 개발된 모델들을 검증하는 과정으로 MPB, MAD 검증을 수행하였다.

MPB와 MAD는 평균적으로 오차 10% 이내로 나타났으며 MPB의 경우 많은 지역에서 음의 값으로 오차를 보이는 것으로 나타났다. 주로 Type I 지역과 Type II 지역에서 오차율이 Type III과 Type IV 지역보다 작은 것으로 나타났다. 상업 및 업무활동이 높은 지역의 교통사고 예측값이 좀 더 정확하다고 볼 수 있다.

본 연구에서 개발된 토지이용 유형을 고려한 거시적 교통사고예측 모형이 실제로 유용한지에 대한 연구를 간접적으로 시도하고자 한다. 아울러 사례연구를 통해 기존의 토지이용 구분이 없을 경우와 토지이용을 고려할 경우 어떤 차이가 발생하며 정책적 차원에서의 시사점이 무엇인지를 검토한다.

자치구별 교통량과 사고건수를 수집하고 토지이용 유형별로 크게 4가지로 구분하여 정리하였다.

하지만, 교통량의 경우 서울시의 각 자치구별로 주요한 간선도로를 제외하고는 통계자료가 수집되고 있지 않아 실제 행정구역별 활동량을 대변하는 교통량을 수집하기에는 한계가 있다고 판단되었으며 이러한 통과교통량을 반영한 자료는 현재 없다고 할 수 있다.

따라서 교통량의 기초가 되는 각 행정구역별 통행량(발생, 도착)을 수집하였으며 2006년 수도권 가구통행실태조사에서 조사한 자치구별 도착량과 발생량을 합한 총량을 사용하였다. 여기에서는 최종적으로 출발지와 도착지만이 분석되어 어느 경로를 이용하고 중간에 어느지역을 들렀다 오는지 등의 세부적인 집계는 불가능한 한계점이 있지만 지역교통량을 대변할 수 있는 유일한 자료임을 명시한다. 수집한 자료를 이용하여 기존 통행량과 교통사고의 관계를 분석하고, 토지이용 유형을 고려한 경우와 비교한다. 분석을 위한 방법으로는 상관분석(Correlation Analysis)을 실시하였다.

가구통행 실태조사의 통행량을 살펴보면 고밀도개발 지역(Type II)이 가장 높은 통행량을 보이고 있고 저밀도개발지역(Type IV)이 모두 200백만 통행 아래로 낮은 수치를 보이고 있다. 본 연구에서 토지이용 구분한 결과 고밀도 개발지역이 가장 높은 사고빈도를 나타내고 있었으며 저밀도개발로 갈수록 사고빈도는 낮아지는 특성을 3장에서 설명하였다. 지역교통사고빈도와

16) 지표로 본 서울의 도시공간 변화(2010), 맵다미

〈표 15〉 상관분석 결과(Correlation Analysis)

종속변수	구분	독립변수
교통사고 건수	전체	통행량(0.438)
	유형구분 (토지이용)	Type1 통행량(0.816) Type2 통행량(0.916) Type3 통행량(0.344) Type4 통행량(0.350)

지역통행량 상관분석 결과, 토지이용 유형을 구분하지 않고 통행량과 교통사고건수의 상관계수는 0.438로 나타났다. 다음으로 토지이용 유형별로 살펴보면 Type I(상업 및 업무중심지역)은 0.816, TypeII(고밀도개발지역)는 0.916, TypeIII(주거중심지역)은 0.344, TypeIV(저밀도개발지역)는 0.350으로 나타났다.

토지이용 유형을 구분하여 적용한 결과는 전반적으로 유형을 구분하지 않은 경우보다 높은 상관계수를 가지는 것으로 나타나 토지이용 유형을 고려하는 것이 교통사고를 더욱 잘 설명한다고 판단된다.

다만, 토지이용 유형 중 개발밀도가 상대적으로 높거나 유동인구가 집중되는 지역인 Type I과 TypeII는 매우 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타나 실제 적용시 발생할 수 있는 효과가 크다고 볼 수 있으나, 개발밀도가 상대적으로 낮거나 주거중심의 경우 큰 개선이 없는 것으로 판단된다.

