한국지리정보학회지 12권 1호 : 12~25(2009)

GIS와 공간통계기법을 이용한 시·공간적 도시범죄 패턴 및 범죄발생 영향요인 분석*

정경석[1] · 문태헌[2※] · 정재희[3] · 허선영[4]

Analysis of Spatio-temporal Pattern of Urban Crime and Its Influencing Factors*

Kyeong-Seok JEONG[1] · Tae-Heon MOON[2※] · Jae-Hee JEONG[3]
Sun-Young HEO[4]

요 약

본 연구는 마산시의 범죄발생 데이터를 이용하여 범죄발생의 특성을 파악하고, 범죄발생의 영향인자를 찾아내어 안전한 도시환경 조성에 도움이 되는 정보를 발견하는데 목적이 있다. 먼저 지리정보시스템을 이용하여 범죄 밀도분석 및 핫스팟(hotspot)분석 등을 통해 지역 범죄 발생패턴을 지도화하고, 공간회귀모델링 등의 공간통계분석을 통해 범죄율과 범죄영향요인간의 관계를 규명하였다. 그 결과 범죄는 생활주기 및 범죄유형에 따라 시계열적으로 일정한 패턴을 가지고 발생할 뿐 아니라, 공간적으로도 인접하여 발생하는 군집적 특성이 있음을 발견할 수 있었다. 모든 범죄유형의 발생에서 공간적 자기상관이 존재하였으며, 강도범죄율이 가장 높은 공간적 자기상관이 있는 것으로 분석되었다. 5대 총범죄율과 절도범죄율의 경우는 노령자인구비, 재산세, 도소매업수, 숙박음식업종수가 범죄율에 유의하고, 폭력범죄의 경우는 인구밀도가 유의미하며 범죄율에 부(-)적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 연구 결과는 범죄로부터 안전한 U-City 구현을 위한 관련 정책수립 등에 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 시·공간적 범죄 패턴, 공간통계, 범죄다발지역, 공간회귀모델, U-City

Abstract

The aim of this study is to analyze the periodical and spatial characteristics of urban crime and to find out the factors that affect the crime occurrence. For these, crime data of Masan

2008년 11월 26일 접수 Received on November 26, 2008 / 2009년 1월 10일 수정 Revised on January 10, 2009 / 2009년 2월 9일 심사 완료 Accepted on February 9, 2009
* 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비(과제번호 08U-Eco A03-1)와 2단계 BK21의 지원을 받았음.
1 경상대학교 공학연구원 연구원 Engineering Research Institute, Gyeongsang National University
2 경상대학교 도시공학전공 교수, 2단계 BK21 및 ERDI Department of Urban Engineering, Gyeongsang National University 2nd Stage BK21, ERDI
3 경남발전연구원, 연구위원 Gyeongnam Development Institute
4 경상대학교 대학원 도시공학과, 2단계 BK21 Graduate School of Gyeongsang National University, 2nd Stage BK21
※ 연락저자 E-mail : thmoon@gnu.ac.kr

City was examined and crime occurrence pattern is ploted on a map using crime density and criminal hotspot analysis. The spatial relationship of crime occurrence and factors affecting crime were also investigated using ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis) and SAR (Spatial Auto-Regression) model.

As a result, it was found that crimes had strong tendency of happening during a certain period of time and with spatial contiguity. Spatial contiguity of crimes was made clear through the spatial autocorrelation analysis on 5 major crimes. Especially, robbery revealed the highest spatial autocorrelation. However as a autocorrelation model, Spatial Error Model(SEM) had statistically the highest goodness of fit. Moreover, the model proved that old age population ratio, property tax, wholesale-retail shop number, and retail & wholesale number were statistically significant that affect crime occurrence of 5 most major crimes and theft crime. However population density affected negatively on assault crime. Lastly, the findings of this study are expected to provide meaningful ideas to make our cities safer with U-City strategies and services.

KEYWORDS : Spatio-temporal Crime Pattern, Spatial Statistics, Spatial Autoregrression Model(SAR), U-City

서 론

1. 연구 배경 및 목적

국내에서 범죄문제가 심각한 사회문제로 등장하여 CCTV관제센터를 운영하거나 U-City 서비스의 일환으로 방범용 CCTV카메라 및 범죄예방시스템을 도입하는 지자체들이 점점 늘고 있는 추세이다. 그러나 물리적인 시설의 공급과 더불어 범죄 자체뿐만 아니라 범죄가 발생하는 공간적 특성에 대한 분석과 이해가 이루어져야 한다(황선영과 황철수, 2003).

이러한 연구는 국외에서 비교적 활발하게 진행되고 있으나, 국내는 범죄와 범죄 발생장소의 관계를 도시지리학적 관점에서 접근한 연구가 매우 부족한 실정이다. 또한 사례지역도 서울과 같은 일부 대도시에 국한되어 있어 지방도시에 그대로 적용하기에는 설득력이 부족한 문제가 있다.

이에 본 연구에서는 범죄발생 데이터 분석에 근거하여 연구사례가 부족한 지방중소도시를 대상으로 환경범죄학 이론에 근거하여 범죄발생의 시간대별 발생 특성을 파악하고 범죄발생의 영향인자를 찾아내며, 범죄 밀도분석 및 핫스팟(hotspot)분석 등을 통해 지역 범죄 발생 패턴을 지도화 하는 한편, 공간통계분석의 방법으로 탐색적 공간자료분석과 공간회귀 모델링을 통해 범죄율과 범죄발생 요인간의 관계를 규명하고자 하였다. 본 연구의 궁극적 목적은 실증적인 자료분석 결과에 근거하여 지역의 범죄예방 방안을 마련하고 보다 안전한 도시환경을 조성해 나가도록 하는데 기여하기 위함이다.

2. 연구절차 및 방법

본 연구의 방법 및 분석에 활용된 분석도구는 다음과 같다. 첫째, 이론적 고찰 및 기존 연구 분석을 통해 본 연구의 범위와 방법 및 분석틀을 정립하였다. 둘째, 사례지역으로서 마산시를 선정하여 범죄자료와 범죄에 영향을 미치는 요인들의 속성자료를 구축하였다. 셋째, 사례지역의 시간대별 범죄발생의 특성을 파악하였고, 공간통계학적 관점에서는 전역적(全域的, global) 측면과 국지적(局地的, local)측면에서의

탐색적 공간자료분석(Exploratory Spatial Data Analysis; ESDA)을 통해 범죄발생의 공간분포와 범죄다발(hotspot)지역을 도면화 하였다. 넷째, 5대 범죄유형 중 표본수가 비교적 많은 절도 및 폭력을 대상으로 범죄발생에 영향을 미치는 공간적 요인을 발견하기 위해 해당 범죄율을 종속변수로 하고 범죄에 영향을 미칠 것으로 예상되는 관련연구에서 구축된 변수들을 독립변수로 공간회귀분석을 수행하였다.

