

GIS-T 환경에서 시공간분석을 이용한 교통사고 특성 비교 - 도로 폐쇄 전후비교를 중심으로-

김호용¹ · 백호종² · 김지숙^{3*}

Comparison of Traffic Crash Characteristics Using Spatio-temporal Analysis in GIS-T

Ho-Yong KIM¹ · Ho-Jong BAIK² · Ji-Sook KIM^{3*}

요 약

도로상에서 발생하는 교통사고의 원인을 정확하게 파악하기 위해서는 사고지점의 도로 기하구조, 교통시설물, 교통운영방식, 날씨 등 주변적 요인과 사고특성과의 상관관계가 시공간적으로 분석되어야 한다. 본 연구에서는 도로 폐쇄 전후 교통사고의 특성을 비교하기 위하여, 미국 미주리주 교통부가 개발, 활용중인 통합교통관리시스템의 교통사고 자료 및 GIS기법을 이용하여 세인트루이스의 주요도로인 I-64 도로를 대상으로 분석을 하였다. 이러한 시공간적 분석은 일반적 통계분석으로 획득하기 어려운 공간적 특성을 용이하게 파악할 수 있는 장점이 있으며, 분석을 통해 얻어진 결과는 추후 교통사고 감소를 위한 개선책 마련에 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 교통자료의 통합관리를 위해 개발된 통합교통관리시스템의 구성요소 및 자료의 특성을 살펴봄으로써, 향후 우리나라의 실정에 맞는 통합 교통 데이터 시스템 구축의 고려사항으로 삼고자 한다.

주요어 : 통합교통관리시스템, 시공간 GIS, 동적분할기법, 교통사고분석

ABSTRACT

Traffic safety assessment is often accomplished by analyzing the number of crashes occurring in some geographic space over certain specific time duration. In this paper, we introduce a procedure that can efficiently analyze spatial and temporal changes in traffic crashes before-and-after implementation of a certain traffic controlling measure. For the analysis, crash frequency data before-and-after closing a major highway around St. Louis in

2010년 3월 29일 접수 Received on March 29, 2010 / 2010년 5월 3일 수정 Revised on May 3, 2010 / 2010년 6월 10일 심사완료 Accepted on June 10, 2010

1 미주리대학교 토목·건축·환경공학과 Department of Civil, Architecture and Environment, Missouri University of Science and Technology

2 항공대학교 항공·교통·물류·우주법학부 School of Air Transport, Transportation, Logistics and Air & space Law, Korea Aerospace University

3 부산대학교 대학원 지형정보협동과정 Interdisciplinary Graduate Program in Geospatial Information, Pusan National University

* 연락처자 E-mail : kjisook@gmail.com

Missouri was collected through Transportation Management System(TMS) database that is maintained by Missouri Department of Transportation (MoDOT). In order to identify any spatial and temporal pattern in crashes, each crash is pinpointed on a map using the dynamic segmentation in GIS. Then, the identified pattern is statistically confirmed using an analysis of variance table. The advantage of this approach is to easily assess spatial and temporal trend of crashes that are not readily attainable otherwise. The results from this study can possibly be applied in enhancing the highway safety assessment procedure. This paper also makes several suggestions for future development of a comprehensive transportation data system in Korea which is similar to MoDOT's TMS database.

KEYWORDS : TMS, Spatio-temporal GIS, Dynamic Segmentation, Crash Analysis

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

미연방 교통국 보고서(USDOT, 2001)에 의하면 교통사고의 주요 원인은 도로상태, 교통특성, 운전자 습관, 자동차 종류, 환경인자등 크게 5가지 요인으로 구분되며, 이러한 요인들은 상호작용을 하며 복합적으로 교통사고에 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 도로 및 교통 체계는 엄격하게 정해진 법률과 기준에 의해서 계획, 건설되며 한정적인 재정범위 내에서 원활한 교통흐름과 교통사고로부터의 안전성을 우선적으로 고려하는 시설의 유지관리가 이루어지고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 도로상의 교통사고 위험도를 시·공간적으로 분석하여 상대적으로 위험한 구간을 판별하는 것은 효과적인 도로의 유지관리 측면에서 중요한 작업이라 할 수 있다.

2008년 미국 미주리(Missouri)주에서는 세인트루이스(St. Louis) 도심을 관통하는 주요 도로인 I-64 도로의 보수사업을 진행하였는데, 일반적으로 채택하는 도로 일부의 차단을 통한 점진적 사업의 시행이 아닌 공사기간동안 도로를 전면 통제하는 방식으로 이루어졌다. 이러한 전면 통제 공사방법은 미국에서도 드물게 시도되는 사업방식으로, 폐쇄 기간 동안 공사구간 주변지역에 미치는 교통 및 경제적 영향에 관심이 모아지고 있으

며, 특히 사업전후 우회도로에 대한 교통 혼잡, 교통사고에 대한 객관적 분석에 많은 관심이 모아지고 있다. 복잡한 요인에 의해 발생하는 교통사고의 분석을 위해서는 단순한 통계적 관점에서의 접근이 아닌 공간적 요인을 고려한 접근이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 I-64 도로 폐쇄 전후 교통사고 특성 비교를 위하여 공간적 요인으로 접근 가능한 GIS-T(GIS-Transportation)¹⁾ 환경에서 시공간적으로 분석하여 상대적으로 위험한 구간을 도출하고, 차후 교통안전관리시스템의 의사결정을 지원하고자 한다. 또한 분석결과를 바탕으로 본 연구에서 사용된 데이터의 특징 및 방법론에 대한 고찰을 통하여 차후 우리나라에서 교통관리 시스템 운영 시 고려사항을 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 크게 2단계로 진행되었다. 첫 번째는 대상지 및 방법론 설정단계로서 연구 대상지역은 데이터 활용 및 사고유형별 분석이 가능하며, 사업전후의 교통사고 특성비교가 용이한 미국 미주리 주 세인트루이스 주변의 고속도로로 설정하였다. 교통사고의 안전성에 대한 객관적 평가를 위해서는 유형별 사고 요인을 공간 및 시간적 변화에 따라 분석하는 것이 필요하다. 공간적 특성이 결합되지 않은 데이터분석은 전체 문제에 대한 결과해석에서 자칫 누락된 결과를 초래할 수 있으며, 이는 보다 효율적인 의사결정을 저해하는 요

소로 작용할 가능성을 내재하고 있다. 이를 위해 미주리 주 교통국(MoDOT: Missouri State Department of Transportation)의 통합교통관리시스템(TMS: Transportation Management System)에서 제공하는 데이터를 선형참조기법(linear referencing)을 이용하여 사고발생공간에 참조시킴으로써 공간적 상호관계를 적용하였다. 이는 실시간으로 갱신되는 교통사고의 데이터를 잘 활용할 수 있는 기법이다. 또한 대상도로를 일 정구간별로 분할한 후, 각 구간별 특성비교를 위하여 교통 사고율 및 교통사고 위험률을 설정하였다.