분석결과를 종합하면, 통행량을 통해 간접적으로 살펴본 결과 토지이용 유형을 구분한 본 연구의 모형은 적절하다고 판단되며, 향후 이러한 연구들에서 토지이용을 고려하는 것을 필요하다고 판단된다.

사례연구의 상관분석(Correlation Analysis)한 결과는 〈표 15〉와 같다.

V. 결론 및 향후과제

토지이용에 따른 교통사고 발생빈도의 차이규명을 위해 연상면적자료를 활용하여 서울시를 4개의 유형으로 구분하였다. 연상면적은 주거연상면적, 상업 및 업무연상면적으로 구분하고 입지계수를 활용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과 Type I 지역은 상업 및 업무 기능이 높은 지역으로 나타났으며 TypeII지역은 주거, 상업 및 업무 연상면적이 서울시 평균보다 높은 고밀도 개발지역으로 나타났다. TypeIII지역은 업무 및 상업연상면적비중도 낮지만 주거연상면적비중도가

높은 주거기능 중심 지역으로 도출하였으며 TypeIV지역은 주거, 상업 및 업무 연상면적비중도 모두 낮은 저밀도 개발 지역으로 구분이 가능하였다.

또한 각 타입별 평균사고빈도가 다름을 확인할 수 있었다. 이를 다시 확장하여 동질성 자치구로 구분하였다. 분석 결과 고밀도 개발지역일수록 교통사고빈도가 높고 저밀도 개발지역일수록 교통사고 빈도가 낮은 특성을 보이는바 이는 토지이용에 따른 도시활동의 차이로 이해할 수 있다.

Type별 교통사고빈도와 반응하는 변수는 Type특성에 따라 공통변수와 특성변수로 차이가 남을 확인하였다. 이는 지역특성이 반영된 결과로 해석할 수 있으며 사회경제변수로 통행을 유발·유입시키는 도시활동의 대리변수로 볼수 있는 지역의 고용자분포가 나타났다. 또한 고령자인구비율의 경우도 경제활동인구보다는 실질적인 교통활동이 낮은 인구로 교통사고와는 음의 관계가 있다는 점을 확인할 수 있었다. 기존 연구와 같이 교차로밀도는 교통사고 증가요인으로 나타났으며 Type별 광로및대로의 구성비율, 이면도로의 거주자우선주차면수, 잔여시간표시기 설치율이 특성변수로 도출되었다.

본 연구에서는 교통안전을 도시적 특성을 반영하여 연구하였다. 이를 통해 도시교통안전평가와 도시계획평가에서 안전측면을 고려시 본 연구를 검토해 볼 수 있다. 하지만 연구의 제약으로 다음과 같은 사항을 향후 연구과제로 제시하고자 한다.

첫째, 교통사고와 관련하여 수집한 자료는 가능한 정량적 자료로 구성하여 지역특성의 정성적 변수를 반영하지 못하였다. 교통문화지수 등의 자료를 대표성 있게 구성한다면 설명변수로 활용이 가능할 것이다. 또한 교통안전 정책을 반영하지 못하였다. 교통안전 정책 시행에 따른 사고변화의 효과가 미반영되어 향후 지역적 정책 시행에 따른 세부 내용을 반영하여야 한다. 또한 수집한 독립변수 구성에서 요인분석을 통해 특정변수 간의 상호관련을 알아보고 잠재적 구조를 탐색하는 것도 필요하다.

둘째, 연구 대상 지역을 서울시로 한정하여 지역적 전이성 연구를 추가로 수행하여야 한다. 서울시의 경우 교통 및 사회경제 여건이 한계에 도달한 상태로 급격한 인구증가 및 교통여건 변화가 나타나지 않고 있다. 이 경우 급격한 도시발전이 나타나고 있는 지방 도시에 적용할 경우 모형 파라미터가 다를 것으로 예상된다.