통계분석은 SPSS 14.0를 사용하였고, 공간자료의 구축 및 공간통계분석에는 ESRI사의 ArcView 3.3, Spatial Analysist 2.0 extention, CrimeStat 3.0, 그리고 ArcGIS 9.0의 Spatial Analyst Tools 및 Spatial Statistics Tools를 사용하였고, 특히 공간회귀분석에는 Geoda(Anselin, 2005)를 활용하였다.

연구지역인 마산시는 2008년 10월 현재 인구 412,242명으로 경남의 대표적인 항만물류도시로 1도심, 3부도심, 1지역중심의 도시구조를 형성하고 있다. 분석 데이터의 면(面)사상자료는 마산경찰서에서 제공한 관할구역별 집계자료를 사용하였으며, 점(點)사상의 경우는 교외지역으로서 지번도의 확보와 관련자료의 취득이 곤란한 구산면, 진전면, 진북면, 진동면, 현동, 가포동을 제외하고 내서읍을 포함한 도심부로 국한하였다(그림 1 참조).

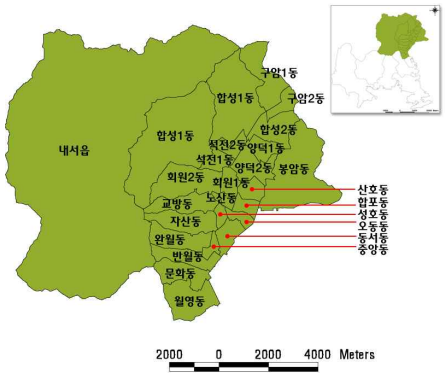

FIGURE 1. 연구 대상지역

기존연구 고찰

환경범죄학은 크게 두가지 영역으로 발전하고 있다. 첫째는 미시적 관점에서 범죄학과 건축학을 결합한 연구이다(김동근 등, 2007). 대표적으로는 Jeffery(1971)가 제시한 환경설계를 통한 범죄예방론(CPTED; Crime Prevention Through Environmental Design)과 Newman(1972)의 방어공간(defensive space)적 접근으로서 자연적 감시 및 접근통제, 그리고 영역성 증대를 통해 범죄를 예방할 수 있다고 하였다. 최근의 국내 연구로는 강석진 등(2007)과 이은혜(2008) 등이 있다.

둘째는 거시적 관점에서 범죄학과 공간지리학, 그리고 공간통계학의 결합으로 진행되어온 연구이다. 여기서는 범죄에 영향을 미치는 요인으로서 공간구조적 특성을 정량화하여 설명하려는 공간구문론(Space Syntax Theory)과 GIS가 접목된 연구분야(Hillier, 2000; 이만형 등, 2007)가 있다. 한편 이외에도 범죄발생의 공간적 특성을 범죄지도화하고 범죄발생의 공간적 패턴과 범죄발생 요인간의 영향관계를 공간통계학적 관점에서 밝혀내고자 한 분야(Lockwood, 2007; 김동근 등, 2007)등이 있다.

그러나 이러한 연구들은 범죄의 공간적 발생패턴에 대한 접근이 없으며 제시되는 대안들도 방어공간에 대한 이론적 내용을 답습하는 수준에 머무르고 있어 개선이 요구된다. 또한 통계분석기법도 공간이라는 요인을 고려하지 못하고 있어 분석결과의 신뢰성에 근본적인 문제점이 지적된다. 즉, 공간데이터들의 공간적 의존성 및 상호작용성을 고려하지 못함으로써 범죄발생 패턴의 통계적 분석에 대한 정확성 문제가 제기된다는 것이다(Levine 2005).

다른 한편으로 공간구문론과 GIS의 접목을 시도하는 연구들에 있어서도 넓은 지역을 대상으로 하지 않고 특정지역만으로 한정할 경우 공간구문인자들이 심한 왜곡현상을 보이기 때문에 결과를 신뢰할 수 없는 문제가 발생한

다(장동국, 2004). 여기서 범죄지도화와 공간통계분석이 결합된 연구는 면사상의 집계자료에 기반을 두고 있는데 대상범위가 지나치게 광범위하여 지역의 국지적 범죄양상에 대한 파악이 쉽지 않고, 반대로 점사상에 기반을 둔 연구들의 경우에는 연구범위가 지나치게 협소하고 표본수가 너무 적어 연구 결과의 객관화에 문제가 발생한다. 따라서 본연구는 이러한 문제를 해소하기 위해 공간 분석단위를 전역(全域)과 국지(局地)적으로 나누어 접근하고자 한다.

자료의 구성 및 구축

범죄 데이터는 마산시 관할경찰서의 협조로 2006년도 범죄신고관리대장을 기반으로 하였으며, 여기에는 범죄발생 장소와 시각, 주요 5대 범죄유형 등이 기록되어 있다. 그 외 2006년도 인구 및 주택 총조사, 2006년도 마산시 통계연보, 그리고 1:1,000 수치지도 및 shp파일 형태의 토지이용현황도를 사용하였고, 수치지도상에서의 범죄지점 표식을 위해 마산시 지번안내도를 참조하였다.

범죄자료는 면(面)사상과 점(點)사상의 두 가지 형태로 정리하였다. 점사상 자료는 범죄신고대장에 기록된 주소를 토대로 1:1,000의 수치지도와 지번도를 참조하여 공간자료화 하였고, 사건발생일자 및 시간, 요일, 동, 발생위치 및 주소, 장소, 범죄유형 등을 속성자료화 하였다. 마산시의 2006년도 총 범죄건수는 5,791건이고, 5대 범죄유형별 수는 강간 78건, 강도 43건, 살인 8건, 폭력 2,700건, 그리고 2,962건의 절도가 보고되었다. 그러나 전체 5,791 건의 범죄신고 자료 중에 주소식별이 가능한 3,640건의 자료가 최종적으로 분석에 사용되었다.

면사상 자료는 범죄사건 발생빈도수와 인구 및 사회경제적 요인과 관련한 자료들을 행정동별로 집계하여 구축하였다.