두 번째는 대상지역에 대한 교통사고특성을 분석하는 단계로, 교통사고데이터를 선형참조기법을 통하여 위치 참조시키고, 각 구간별로 교통 사고율 및 교통사고 위험률을 적용하였다. 특히 I-64 도로의 폐쇄라는 사업 전후의 교통안전성 분석을 위하여 공간적 교통사고 분석과 시공간적 교통사고분석을 나누어서 실시하였다. 공간적 교통사고 분석의 결과는 결과의 객관성을 확보하기 위하여 통계분석기법을 적용하였다. 공간분석에서 나타나지 않은 사고패턴 변화의 분석을 위하여 시공간적 분석을 시행하였으며, 이 과정에서 선형참조기법을 통해 할당된 사고 자료와 대상도로의 분할을 통하여 나누어진 개체에 대하여 공간질의를 수행하였다.

선행연구 및 이론적 고찰

1. 선행연구 고찰

선행연구는 우리나라의 경우와 해외의 연구를 나눠서 살펴보았다. 먼저 이주형 등(1990)은 교통사고발생특성 지역과 도로형태에 따른 사고요인에 대한 분석을 실시했고, 유환희(2001), 정수진 등(2006)은 교통사고 원인분석을 위한 많은 양의 자료를 효과적으로 처리할 수 있도록 인터넷 기반에서의 교통사고정보관리 및 도시재해관리 시스템을 개발하여, 교통정보의 전달 및 속성자료의 관리 및 실시간 현황 정보제공이 가능하도록 구현하였다. 이견학(2004)은 GIS와

공간 데이터마이닝을 이용하여 교통사고의 공간적 패턴을 통계적으로 분석하였으며, 김준기(2009)는 교통사고 사상자를 줄이기 위해서는 교통사고 DB를 이용한 과학적 분석이 선행되어야 함을 역설하면서, 선진국의 교통DB 현황 고찰을 통하여 교통사고 DB의 필요성을 강조하였다. 특히 우리나라는 경찰청에서 교통사고자료를 관리하고 있으나, 개별 교통사고자료는 연구자는 물론 정부기관에조차 접근이 제한되어 연구에 한계가 있다고 지적하고 있다.

Loo(2006)는 홍콩의 교통사고 데이터시스템(TRADS)과 토지부서의 도로네트워크 데이터베이스, 그리고 인구통계청(Census and Statistics Department)의 데이터베이스를 GIS 공간분석을 통해 비교분석하여 도로이름에서 12.7%의 불일치를, 토지부서와의 9.7% 불일치를 찾음으로써 교통안전에 대한 분석에서 공간위치에 대한 중요성 및 데이터의 정확성을 강조하였다. Li et al.(2007)은 GIS 환경에서 휴스턴 내부의 교통사고에 대하여 베이시안(Bayesian) 접근을 통하여 사고패턴을 분석한 후, 도시 내에서 교통사고의 위험이 높은 곳에 대한 사고예방조치가 필요하다고 하였다.

이처럼 우리나라의 연구는 교통사고데이터의 미공개로 인해 공유의 필요성 및 공유 활성화를 위한 시스템의 구축 등에 관한 연구가 이루어져 있고, 외국의 경우 GIS환경에서 실제 교통사고 데이터를 이용하여 지점의 위험도를 측정하는 연구가 이루어지고 있으며, 정확한 예측을 위하여 구축된 데이터의 정확성을 강조하고 있다. 따라서 본 연구는 교통사고 데이터를 GIS분석기법을 이용하여 공간상에 위치시키고, 위치한 데이터로부터 인접성 분석을 실시함으로써 공간적 위치에 따른 교통사고의 특성 및 시공간적인 변화에 따른 교통사고 특성을 분석하였다. 이는 통계적 수치비교를 통한 분석과 차별성이 있다고 하겠다. 또한 국내에서 획득하기 어려운 교통사고데이터의 한계로 인하여 미국의 사례를 통해 향후 우리나라의 연구 방향성 및 발전 방안을 제시한다는 의의가 있다.

2. 미주리주 교통국의 통합교통관리시스템

교통에 관련한 기반시설 데이터의 필요성을 절감한 대다수의 미국 주정부는 주정부차원에서 교통정보시스템을 구축·운영하고 있다. 구축된 교통관련 데이터는 다른 공간데이터와의 접목을 통하여 교통사고분석 및 지역계획, 보건 및 복지, 교통망 노선계획, 응급의료의 접근성분석, 환경문제 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 실례로 미주리(TMS)뿐만 아니라 플로리다(TAMS), 메인(TIDE), 미시간(LRS), 미시시피(TMIS), 오하이오(BTRS), 테네시(TRIMS), 버지니아(ICAS) 등 여러 주에서 자체적인 정보시스템을 구축하고 있다.

자산관리(Asset Management) 개념에서

출발한 미주리주 교통국의 통합교통관리시스템은 다양한 사용자의 접근이 가능하고 공간데이터뿐만 아니라 GIS환경에서 위성사진, 동영상 등의 다양한 정보를 손쉽게 구현할 수 있도록 구축되어 있다. 통합관리시스템은 지난 10년간의 투자 및 데이터 수집을 통하여 구축한 많은 양의 정보를 포함하고 있으며, 이를 이용하여 GIS의 궁극적인 목적인 공간의사결정지원 시스템(SDSS: Spatial Decision Support System)의 기초자료로서 사용되고 있다. TABLE 1은 미주리주 교통국의 통합관리시스템에 포함된 공간데이터의 속성 및 관리 기능을 개략적으로 나타내고 있다.