셋째, 사고유형을 고려해야 한다. 본 연구에서는 총사 고빈도의 집계데이터를 사용하여 지자체에서 사용할 경 우 사고건수예측에만 활용이 가능하다. 그러나 물류, 보 행자등의 사고유형을 세분화하여 모형을 개발한다면 특 정 유형에 맞는 안전대책 수립시 활용이 가능할 것이다.

넷째, 시계열적 모형 개발 및 접근이 필요하다. 향후 자료수집 기간의 확장 및 설명변수의 보완으로 동적회 귀모형 및 패널분석 등으로 확장하여 보다 정확하고 동 태적인 사고모형 개발이 필요하다.

다섯째, 본 연구에서 교통안전정책가가 제어 (Control) 할 수 있는 변수는 거주자우선주차제도 개 선과 잔여시간표시기 설치 개선, 두 가지 항목만이 가 능하다. 나머지는 외생변수로 종사자수, 광로·대로, 교차로밀도, 고령자인구 등은 제어가 불가능한 변수이 다. 모형의 적용성과 활용성측면에서 교통사고감소를 위해 정책가가 제어가능한 변수로 모형을 개발하여야 함을 향후 연구과제로 제시한다.

유립연합은 도시의 교통안전수준을 가능하는 지표로 'Safety Performance Indicators'를 개발하여 예컨 대 거주자 수를 기준으로 도시를 유형화하고 교차로 빈 도수, 차로 폭, 통행량, 제한속도 등을 통해 도시교통 안전성을 평가하는 방법론을 정립하는 연구를 진행하고 있다. 국내에서도 이러한 도시교통안전성을 평가하 는 방법론으로 교통문화지수가 있으며 지표의 적정성, 지표간 가중치 연구 등이 활발하게 진행되고 있어, 본 연구의 결과가 도시교통안전을 분석하는데 조금이나마 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김철우(2002), "한국의 도시유형별 택시공급모형 에 관한 연구", 『경기대학교 박사학위 논문』.
 2. 김명수(2002), 『사회간접자본 스톡 추계 연구』, 국토연구원.
 3. 김우혁(1999), "도시기능분석에 의한 중소도시의 특성에 관한 논문", 『조선대학교 박사학위 논문』.
 4. 김호덕(2001), "도로환경특성이 교통사고에 미치 는 영향에 관한 연구", 『서울대학교 석사학위 논문』.
 5. 이수범·홍다희(2005), "신설 도시부 도로의 장래 교통량 변화를 반영한 교통사고 예측모형 개발", 대한교통학회지, 제23권 제3호, 대한교통학회, pp.125~136.
 6. 이시철(2004), "도시경제발전과 성장관리의 양립 가능 모델에 관한 시론적 연구", 대한국토·도시계 획학회지, 제39권 제2호, 대한국토·도시계획학 회, pp.159~175.
 7. Aultman-Hall, L., Kaltenecker, M.G. (1999), Toronto bicycle commuter safety rates, *Accid, Anal, Prev.*31, pp.675~686.
 8. Alicia L. et al(2004), "From empirical bayes to full bayes: methods for analyzing traffic safety data" Transportation research board.
 9. Andrew V. Metcalfe(2006), "The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties", *Accident Analysis and Prevention* 38.
 10. Andreassen(1985), *Traffic Engineering Control*, vol 26.
 11. Demetriades, D., Murray, J., Martin, M., Velmahos, G., Salim, A., Alo, K., Rhee, P.(2004), Pedestrians injured by automobiles: relationship of age to injury type and severity, *Journal of the American College of Surgeons* 199 (3), pp.382~387.
- ☞ 주 작 성 자 : 박준태
 ☞ 교 신 저 자 : 이수범
 ☞ 논문투고일 : 2011. 7. 14
 ☞ 논문심사일 : 2011. 8. 17 (1차)
 2011. 9. 5 (2차)
 ☞ 심사판정일 : 2011. 9. 5
 ☞ 반론접수기한 : 2012. 4. 30
 ☞ 3인 익명 심사필
 ☞ 1인 abstract 교정필