마산시 범죄 자료 분석

1. 범죄발생의 시간대별 분포패턴

마산의 시간대별 범죄발생 특성을 살펴보면 표 1과 같이 살인을 제외한 모든 범죄유형들이 야간과 심야시간대에 집중하여 발생하고 있음을 알 수 있다. 표 2의 요일별로는 절도사건의 경우 약간의 차이가 있으나 금요일과 토요일에 집중하는 경향이 있고, 폭력사건은 주말로 갈수록 증가하고 있다. 강간사건의 경우, 표본수가 적기는 하지만 화요일과 토요일에 많이 일어나고 있다. 총범죄수는 금요일이 가장 많았고, 일요일이 가장 적었으며, 목요일이 그 뒤를 이어 범죄건수가 적게 보고되었다. 계절별로는 절도사건은 주로 가을철에 집중하여 나타나고 있고, 폭력사건은 봄철에 가장 빈번하게 발생하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 강간, 강도 등의 강력범죄는 주로 여름철에 집중되고 있었다.

이상을 요약하면 범죄발생은 도시생활 및 범죄유형에 따라 일정한 주기성을 띠고 있다고 할 수 있다. 예외적으로 살인사건의 경우는 주로 우발적 상황에서 충동적으로 발생되는 경우가 많아 일정한 시간적 발생 패턴이 없는 것으로 나타났다.

TABLE 1. 시간대별 범죄발생건수 (건)

	강간	강도	살인	폭력	절도	계
오전 (06~12)	6	6	2	185	368	567
오후 (12~18)	9	5	0	251	465	730
야간 (18~24)	19	12	3	631	785	1450
심야 (24~06)	25	8	1	412	447	893
계	59	37	6	1479	2065	3640

TABLE 2. 요일별 범죄발생건수 (건)

	강간	강도	살인	폭력	절도	계
월	8	4	1	189	306	508
화	15	5	0	205	279	504
수	6	6	0	189	314	515
목	3	6	1	216	272	498
금	9	5	3	229	332	578
토	14	3	0	220	315	552
일	4	2	1	231	247	485
계	59	31	6	1479	2065	3640

2. 범죄발생의 공간적 분포패턴

1) 점사상의 전역(全域)적 범죄 분포패턴

넓은 범위에서 범죄발생의 공간적 분포 패턴을 규명하기 위해 공간통계분석을 실시하기로 하였으며, 분석에는 일반적으로 활용되는 표준편차 타원체(standard deviational ellipse)와 밀도분석(density analysis), 최근린지수분석(nearest neighbor index analysis) 등을 적용하기로 하였다. 표준편차타원체는 점 사상들의 산술적 평균과 표준거리를 이용하여 타원체를 도식화하는 것으로 사건의 분포 경향, 즉 점사상의 방향성을 직관적으로 파악할 수 있게 해준다. 밀도분석은 연구지역을 동일한 크기의 격자(grid)로 나눈 후 각 격자에 집계되는 점 사상의 빈도수를 2차원으로 표현하는 방법이다. 이를 통해 연구지역 내 사건들의 공간적 밀도를 분석하고 모델링 할 수 있다. 구체적인 방법으로는 bining, hexagonal bining, kernel, quadrat 방식 등이 있는데 본 연구에서는 커널(kernel) 추정법을 적용하여 분석해 보기로 하였다.

최근린지수 분석은 점들의 공간적 분포패턴이 상호작용에 의해 형성된 것인지 혹은 임의적으로 형성된 것인지를 밝히는 방법으로서 임의의 한 점으로부터 다른 점들까지의 거리를 측정한 후, 각 지점에서 가장 가까운 다른 지점까지의 거리를 평균하여 관측된 평균 최근린거리를 산정한다. 점 분포패턴으로부터 기대되는 평균 최근린거리를 구한 후, 기대되는 평균 최근린거리에 대한 관측된 평균 최근린거리의 비율로서의 최근린지수(NNI)를 도출하게 되는데, 이 지수를 통해 점분포 패턴에서 각 점들의 간격이 임의적인 점분포 패턴에서의 간격에 비해 어느 정도 차이가 발생하는지를 알 수 있다. NNI가 1인 경우는 완전히 임의적인 분포유형을 의미하며 NNI가 1보다 큰 경우에는 규칙적인 분포이고, NNI가 1보다 작은 경우는 점들이 모여 있는 군집적 분포를 의미한다(이희연, 1989).

이상의 지표로 분석한 결과 마산의 경우 그림 2와 같이 범죄발생의 방향은 북동에서 남서쪽으로의 방향성을 띠고 있고, 범죄발생의 중심점은 회성1동의 서쪽 경계부근에 나타났다.

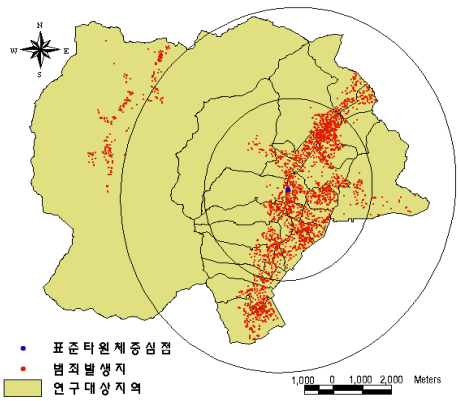

FIGURE 2. 표준편차타원체 및 범죄중심점

그림 3은 커널 추정법을 통해 사례지역을 5m×5m의 격자 단위로 나누고, bandwidth를 300m로 설정하여 범죄발생의 밀도를 분석한 결과이다. 국지적 분석에 해당하는 K-means 군집이나 최근린계층군집에서의 원형이나 타

원형의 핫스팟(hotspots)형태가 아닌 다소 불규칙한 형태의 hotspot이 도출되었다. 총범죄의 경우는 석전2동과 양덕1동, 합성 1동의 경계가 서로 교차하는 합성2동 부근에서 범죄밀도가 높게 나타났고, 그 다음은 산호동 일대로 나타났다. 이들 지역은 유동인구가 많은 시외버스 터미널과 신세계 백화점 등의 다중이용시설들이 밀집해 있는 지역들이다. 한편, 5대 범죄 중 표본수가 비교적 많은 절도 및 폭력범죄를 대상으로 밀도분석을 수행해 보면, 약간 서로 다른 공간적 패턴으로 나타났다. 절도범죄의 경우가 폭력범죄보다 주거지역으로 더 강하게 확산되는 것으로 나타났다.