TABLE 1. Data in transportation management system(TMS)

System	Data
Pavement Management System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condition, Friction survey, Structural history
Bridge Management System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ State and not-state bridge data, inspections
Traffic Management System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traffic volumes ▪ Level of service ▪ Signal inventory
Safety Management System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Accidents since 1987
Travelways	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Work zones ▪ Outdoor advertising ▪ Billboards ▪ Junkyard ▪ Adopt-A-Highway
State-of-the System	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integration of bridge, pavement, safety, traffic, and project

본 연구는 도로 폐쇄 전후 주변지역의 교통사고 특성 비교를 통한 안전성 분석을 위하여, 미주리주 교통국에서 발주한 프로젝트를 미주리 대학(Missouri University of Science and Technology : formerly University of Missouri-Rolla)의 연구진과 함께 수행하면서 취득한 데이터 중 일부를 사용하였다. 특히 사고분석을 위하여 안전관리시스템(Safety Management System)의 교통사고 데이터와 교통관리시스템(Traffic Management System)의 교통량 데이터를 중점적으로 사용하였다.

3. 선형참조기법

공간의사결정 및 공간문제해결의 지원이라는 장점 때문에 GIS는 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 교통 분야에서 사용가능한 네트워크 모델은 선형개체를 따라 위치 참조하는 선형참조방식(linear referencing)을 제공함으로써 다양한 공간분석을 효율적으로 사용할 수 있다. 선형참조방식은 데이터의 좌표(x, y) 수정 없이 route 일부에 선형개체를 따라 이루어진 선형측정치(linear measurement) 형식의 데이터를 사용하여 선형개체의 일부에 대한 여러 가지 속성 집합을 연관시키는 방법이다. 선형참조를 위해서는 FIGURE 1에서와 같이 네트워크의 속성

테이블에 속성 값을 부여할 수 있는 이벤트 테이블을 결합하여 관계를 표현할 수 있으며 이때 각 테이블의 결합을 위해서는 서로 상관관계가 있는 참조 값이 존재해야 한다.

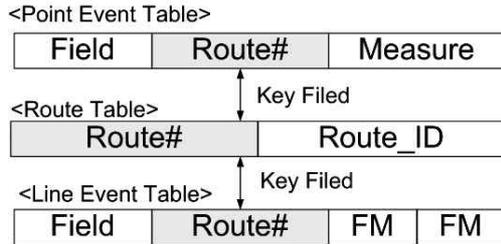


FIGURE 1. Key field in linear referencing

본 연구에서는 ArcGIS9.3 소프트웨어가 제공하는 선형참조방식 모델링인 동적 분할 기법 (Dynamic Segmentation)을 이용하였다.²⁾ 동적 분할 기법을 위하여 선형개체는 셰이프 파일 (shape file) 형태의 고속도로 데이터를 선형측정치의 값을 가지는 네트워크 파일로 변환하였고, 선형참조 값은 선형개체와 통합교통관리시스템에서 제공하는 교통사고 데이터가 공동으로

가지고 있는 위치 값(mile post)을 이용하였다.

대상지 및 방법론 설정

1. 대상지 설정

본 연구의 대상인 I-64 도로는 세인트루이스를 동서로 가로지며 2008년부터 2년간 전면 통제를 통한 유지보수를 실시하였다. 따라서 I-64 도로와 만나면서 교통사고의 비율이 가장 높은 I-270 도로를 연구 대상으로 분석하였다. FIGURE 2는 각 도로의 위치를 나타내고 있으며, 세인트루이스의 외부를 순환하고 있는 굵은 선이 I-270 도로이다.

TABLE 2는 세인트루이스 주변 주요도로에서 최근 5년간 발생한 교통사고건수를 정리한 것으로 전반적인 교통사고의 수는 2004년을 중심으로 2008년까지 조금씩 변화하는 추세이다. I-270 도로의 경우 2008년의 사고건수가 오히려 전년도에 비교하여 하락하고 있다. 따라서 교통사고의 특성분석을 위해서는 단순한 수치적 통계의 접근이 아닌, 공간적 요인과의 결합을 통한 종합적인 접근이 필요하다.

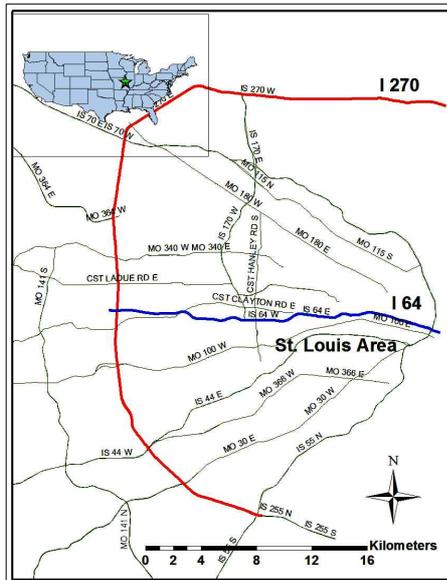


FIGURE 2. Study area

TABLE 2. Total crashes (2004-2008)

Route	2004	2005	2006	2007	2008
I-44	1,100	1,061	1,037	1,086	1,126
I-270	2,103	2,201	2,302	2,287	2,083
Inter state Highway					
I-64	1,624	1,610	1,494	1,205	717
I-70	1,907	1,998	2,004	2,072	2,161
I-170	906	827	904	873	815
I-55	964	948	963	948	994
Total	6,980	7,035	7,210	7,266	7,179
MO Highway					
MO366	655	645	652	519	526
MO30	1,298	1,297	1,049	1,048	941
MO100	1,179	1,085	1,019	1,086	1,146
MO115	455	432	382	370	385
MO141	503	566	504	589	503
MO180	879	822	721	689	675
MO340	1,068	935	1,059	1,053	998
Total	6,037	5,782	5,386	5,354	5,174
US Highway					
RtD	728	682	636	690	699
US61	853	828	819	791	761
US67	484	386	396	358	345
US40	489	536	553	529	344
Total	2,554	2,432	2,404	2,368	2,149
Total	15,571	15,249	15,000	14,988	14,502