이러한 범죄분포는 최근린분석을 통해 보다 계량화된 지표로 제시될 수 있다. 그 결과 표 3과 같이, 살인을 제외한 모든 범죄유형들이 인접하여 발생하는 군집 성향을 보이고 있으며, 특히 폭력범죄는 최근린지수가 약 0.3으로 매우 강한 군집 패턴을 띠는 것으로 분석되었다. 살인범죄의 경우는 일반적으로 임의적인 분포 형태로 발생하는 것으로 알려졌으나 본 연구에서는 다소 규칙적인 패턴에 가까운 것으로 추정되었다. 그러나 본 연구의 경우는 표본수가 다소 적어 확정적으로 결론을 내리기에는 위험하다.

TABLE 3. 범죄유형별 최근린지수(NNI)

범죄유형	최근린지수(NNI)
살인	1.3270
강도	0.6164
강간	0.4243
절도	0.3124
폭력	0.2986

2) 점사상의 국지(局地)적 범죄 분포패턴

국지적 차원에서의 공간분포 패턴을 분석하는 데는 K-means 군집(KMC)과 최근린 계층군집(NNHC)이 주로 사용된다. 이들은 모두 범죄가 집중하여 발생하는 핫스팟 지역을 찾아내는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 핫스팟 규명이 중요한 이유는 범죄가 집중적으로 잘 발생하는 장소를 파악하고 집중되는 원인과 과정을 이해하는 것이 매우 건전하고 안전한 도시환경을 조성하는데 중요하기 때문이다(Bowers와 Hirschfield, 1999).

K-means 군집 분석과정은 일반적으로 4단계를 거치는데, 첫 번째는 군집의 대상이 되는 K개의 포인트를 공간상에 배열하여 최초 그룹의 중심점들로 설정한다. 두 번째 단계는 각각의 객체들을 폐합된 그룹의 중심점으로 할당한

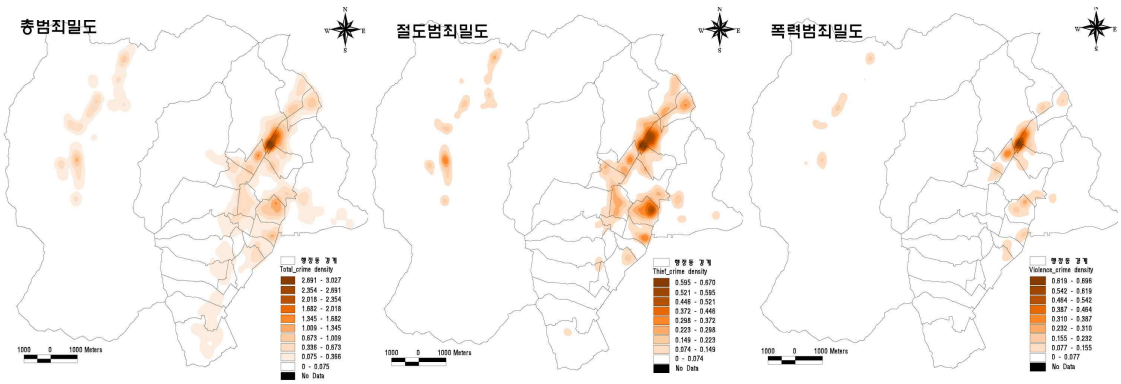

FIGURE 3. 커널 추정법에 의한 범죄 밀도 분석

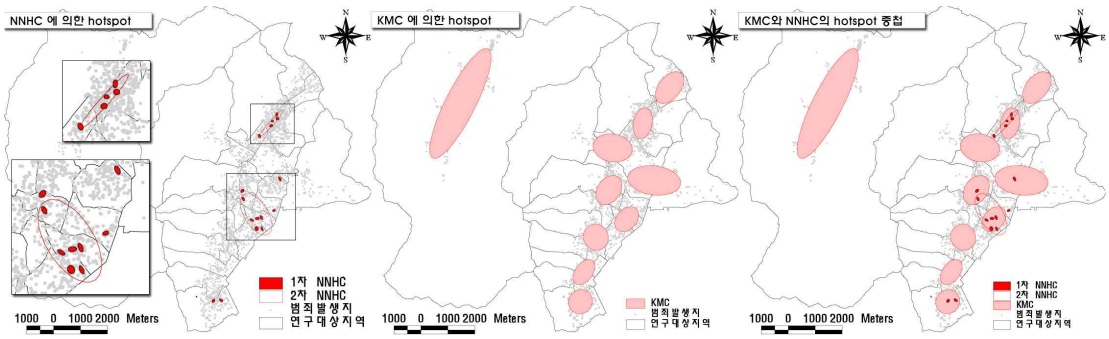

FIGURE 4. KMC와 NNHC에 의한 핫스팟분석

다. 세 번째는 모든 객체들이 할당될 때까지 중심점의 위치를 반복적으로 계산한다. 마지막단계는 중심점이 더 이상 이동하지 않을 때까지 두 번째와 세 번째를 반복하게 된다. 이 과정에서 각 객체들은 그룹화 되며, 이 방법은 최근린 계층군집 방법에 비해 기준범위가 큰 지역을 분석하는 데에 더 효과적이다. 본 연구에서는 그룹수를 10개로 하여 분석을 시도하였다.

최근린 계층군집은 가장 가까이 있는 사상을 첫 번째 그룹으로 형성하고, 첫 번째 군집들이 다시 두 번째 군집으로 모아지는 트리(tree)구조 방식을 취한다. 본 연구에서는 0.05%의 유의수준 확률을 정하고 군집에 포함될 점의 수를 20개로 한정하여 최근린 계층군집을 적용하였다. 두 방법에 의해 분석된 결과는 그림 4와 같다.

최근린 계층군집을 통해 19개의 핫스팟이 생성되었다. 1차 군집은 합성2동과, 석전 2동, 산호동, 합포동, 노산동, 오동동, 동서동, 그리고 월영동 등에서 발견되었고, 2차 군집은 합성2동과 석전2동 일대의 동마산권과 오동동, 동서동, 그리고 노산동 일대를 포함하는 구마산권에서 확인되었다. 동마산권은 중저층 위주의 주거지역과 소매·유통·상업시설들이 밀집되어 있을 뿐만 아니라, 시외버스터미널 및 마산역이 인접해 있어 유동인구가 매우 많은 지역이다. 구마산권은 주거 기능이 점점 상실되고 있는 도심쇠퇴 지역 가운데 한 곳으로 거주 인구는 계속 줄어들고 있는 반면, 상업 및 업무시설, 교육시설들이 상당수 혼재되어 있는 매우 복합적인 토지이용행태를 보이고 있는 지역이다. K-means 군집을 통한 10개의 군집지역과 최근린 계층군집 지역들과의 중첩비교에서는 5개의 K-means 군집이 최근린 계층군집의 1차 군집과 일치되고 있음을 확인할 수 있다.