2. 데이터 처리 및 분석방법론 설정

통합교통관리시스템으로부터 수집된 방대한 양의 교통사고 데이터를 효율적으로 관리하기 위하여 Matlab을 이용하여 프로그래밍이 작성되었으며, 프로그래밍을 통하여 나온 결과물은 행렬형식으로 GIS와 연동하기 쉬운 데이터베이스 형태로 저장되었다.³⁾ 프로그래밍을 통하여 나온 데이터베이스 형태의 데이터를 GIS와 접목하기 위하여 본 연구에서는 동적 분할 기법을 이용하였다. 이때 교통사고 데이터는 사고 지점의 위치 값을 이용한 점 이벤트(point event) 형식으로, 도로의 방위 및 교통량 데이터는 시작점과 끝점의 위치 값을 이용한 선 이벤트(line event) 형식으로 참조하였다. 원 자료(row data)에는 각 사고의 위치 참조를 위하여 전체 도로(route)에 대한 위치 값 및 각 도로가 위치한 카운티(County)마다 새로운 시작하는 위치 값 등 2가지의 위치 값을 제공하고 있다. 본 연구에서는 넓은 지역인 전체도로의 특성을 분석하기 위하여 전체 도로에 대한 위치 값 및 각 도로의 필드를 참조 값으로 처리하였다. 수집된 데이터를 바탕으로 통계적 분석 및 특성을 나타낼 수 있는 지표를 이용하여 분석하기 위하여, 각 도로는 1.6km(1mile) 간격으로 분할한 후 구간별 속성 값을 저장하였다.

3. 지표 설정

각 구간에 따른 교통사고 비율을 분석하기 위하여 본 연구에서는 교통 사고율(CR: Crash Rate)을 적용하였다. 교통 사고율은 총 교통량과 분석구간의 거리의 함수로써, 미주리 주 교통국에서 제공한 도로구간별 일평균 교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)을 사용하여 산출되었으며, 구간별 교통량에 따른 사고건수를 의미한다. 또한 각 도로별 위험도를 분석하기 위하여 교통사고 위

험률(SR: Severity Rate)을 적용하였다. 교통사고 위험률은 각 사고유형별 가중치를 차별 적용함으로써 해당구간에서의 교통사고 위험률을 구할 수 있다. 위험률에 사용된 유형은 사망(fatal), 중상(disabling injury), 경상(minor injury), 재산피해(property damage only)로 구분된다. 교통 사고율과 교통사고 위험률을 식으로 나타내면 다음과 같다.⁴⁾

$$CR = \frac{100,000,000 \times Crash}{AADT \times Length \times Days} \quad (1)$$

$$SR = \frac{100,000,000 \times [10(FAT) + 4(INJ) + N]}{AADT \times Length \times Days} \quad (2)$$

식 (2)에서 'FAT'는 인명사고 사고건수, 'INJ'는 중상 및 경상의 사고건수를 나타내며, 'N'은 재산피해의 사고건수를 나타낸다. 교통 사고율과 교통사고 위험률은 특정부분에 대하여 세밀하게 살펴볼 필요가 있다. 이를 위해서는 식에서 사용된 Length 변수의 값은 한 도로의 전체 길이가 아닌 일정하게 분할된 도로별로 위험률의 분석이 실시되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 특정 시점을 중심으로 주변지역의 교통사고 변화 및 일정하게 분할된 도로별 위험률에 대한 분석을 위하여 GIS기법을 적용하였다.

교통사고특성 분석

1. GIS 환경에서 분석을 위한 데이터 결합

FIGURE 3은 I-270 도로의 877m(0.548mile) 지점부터 37.2km(23.12mile) 지점까지의 양방향에 존재하는 10,976개의 사고데이터를 위치 참조시킨 결과로, 원본데이터로부터 누락된 값이 없는 10,976개의 데이터가 I-270 도로상에 위치하였다.

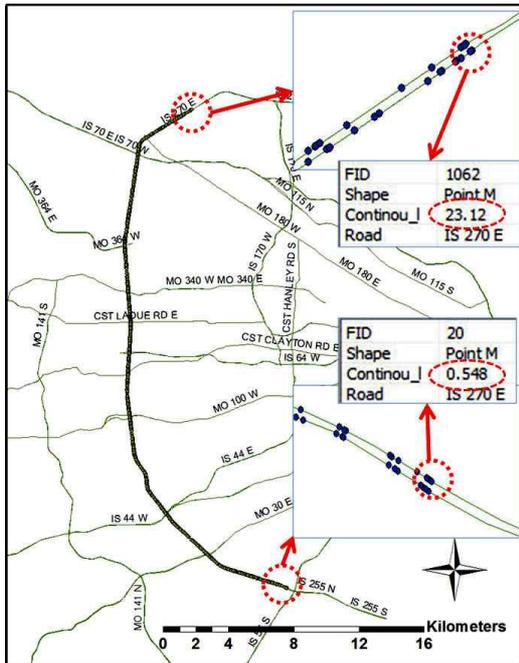


FIGURE 3. Result of dynamic segmentation

교통사고 위험률을 분석하기 위하여 I-270 도로를 1마일 기준으로 분할한 후, 각 연도별 전체 사고 및 유형별 사고의 값을 분배하였다. 이를 식 (2)를 바탕으로 교통사고 위험률을 계산한 후, 동적 분할 기법을 이용하여 선 이벤트 형식으로 도로상에 분배하였다. FIGURE 4와 FIGURE 5는 GIS 기법을 이용하여 I-270 도로 시계방향(I-270E)의 2004년부터 2008년까지의 평균 교통 사고율과 교통사고 위험률을 나타낸 결과이다. 결과를 보다 가시적으로 나타내기 위하여 3차원으로 표현하였으며, 색이 진하고 높게 나타나는 부분이 교통 사고율 및 교통사고 위험률이 높은 부분이다.