한편, 그림 5는 대상지역에 위치한 치안지구대를 중심으로 반경 300m의 버퍼링 결과를 핫스팟지역들과 중첩시켜 놓은 것이다. 환경범죄학에서 일반적인 방어공간 이론에 의하면, 경찰지구대나 치안센터의 입지는 범죄예방을 위한 강력한 방어기제로 작용한다고 한다(권오은, 2002). 그러나 본 연구결과에서는 이들 치안시설물의 입지가 범죄예방차원에서는 그다지 크게 기여하지는 못하는 것으로 보인다. 이

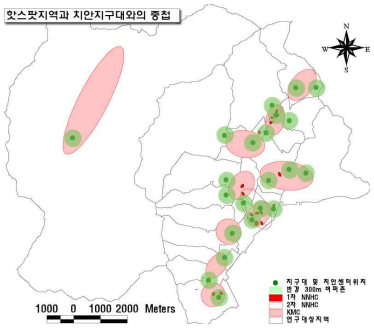

FIGURE 5. 핫스팟지역과 치안지구대의 버퍼링중첩 분석

런 결과는 사실상 관할서의 입지가 범죄예방을 위한 사전조치적 차원에서 이루어지지 않고, 우범지역에 대한 치안활동 강화를 위한 사후적 입지 결과로 나타난 현상으로 판단된다.

3) 면사상의 공간적 자기상관성 분석

공간적 자기상관 분석은 한 지점에서 발생한 사건이 이웃 지점에서 발생한 사건의 성격과 유사한지 또는 이질적인지를 판단하기 위해 적용하였다. 만일 두 지점간에 비슷한 성질을 가지면 양의 상관관계가 존재하게 되고, 반대로 두 지점이 반대의 값을 가지게 되면 음의 상관관계가 존재하는 것으로 나타나게 된다.

본 연구에서는 전역(全域)적 차원에서 공간적 자기상관성의 존재 여부를 파악하기 위해 Moran's I 지수를 적용하였으며, 국지적 차원으로는 LISA(Local Indicator of Spatial Association)분석 기법을 적용하였다.

정의에 의해 Moran's I는 다음과 같이 계산된다.

$$I = \frac{N\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\omega_{ij}Z_iZ_j}{S_0\sum_{i=1}^{N}Z_i^2} \qquad (1)$$

여기서, N: 지역수

ω_{ij} : 관련된 지역 i와 j사이의 강도를 나타내는 가중치

Z_j: 평균비율의 중심에 있는 지역 i에서 발생하는 비율

S_0 : 가중치의 합,

$$S_0 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\omega_{ij}, i \neq j$$

Moran's I 계수는 인접한 지역이 유사한 성격을 가지면 값이 커지면서 (+)값을 가지고 양의 상관관계가 있으며, 서로 다른 이질적이면 (-)값을 가지고 음의 상관관계가 있는 것으로 해석할 수 있다. 한편 Local Moran 지수 I는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$I = z_i\sum_{j=1}^{N}\omega_{ij}z_j\ ,\ i \neq j \qquad (2)$$

z_i와 z_j는 평균과의 편차이고, ω_{ij}는 표준화된 가중치 행렬이다. 국지적인 군집여부를 확인하기 위한 방법으로 Local Moran 지수를 표준화시킨 Z값이 높은 양의 값을 가지면 공간군집이 유사성을 가지는 것으로 결론을 내리고, 높은 음의 값으로 나타날 경우에는 공간적으로 이질성을 가지고 있다고 할 수 있다. 한편 본 연구에서는 인접성 가중치 적용방법 가운데 하나인 Rook방식을 취했을 때, Moran's I와 LISA 분석에서는 최적의 값을 찾아내 주었고, 공간회귀모델의 경우에는 거리가중치 방법 중 Threshold Distance(3,500m)에 의한 이웃정의 방식을 취했을 때 모형의 적합도가 가장 높게 나타났다. 3,500m의 임계거리는 100m단위로 보간하여 반복적인 연산을 통해 구해낸 최종 임계치 값으로 이 거리에서 가장 좋은 적합도를 보이는 모형이 도출되었다.

마산시의 행정동별 공간적 자기상관분석 결과, Moran's I 값은 절도 0.0735, 폭력 0.0785, 강도 0.1546, 강간 -0.0456, 살인 0.0543, 5대 총범죄율 0.0807으로 공간적 자기상관이 존재하는 것으로 나타났다. 특히 강도의 경우 가장 높은 공간적 자기상관이 존재하였고, 강간범죄율은 다른 범죄유형들과 달리 부(-)의 공간적 자기상관이 있는 것으로 나타났다.

그림 6은 행정동별 인구수를 고려한 범죄율에 대한 LISA 분석결과($p \leq 0.05$)이다. High-High는 그 지역과 주변지역이 모두 높은 범죄율을 갖는 핫스팟을 의미하며, Low-Low는 그 지역과 주변지역이 모두 낮은 범죄율을 갖는 콜드스팟을 의미한다. 이에 반해, High-Low와 Low-High는 각각 그 지역의 범죄율은 높은데 주변이 낮거나, 그 반대의 경우로서 공간적 가외치(Spatial Outlier)를 의미한다. LISA 분석은 단순히 범죄율의 높고 낮음을 떠나 인접한 지역이 서로 영향을 받으며 지역적으로 어떠한 공

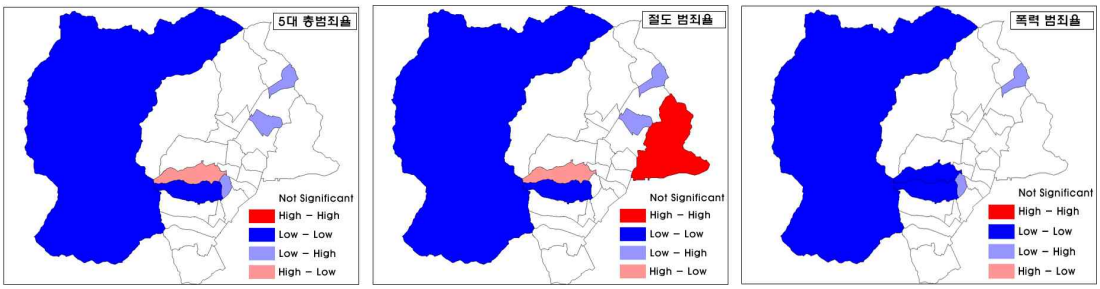

FIGURE 6. 5대 총범죄율, 절도 및 폭력범죄율에 대한 LISA 맵

간적 군집이 나타나는가를 파악하기 위해 실시하는 분석이다.