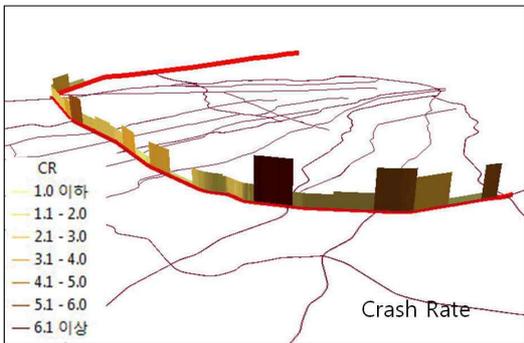


FIGURE 4. Crash rate in I-270E

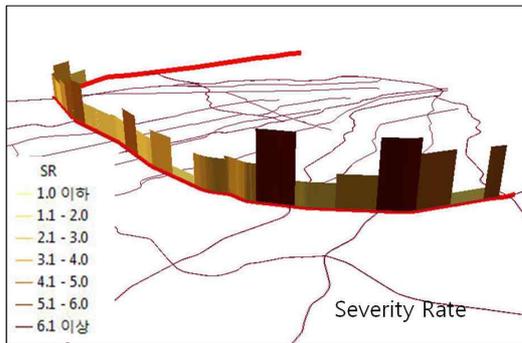


FIGURE 5. Severity rate in I-270E

2. 공간적 교통사고 특성분석

교통사고 특성은 앞서 언급한 바와 같이 다양한 요인에 의해서 발생한다. I-270 도로와 I-64 도로가 교차하는 지점의 특성분석을 하기에 앞서, 인터체인지로부터의 공간적 상관관계를 분석하였다. 공간적 위치분석을 위하여 인터체인지에서 가까운 지역과 먼 지역으로 나누었다. I-270 도로상에는 다른 고속도로와 교차하는 인터체인지가 총 10개

가 존재하고 있으며, 전체 14.5km의 도로 중에서 인터체인지에서 가까운 쪽과 먼 쪽으로 분류하기 위하여 전체면적의 절반이 되도록 인터체인지로부터 반경 375m부터 이내의 지역을 기준으로 단계적으로 공간적 위치를 나누었다. 이후 동적 분할 기법으로 위치시킨 전체 교통사고데이터에 공간적 위치에 대한 참조방식(spatial join)을 통하여 공간적 위치에 대한 정보 값을 전달하였다. 분석 결과 각 인터체인지로부터 반경 375m 이내 지역(in

area)의 연장이 약 17.7km(인터체인지간의 중첩 지역 제외)로 전체면적의 47.6%에 해당하지만, 이 지역에서의 사고건수는 총 7,470건(68.1%)으로 인터체인지로부터 먼 지역(out area)에 비하여 2배 이상 사고가 많이 발생하였다. 즉, 인터체인지 주변지역에 교통량의 흐름 증가 및 차선 변경 증가 등의 요인으로 인하여 사고확률이 높게 나타났다. 사고 위험률은 경미한 접촉사고(in: 68.5%, out: 31.5%), 경상(67.0%, 33.0%), 중상(64.1%, 35.9%), 인명사고(63.6%, 36.4%)로 나타났으며, 비율상으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

각 구역별 특성을 분석하기 위하여 일원배치분산분석(ANOVA)를 실시하여 사고의 위험성이 인터체인지로부터의 거리에 따라서 차이가 있는지에 대하여 분석하였으며 분석결과는 TABLE 3과 같다. 사고의 위험성이 인터체인지로부터의 거리에 따라서 차이가 없다는 귀무가설 하에 먼저 동질성 검정결과 유의확률이 0.725로 각 집단들의 분산이 같다고 할 수 있다. 가설을 검정하기 위한 검정통계량(F)의 유의확률(p값)은 0.013으로 이는 유의수준 0.05보다 작다. 따라서 사고

의 위험성이 인터체인지로부터의 거리에 따라서 차이가 있다고 볼 수 있다. 또한 지역적 사고위험도 분석을 위하여 공간적 위치에 따른 지역의 교통사고 특성화지표(CQ: crash quotient)를 사용하였다. 특성화지표는 지역별 특정사고율을 전체 특정사고율로 나눈 값으로 그 지역에 대한 사고 특성화를 확인할 수 있다. 특성화지표의 값이 1보다 크면 지역의 특정사고율이 평균보다 높은 것으로, 1보다 작으면 지역의 특정사고율이 평균보다 낮은 것으로 해석된다. 인터체인지로부터의 거리가 0.1마일 멀어짐에 따른 누적 구간별 지역의 특성화지표 값은 TABLE 3과 같으며, 누적된 지표 값은 최종적으로 1에 수렴한다. 이를 아래의 FIGURE 6과 같이 그래프로 나타내보면, 인터체인지에서 가까운 곳의 경미한 접촉사고의 값이 평균보다 조금 높게 나타났으며 인터체인지에서 멀어질수록 사망사고의 지표가 월등히 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 인터체인지에 가까울수록 경미한 사고의 비율이 높고 대형사고의 확률은 낮으며, 인터체인지로부터 멀어질수록 반대의 경향이 나타난다고 분석할 수 있다.

TABLE 3. Analysis of variance between severity and distance from interchange

Severity	PROPERTY DAMAGE ONLY	MINOR INJURY	DISABLING INJURY	FATAL	Total	
Total	8,304	2,433	217	22	10,976	
0.1 mile	Total	3,110	865	63	4	4,042
	CQ	1.017	0.965	0.788	0.494	
0.2 mile	Total	3,744	1,020	79	6	4,849
	CQ	1.021	0.949	0.824	0.617	
0.3 mile	Total	4,597	1,283	106	10	5,996
	CQ	1.013	0.965	0.894	0.832	
0.4 mile	Total	4,972	1,394	114	12	6,492
	CQ	1.012	0.969	0.888	0.922	
0.5 mile	Total	5,344	1,525	130	12	7,011
	CQ	1.007	0.981	0.938	0.854	
0.6 mile	Total	5,687	1,630	139	14	7,470
	CQ	1.006	0.984	0.941	0.935	

Test of Homogeneity of Variances					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		
0.439	3	10,957	0.725		
ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Group	72.512	3	24.171	3.593	0.013
Within Groups	73,708.537	10,957	6.727		
Total	73,781.049	10,960			

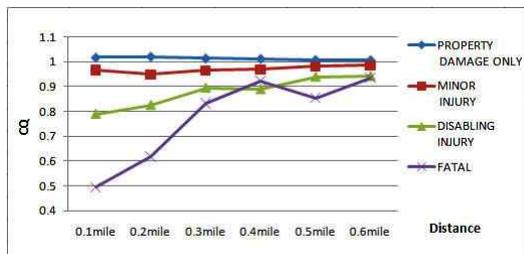


FIGURE 6. Spatial analysis near interchange Using CQ

3. 시공간적 교통사고 특성분석

일반적인 시간 및 공간 분석을 실시하였을 경우 나타나지 않는 교통사고의 특성이 두 요

인을 동시에 고려할 때 의미 있는 결과 값을 얻을 수 있다. 본 연구의 대상지인 I-270 도로와 교차하는 11개의 도로 중에서 I-64 도로는 미국에서 시범적인 프로젝트가 수행된 곳으로, 도로 보수 및 유지를 위하여 일부차선의 통제를 통한 점진적 사업의 시행방식이 아니라 전면통제를 통해 사업을 실시하였다. I-64 도로 프로젝트 시행 전후의 교통사고 특성 비교를 위해 본 연구에서는 I-270 도로를 대상으로 GIS 환경에서 시공간요소를 결합하여 2004년부터 2008년까지의 교통 사고율 (FIGURE 7)과 교통사고 위험률 (FIGURE 8) 분석을 실시하였다.