그림 6에서 첫 번째 5대 총범죄율은 자산동과 내서읍지역에서 콜드스팟(Low-Low)이 나타났고, 성호동과 양덕1동, 구암2동지역은 범죄율이 낮으나 인근지역들은 범죄율이 높은 Low-High지역으로 분류되었다. 교방동은 낮은 범죄율 지역들에 둘러싸여 있음에도 범죄율이 상대적으로 높은 High-Low 지역으로 분류되었다. 절도범죄의 LISA맵에서 특이한 점은 봉암동지역이 핫스팟(High-High)지역으로 분류 된 점이다. 이는 대규모 공단지역으로서 거주인구수가 적으나 범죄율은 높고 합성2동, 양덕1,2동, 산호동 일대과 같이 범죄율이 높은 지역들과 인접하고 있는 지리적 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 폭력범죄의 경우도 High-High 지역이 나타나지 않은 것을 제외하면 절도범죄율과 유사한 패턴으로 나타났다. 이상과 같이 전반적으로 본 연구에서의 LISA 분석은 면사상을 대상으로 핫스팟보다는 콜드스팟을 찾아내는데 더 효과적임을 알 수 있다.

5) 공간회귀모델링에 의한 범죄발생 영향요인 분석

이상에서 범죄발생의 공간적 분포패턴을 살펴본 결과, 범죄 발생이 빈번한 지역이 존재하고, 분포패턴도 지역적 편차가 있음을 알 수 있었다. 그러나 지역마다 범죄발생율이 다르게

TABLE 4. 공간회귀분석에 이용된 초기 변수와 내용

		변 수	변수명	설 명
종속변수		총5대범죄율	T_CRIME	인구 1,000명당 5대범죄건수
		절도 범죄율	THIEF	인구 1,000명당 절도건수
		폭력 범죄율	VIOLENCE	인구 1,000명당 폭력건수
독립변수	인구학적 특성변수	인구밀도	POP_DEN	총인구수/행정구역면적(명/㎡)
		세대당인구비	HHPOP_P	총인구수/총세대수(명/가구)
		유아인구비	PRECHILD_P	미취학아동수/총인구수(명/명)
		청소년비	TEENAGE_P	초중고학생수/총인구수(명/명)
		노령자인구비	OLDAGE_P	65세이상노령자수/총인구수(명/명)
	사회경제적 변수	생활보호대상자비	LOWIN_P	생활보호대상자수/총인구수(명/명)
		재산세	TAX_P	동별 평균재산세/가구원수(원/명)
	물리적 지역특성	도소매업	WH_RETAIL	도매・소매업체수
		숙박음식업	LODG_RESTO	숙박・음식업종수

나타나는 이유와 범죄 발생요인에 대하여 알아보기 위해 공간회귀분석을 시도해 보았다. 본 연구에서는 관련 사례연구와 자료 수집이 가능한 범위를 고려하여 표 4와 같은 변수를 도출하여 분석에 활용하였다.

공간회귀분석모형은 일반적으로 회귀분석모형(OLS), 공간지체모형(SLM, 또는 SAR), 그리고 공간오차모형(SEM)으로 구분된다. 그러나 분석에 앞서 다중공선성(multicollinearity) 문제를 해결해야 하는데, 이는 독립변수들 간에 인과관계가 존재할 경우, 한 설명변수가 다른 설명변수에 커다란 영향을 줌으로써 통계적 신뢰성을 떨어뜨리게 되므로 이를 통제해야 하기 때문이다. 따라서 표 5와 같이 변수간 상관관계를 분석하여 상관성이 높게 나타난 유아인구비, 청소년비, 세대당 인구비를 제외한 6개의 변수가 최종적으로 선택되었다.

공간회귀분석 결과는 그림 7과 같으며, Multicollinearity condition number가 30이상으로 다중공선성에 큰 문제가 없고, Breusch-Pagan과 Koenker-Bassett의 유의확률(p-value)값이 모두 0.05이하로 변수의 이분산성이 존재함으로서 공간회귀분석의 전제조건을 만족하고 있다. 공간적 자기상관 검정진단에서는 Moran's I(error)의 유의확률이 0.00으로서 자기상관이 존재하고 있음을 보이고 있다. 이것은 전통적인 선형회귀모델(OLS)이 아닌, SAR이나 SEM을 선택해야 하고, 로버스트 LM-lag(0.15)보다 로버스트 LM-error(0.02)의 유의확률이 더 유의한 쪽으로 판명되어, 최종적으로 분석에는 SEM을 선택해야 함을 나타내고 있다.

REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER 21.29949
TEST ON NORMALITY OF ERRORS

TEST	DF	VALUE	PROB
Jarque-Bera	2	5.134896	0.0767311

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS

TEST	DF	VALUE	PROB
Breusch-Pagan test	6	33.78983	0.0000074
Koenker-Bassett test	6	16.48435	0.0113774

SPECIFICATION ROBUST TEST

TEST	DF	VALUE	PROB
White	27	N/A	N/A

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : dingdist3500.GWT (row-standardized weights)

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.250298	5.8177295	0.0000000
Lagrange Multiplier (lag)	1	6.3219847	0.0119250
Robust LM (lag)	1	1.9982219	0.1574839
Lagrange Multiplier (error)	1	9.0855756	0.0025763
Robust LM (error)	1	4.7618128	0.0290979
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	11.0837975	0.0039191

FIGURE 7. 공간회귀분석 통계량

이러한 결과를 종합하면 표 6과 같이 공간오차모형(SEM)이 가장 현상을 잘 설명하는 것으로 나타났다. SEM을 이용한 분석결과 노령자인구비, 재산세, 도소매업수, 그리고 숙박음식업종수가 범죄율에 영향을 주는 요인으로 분석되었다. 노령자인구비, 재산세, 숙박음식업종수가 범죄율과 정(+)의 관계를 가지는데 반해, 도소매업수는 약하나마 부(-)의 관계를 가