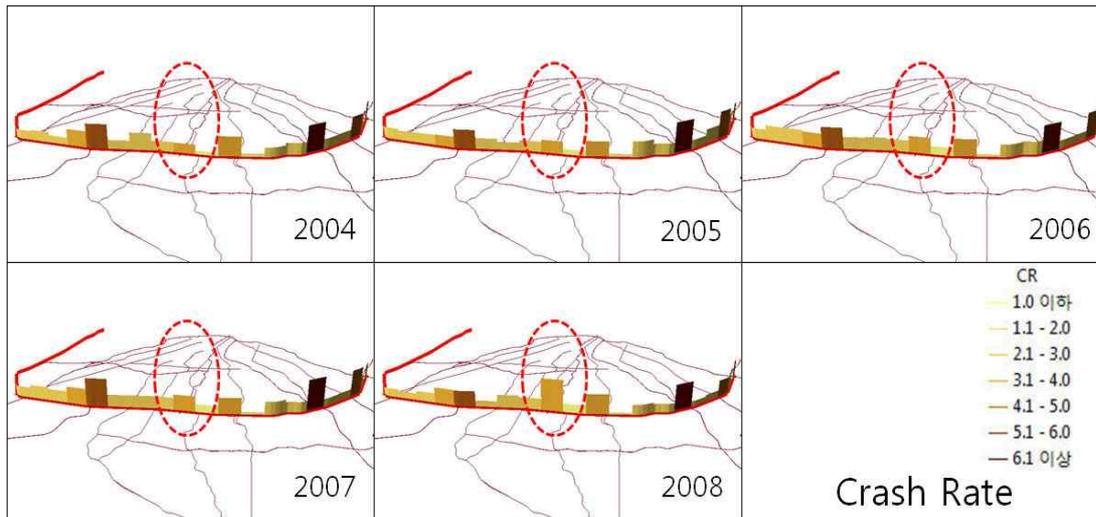


FIGURE 7. Spatio-temporal trend: crash rate

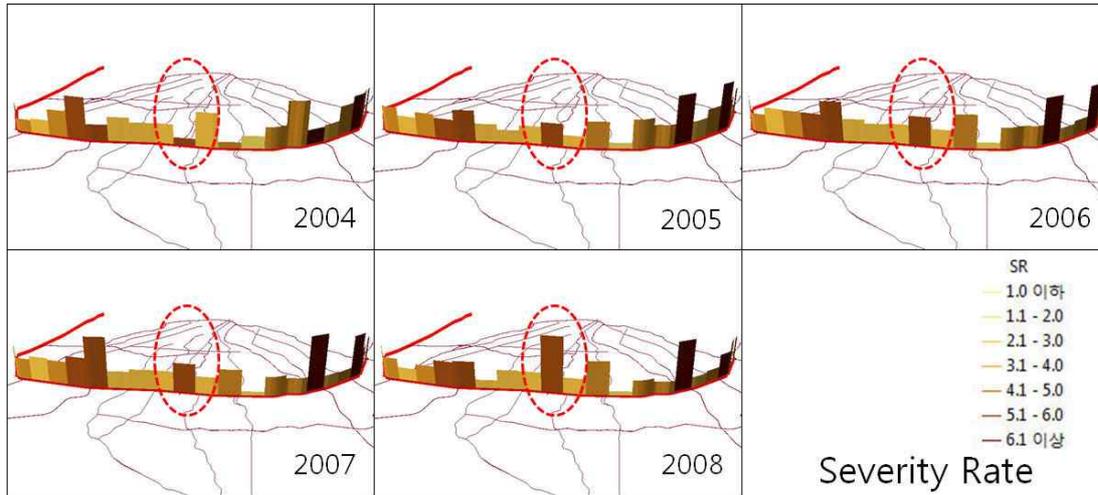


FIGURE 8. Spatio-temporal trend: severity rate

그림의 점선은 I-270 도로와 I-64 도로가 만나는 지점으로 다른 구간과 교통 사고율 및 교통사고 위험률의 값에서 차이가 나타난다. FIGURE 7에서 구역별로 사고확률을 나타내는 교통 사고율의 값은 전반적으로 시간적 흐름에 따른 변화가 미미하게 나타난다. 하지만 I-64 도로와 만나는 지점의 2008년 교통 사고율 값이 다른 지역에 비하여 월등히 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 변화는 사고의 위험도를 나타낸 FIGURE 8의 교통사고 위험률 값의 변화에서 더욱 두드러진다. 2004년도에 비하여 조금 증가하여 3년간 비슷한 수치를 유지한 I-64 도로 교차지역은 도로 전체가 통제되는 특정시점(2008년) 이후 교통사고의 위험률이 급증하는 변화가 나타났다. 이것은 GIS의 인접성 분석을 통하여 추출한 각 인터체인지 주변의 사고데이터를 5년간 총사고량 대비 각 연도별 사고율로 나타낸 결과인 FIGURE 9와도 같은 맥락의 결과를 보여준다. FIGURE 9의 범례에서 '총 사고율(Total)'은 I-270 도로상의 전체 교통 사고율을 의미하며, '인터체인지(Interchange)'는 I-270 도로상에서 교차하는 총 11개의 인터체인지 구간의 교통 사고율을 의미한다. 그리고 'I-64'는 I-270 도로상에서

I-64 도로와 교차하는 인터체인지 주변구간의 교통 사고율이다. 전체적인 인터체인지의 교통량의 변화는 I-270 도로 전 지역의 교통량의 변화와 같은 그래프곡선을 나타내고 있으나, I-64 도로와 만나는 인터체인지는 특정시점 이후 교통사고비율이 다른 인터체인지와는 확연히 차이를 보이는 것으로 나타났다.

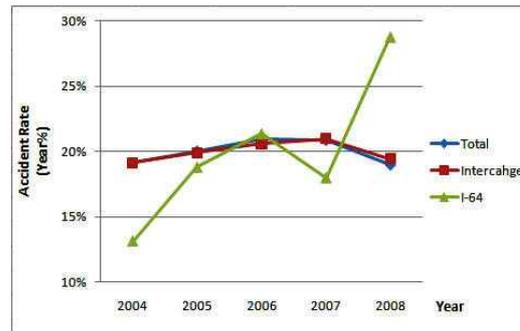


FIGURE 9. Spatio-temporal analysis(I-64) in I-270

TABLE 4는 I-64 도로와 만나는 지역의 사고특성을 사고원인과 연관하여 분석한 결과이다. 이를 위해 GIS환경에서 공간질의(SQL)를 통하여 대상지역의 사고를 추출하였다. 종합교통관리

시스템에는 총 26개의 사고원인을 분류하고 있으나 본 연구에서는 가장 사고빈도가 높은 4종류 및 기타로 분류하였다. I-64 도로와 만나는 지역에서 발생한 사고 수는 전체 도로에서 발생한 원인별 사고 수에 대비하여 2004년부터 2007년까지 평균 2~3%정도 수준에서 발생하였다. 하지만 특정시점 이후 이 지역의 사고는 6.87%로 증가하였으며, 특히 후방추돌(real end)사고는

8.49%, 추월(passing)사고는 10.59%로 급증하였다. 이에 대상지역에 위치한 교통량센서의 데이터를 이용하여 분석한 결과 대상지역의 하루 평균 교통량이 2007년 49,773대에서 2008년 58,311대로 약 15%증가 하였다. 이는 대상지역의 폐쇄로 인한 우회 교통량의 증가가 사고를 증가시킨 원인으로 작용한 것으로 판단된다.

TABLE 4. Number of crashes by the accident type

Year	Area	Rear End	Passing	Out of Control	Change Lane	Other	Total
2004	all	1,151	250	296	69	334	2,100
	I-64	24(2.09%)	9(3.60%)	6(2.03%)	2(2.90%)	3(0.90%)	44(2.10%)
2005	all	1,145	247	380	57	341	2,170
	I-64	28(2.45%)	9(3.64%)	11(2.89%)	1(1.75%)	8(2.35%)	57(2.63%)
2006	all	1,358	296	286	74	285	2,299
	I-64	43(3.17%)	5(1.69%)	12(4.20%)	8(10.81%)	7(2.46%)	75(3.26%)
2007	all	1,385	276	330	91	202	2,284
	I-64	51(3.68%)	4(1.45%)	1(0.30%)	0(0.00%)	5(2.48%)	61(2.67%)
2008	all	1,201	236	323	112	209	2,081
	I-64	102(8.49%)	25(10.59%)	8(2.48%)	6(5.36%)	2(0.96%)	143(6.87%)

결론

본 연구에서는 통합교통관리시스템의 데이터를 이용하여, 고속도로 폐쇄 전후 주변지역의 안전성 평가를 위한 교통사고 특성 비교 및 영향력 분석을 실시하였다. 특히 본 연구에서 적용한 동적 분할 기법은 공간을 고려한 분석에서 매우 유용한 기법이다. 이 기법은 GIS가 적용되지 않은 상태에서 나타나지 않는 시공간적인 변화 및 공간특성분석이 가능할 뿐 아니라, 실시간으로 수집되고 갱신되는 동적인 교통 환경에 가장 잘 대처할 수 있는 방법 중 하나이다. 또한 본 연구에서 분석을 위해 사용된 교통 사고율과 교통사고 위험률, 특성화지표는 분석 결과를 더욱 객관적이고 명료하게 보여준다.

본 연구에서 중점으로 다룬 I-64 도로의 폐

쇄에 따른 전후 교통사고 특성비교 분석 결과, 폐쇄지점과 만나는 주요도로의 구간에서 교통사고율 및 사고 위험률의 증가라는 의미 있는 결과를 보여준다. 하지만 경제적 요인과 같은 다양한 여건을 고려한 보다 포괄적인 분석과 분석 결과를 도로계획 및 의사결정지원에 실무적으로 활용하기 위한 추가 연구는 반드시 필요하다고 하겠다. 또한 본 연구에서는 데이터의 한계로 인하여 적용에 어려움이 있었으나, 사고지점의 차로 수와 같은 밀도의 개념이 적용된다면, 차후 사고 및 위험율의 예측을 통한 의사결정을 지원할 수 있을 것이라 판단된다.