TABLE 5. 독립변수간 상관분석

	PRECHILD_P	TEENAGE_P	OLDAGE_P	HHPOP_P	POP_DEN	LOWIN_P	TAX_P	WH_RETAIL	LODG_RESTO
PRECHILD_P	1	0.646**	-0.723**	0.619**	-0.184	-0.561**	0.379	0.177	0.180
TEENAGE_P	0.646**	1	-0.646**	0.917**	-0.109	-0.569**	-0.239	-0.060	0.087
OLDAGE_P	-0.723**	-0.646**	1	0.585**	0.171	0.672**	0.162	0.023	-0.132
HHPOP_P	0.619**	0.917**	-0.585**	1	0.104	-0.617**	0.269	-0.077	-0.068
POP_DEN	-0.184	-0.109	0.171	-0.104	1	0.111	-0.189	-0.055	-0.043
LOWIN_P	-0.561**	0.569**	0.672**	-0.617**	0.111	1	-0.197	-0.242	-0.226
TAX_P	0.379	-0.239	-0.162	-0.269	0.189	-0.197	1	0.420*	0.287
H_RETAIL	0.177	-0.060	0.023	-0.077	-0.055	-0.242	0.420*	1	0.783**
ODG_RESTO	0.180	0.087	-0.132	-0.068	-0.043	-0.226	0.287	0.783**	1

** : p<0.01, * : p<0.05

TABLE 6. 5대 총범죄율의 공간회귀분석 결과

	OLS			SLM			SEM		
	β	t-stat	Prob.	β	z-value	Prob.	β	z-value	Prob.
LODG_RESTO	0.04	3.65	0.00***	0.05	6.02	0.00***	0.04	7.43	0.00***
WH_RETAIL	-0.01	-2.25	0.04**	-0.01	-3.37	0.00***	-0.01	-4.07	0.00***
TAX_P	8.64	0.04	0.04**	6.97	2.45	0.01**	7.20	2.73	0.00***
LOWIN_P	-29.57	0.86	0.86	-42.67	-0.36	0.72	-129.78	-1.21	0.22
POP_DEN	-2.06	0.99	0.99	-115.27	-0.75	0.45	-166.11	-1.19	0.23
OLDAGGE_P	132.82	0.11	0.11	162.80	2.77	0.01**	239.69	4.23	0.00***
CONSTANT	-17.59	-1.97	0.06*	-27.35	-4.19	0.00***	-23.87	-2.54	0.01**
F통계량		3.47	0.02**						
ρ				0.79	5.77	0.00***			
λ							0.89	12.19	0.00***
R^2		0.52			0.66			0.74	
log likelihood		-81.64			-78.56			-75.55	
AIC		177.29			173.11			165.10	
SC		186.10			183.18			173.91	
likelihood ratio					6.18	0.01**		12.19	0.00***

*** : $p < 0.01$, ** : $p < 0.05$, * : $p < 0.1$

지는 것으로 나타났다. 노령자인구비는 OLS 모형을 제외하고 SLM과 SEM 모형에서 유의하게 나타났다($p<0.05$).

절도범죄율 역시 SEM모형이 더 설명력이 높은 것으로 나타났다. 음식숙박업종수와 도소매업, 재산세, 노령자인구비가 유의하게 나왔는데($p<0.05$), 약하지만 도소매업수만 부(-)의 관계를 가지며 나머지는 범죄율에 정(+)의 관계를 갖고 있다(표 7 참조).

폭력범죄율의 경우도 표 8과 같이 SEM모형의 설명력이 가장 높게 나타났으며, 총범죄율과 절도범죄율에서는 유의하지 않았던 인구

TABLE 7. 절도 범죄율의 공간회귀분석 결과

	OLS			SLM			SEM		
	β	t-stat	Prob.	β	z-value	Prob.	β	z-value	Prob.
LODG_RESTO	0.02	2.37	0.03**	0.02	3.89	0.00***	0.02	4.43	0.00***
WH_RETAIL	-0.01	-1.43	0.17	-0.01	-2.05	0.04**	-0.01	-2.33	0.02**
TAX_P	4.48	2.04	0.05*	3.64	2.20	0.03**	3.73	2.26	0.02**
LOWIN_P	-21.97	-0.24	0.81	-24.87	-0.36	0.72	-62.72	-0.93	0.35
POP_DEN	59.71	0.50	0.62	0.33	0.004	0.99	-22.83	-0.26	0.79
OLDAGGE_P	48.13	1.07	0.30	59.86	1.76	0.08*	95.61	2.69	0.00***
CONSTANT	-6.50	-1.30	0.21	-11.26	-2.95	0.00***	-8.74	-1.85	0.06*
F통계량		1.90	0.13						
ρ				0.74	4.40	0.00***			
λ								7.13	0.00***
R^2		0.38			0.52			0.57	
log likelihood		-66.64			-64.19			-63.01	
AIC		147.28			144.385			140.02	
SC		156.09			154.45			148.83	
likelihood ratio					4.89	0.03**		7.26	0.00***

*** : $p < 0.01$, ** : $p < 0.05$, * : $p < 0.1$

TABLE 8. 폭력 범죄율의 공간회귀분석 결과

	OLS			SLM			SEM		
	β	t-stat	Prob.	β	z-value	Prob.	β	z-value	Prob.
LODG_RESTO	0.02	4.65	0.00***	0.03	7.16	0.00***	0.03	9.50	0.00***
WH_RETAIL	-0.01	-2.85	0.01**	-0.01	-4.13	0.00***	-0.01	-5.28	0.00***
TAX_P	3.71	2.09	0.05*	3.07	2.28	0.02**	3.14	2.68	0.00***
LOWIN_P	-10.03	-0.13	0.89	-18.68	-0.33	0.74	-63.35	-1.34	0.18
POP_DEN	-56.78	-0.59	0.56	-99.31	-1.37	0.17	-128.92	-2.09	0.04**
OLDAGGE_P	76.87	2.11	0.04**	92.57	3.33	0.00***	131.26	5.22	0.00***
CONSTANT	-9.80	-2.42	0.03**	-13.99	-4.55	0.00***	-13.33	-3.02	0.00***
F통계량		5.10	0.00***						
ρ					4.56	0.00***			
λ							0.90	13.42	0.00***
R^2		0.62			0.70			0.80	
log likelihood		-61.11			-58.83			-54.48	
AIC		136.21			133.67			122.97	
SC		145.02			143.73			131.78	
likelihood ratio					4.54	0.03**		17.98	0.00***

*** : $p < 0.01$, ** : $p < 0.05$, * : $p < 0.1$

밀도가 유의한 변수($p<0.05$)로 판명되었다. 음식숙박업종수와 재산세, 노령자인구비가 폭력범죄율과 정(+)의 관계를 가지고 있는 반면, 도소매업종수와 인구밀도는 폭력범죄율과 부(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

도소매업종수가 공통적으로 총범죄와 절도, 폭력범죄율 등에서 약한 부(-)의 관계를 갖는 이유는 앞서 핫스팟 분석 결과 콜드스팟 중 한 지역인 내서읍에 상당수의 도소매업종이 몰려 있기 때문인 것으로 추정된다. 도소매업종수가 제일 많은 동서동(1,768개)을 제외하면 전체의 약 15.2%에 해당하는 674개의 도소매업체가 내서읍에 입지해 있다. 그러나 비정상적인 수치인 내서읍을 제외한다면 기존 선행연구와 마찬가지로 도소매업종 역시 범죄율과 정(+)의 관계를 가질 것으로 예상해 볼 수 있다.