GIS에 있어서 데이터는 매우 중요한 요소이다. 이러한 관점에서 볼 때 통합교통관리시스템은 교통에 관련하여 다양한 데이터를 제공하며, 공간적 단위의 일치성을 통하여 GIS와 쉽게 결합할 수 있다. 우리나라에서도 선진국에서 활발히

구축되고 관리되고 있는 이러한 시스템 및 데이터의 적용이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 우리나라에 맞는 공간단위 설정 및 사용기관과의 협력을 통한 공유체계 및 유지보수체계에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 또한 현재의 우리나라의 경우 사망, 중상, 경상, 부상 등의 인적피해를 수반하는 교통사고만 DB로 구축할 것이 아니라 재산피해와 같은 단순 사고의 데이터도 추가되어야 할 것이다. 이는 과학적인 분석을 통한 교통안전대책의 수립을 지원하여, 현재의 높은 교통사고율 및 사망률을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구는 체계적으로 수집된 자료와 GIS와의 결합을 통한 심화 연구에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 의미가 있다고 할 수 있다. 예를 들면, 통계처리를 통한 사고분석, 최근 유행하고 있는 Empirical Bayesian 또는 Fully Bayesian 분석 기법을 통한 교통사고분석에 기초자료를 제공할 수 있다. 이러한 분석은 차후 교통사고를 감안한 도로설계지침작성을 위한 기초연구자료를 제공하는데 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 

주

- 1) 교통 분야의 GIS를 GIS-T 또는 TGIS라 부르며 미국, 유럽을 중심으로 급속히 발전하였다. 우리나라에서는 교통시설물 관리(임미 등, 2008) 및 교통정보 분야(이봉규와 송지영, 2004)등을 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 현재 지능형 교통시스템이 본격적으로 개발되면서 이 분야에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- 2) 동적 분할 기법(Dynamic Segmentation)은 한 항목의 속성 값으로 하나의 값만을 가져야 하는 관계형 데이터베이스의 결점을 보완하여, 한 개의 공간개체로 인식된 도로와 같은 속성항목에 대해 새로운 공간개체의 추가 없이 선형측정치에 따라 서로 다른

속성 값을 가질 수 있도록 하는데 그 의미가 있다. 따라서 강력한 분석기능을 제공하나 수정이 어려운 네트워크데이터모델의 단점을 보완하여 속성테이블만의 수정을 통한 변동성의 처리를 지원함으로써, 실시간으로 갱신되는 교통사고분석에서만 아니라, 네트워크 모델을 많이 적용하는 교통 GIS분야에서 활용가능성이 높은 기법중 하나이다.

- 3) 원 자료는 통합관리정보시스템이 제공하는 전 분야에 대하여 엑셀파일에 문서형태로 저장되어있다. 이를 GIS환경에서 분석이 용이하도록 프로그래밍을 통하여 분석 가능한 데이터만을 추출하여 데이터베이스형식으로 저장하면서 SQL을 사용하여 공간질의가 가능하도록 유형별로 코드화하였다.
- 4) 교통 사고율 및 교통사고 위험율의 식은 미주리 주 교통국뿐만 아니라 아이오와, 매사추세츠 등 미국의 여러 주 교통국에서 일반적으로 사용하는 공식을 이용하였다.

참고문헌

- 국토연구원. 2009. 교통사고 사상자 절반 줄이기는 교통사고 분석 DB로부터. 도로정책 Brief vol 25. 7-8쪽.
- 김호용, 남광우, 이성호. 2004. 통합적 도시하천 관리를 위한 Network GIS 활용방안에 관한 연구. 국토계획 39(2):295-307.
- 유환희. 2001. 무선 인터넷 GIS를 이용한 도시재해 관리시스템구축. 한국측량학회지 19(1):55-66.
- 이건학. 2004. GIS와 데이터마이닝을 이용한 교통사고의 공간적 패턴 분석. 대한지리학회지 39(3):457-472.
- 이봉규, 송지영. 2004. DMB 환경에서 GIS 기반의 교통정보 전송에 관한 연구. 한국지리정보학회지 7(2):29-36.

- 이주형, 손동혁, 윤문교. 1990. 교통사고 발생 특성과 그에 따른 사고요인 분석에 관한 연구. 국토계획 25(1):135-154.
- 임미, 신용은, 백태경. 2008. 교통시설 DB구축과 환승시설 설계 적용에 관한 연구. 한국지리정보학회지 11(3):127-135.
- 정수진, 임승현, 조기성. 2006. WebGIS 기반 교통사고정보관리 시스템 개발에 관한 연구. 대한토목학회논문집. 26(6):1003-1010.
- Hauer, E. 2002. Estimating Safety by the Empirical Bayes Method. Transportation Research Record 1784:126-131.
- Hauer, E. 2005. Observational Before-After Studies in Road Safety. Pergamon, Oxford, UK. 171pp.
- Laudon, K.C. and J.P. Laudon. 2002. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Li, L., L. Zhu and D.Z. Sui. 2007. A GIS-based Bayesian approach for analyzing spatial-temporal patterns of intra-city motor vehicle crashes. Journal of Transportation Geography 11:274-285.
- Load, D. and F. Mannering. 2010. The statistical analysis of crashes-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A 44:291-305.
- Loo, BPY. 2006. Validating crash locations for quantitative spatial analysis: A GIS-based approach. Accident Analysis and Prevention 38:879-886.
- Miller, H.J. and S.L. Shaw. 2001. Geographic Information System for Transportation: Principles and Applications. Oxford university press, New York, NY, USA. pp.360-364.
- MoDOT. 2004. Assessment of MoDOT's Transportation Management Systems Part II, MO, USA. pp.1-2.
- MS&T. 2010. Crash Analysis Before and After I-64 Closure Annual Report, MO, USA. pp.9-18.
- US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statics. 2001. Transportation Annual Report 2000, BTS01-02. Washington D.C. http://www.bts.gov/publications/transportation_statistics_annual_report/2000/index.html.
- Massachusetts Department of Transportation: Highway division, Crash Rate Procedures. <http://www.mhd.state.ma.us/downloads/footprint/roads/procedures09.pdf>.
- FHWA Safety Program. <http://safety.fhwa.dot.gov/hsip/fivepercent/2009/09ga.htm>. 