결 론

본 연구를 통해 마산시의 각 행정동을 대상으로 하여 범죄발생의 시간대별, 공간적 범죄발생의 분포 패턴을 파악하였고, 공간회귀모델을 통해 범죄 발생요인 등을 분석하였다. 이를 요약하면, 범죄발생율은 도시생활 주기 및 범죄유형에 따라 주기적 패턴을 보일뿐만 아니라 공간적으로도 임의적으로 분포하지 않고 공간적 이질성과 공간적 종속성을 가지면서 군집적으로 발생함을 알 수 있었다. 범죄 유형별로 보면 폭력과 절도 범죄는 군집하는 경향이 강했고, 강도 및 강간 등은 군집의 정도가 약하게 나타났다.

밀도분석에서는 합성2동 지역과 산호동 일대가 범죄다발지역(hotspot)으로 분류되었는데, 이들 지역은 인구 유동이 매우 빈번한 지역으로 시외버스터미널, 마산역, 그리고 신세계백화점 등이 입지해 있는 지역적 특성 때문으로 이해되었다. 이들 유동인구가 빈번한 지역들에 대해서는 집중적인 범죄예방 활동 및 CCTV 등을 통한 범죄감시체계가 우선적으로 도입되어야 할 것이다.

K-means 군집과 최근린 계층군집분석에 의한 핫스팟 지역은 주로 동마산권과 구마산권에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다. 특히 구마산권은 주거기능이 점점 줄어들고 있는 마산시의 대표적인 도심쇠퇴 지역으로 범죄예방적 차원에서라도 도심 재정비사업이 시급

히 추진되어야 한다.

Moran's I 척도와 LISA 분석을 통해서는 범죄의 공간적 자기상관 정도와 군집패턴을 면(polygon)단위로 살펴볼 수 있었다. 분석결과, 모든 범죄유형들에서 공간적 자기상관이 존재하는 것으로 나타났고, 강도범죄율은 가장 높은 공간적 자기상관이 존재하는 것으로 확인되었다. LISA 분석의 경우 핫스팟보다는 콜드스팟을 찾아내는데 더 효과적이었으며 대표적인 콜드스팟지역은 자산동과 내서읍지역이었다.

끝으로 범죄 발생에 영향을 미치는 요인을 규명해 보기 위해 기존사례 연구들로부터 변수들을 추출하여 공간회귀분석을 시도하여 공간오차모형(SEM)이 가장 적합한 것으로 나타났고, 5대 총범죄율과 절도범죄율의 경우, 노령자인구비, 재산세, 도소매업수, 그리고 숙박음식업종수가 범죄율에 영향을 주는 요인으로 분석되었다. 폭력범죄의 경우는 이외에도 인구밀도가 유의미한 변수로 추가되었는데, 인구밀도는 범죄율에 부(-)적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 유의미한 분석결과들에도 불구하고, 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 한계점을 가지고 있다.

첫째, 범죄자료 확보 측면에서의 한계점이다. 범죄신고관리대장이 체계적이지 못하고, 사건발생장소 및 주소 등이 불명확하게 기재되어 정확한 범죄사건의 표본추출이 어려웠다. 또한 횡단면 자료를 사용하다보니 표본수가 적어 일부 분석기법을 적용하지 못한 점은 아쉬운 부분이다. 이에 대하여는 인근지역까지 확장하여 분석하는 방법이 있을 수 있다.

둘째, 공간회귀분석모형의 적용에 있어 변수가 충분하지 못한 점이다. 그 이유는 데이터 출처에 따라 집계단위가 다르기 때문에 이를 통합하는 과정이 쉽지 않아 채택 가능한 변수수가 줄었기 때문이었다. 예를 들면 경찰서 관할구역과 범죄신고대장상의 법정동 단위 주소체계간의 불일치, 속성자료간의 공간 집계단위의 불일치 등의 문제로 변수선택에 제약이 있을 수밖에 없었다.

셋째, 면사상을 대상으로 한 범죄분석에서 행정동 단위 이하의 공간적 범위를 충분히 고려하지 못한 측면이 있다. 핫스팟지역을 중심으로 보다 미시적 관점에서 공간특성 및 사회경제적 특성을 반영한 범죄분석이 이뤄져야 할 것이다.

상기의 한계점에도 불구하고 본 연구결과는 환경범죄학 이론에 GIS의 공간분석 기능과 공간통계분석방법을 통합하여 범죄 현상의 공간적 특성을 밝혔다는 점에서 연구의 의의를 들 수 있고, 연구 결과는 향후 지역적 범죄예방을 위한 치안 활동과 범죄로부터 안전한 U-City 구현을 위한 관련 정책수립 등에 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. KAGIS

참고 문헌

강석진, 이경훈. 2007. 도시주거지역에서의 근린관계 활성화를 통한 방범환경조성에 대한 연구-수도권 P시 단독주택지를 중심으로. 대한건축학회논문집(계획계) 97-106쪽.

권오은. 2002. GIS를 이용한 범죄 지역 분석-파출소를 중심으로. 서울시립대학교 석사학위논문. 1-94쪽.

김동근, 윤영진, 안건혁. 2007. 토지이용에 따른 도시범죄에 대한 연구. 대한국토도시계획학회지(국토계획) 42(7):155-168.

남광우, 김호용, 이성호, 이상학, 하수욱, 최현. 2005. 사회경제적 지리정보 활용 및 데이터 요구조건에 관한 연구. 한국지리정보학회지 8(3):44-54.

이만형, 김정섭, 석혜준. 2007. 공간분석 기법에 기초한 주거지역 공간특성과 주거침입범죄와의 관계분석. 대한건축학회논문집(계획계) 141-150쪽.

이은혜, 강석진, 이경훈. 2008. 지구단위계획에서 환경설계를 통한 범죄예방기법 적용에 대한 연구-지구단위계획 요소별 CPTED기법 유형화를 중심으로. 대한건축학회논문집(계획계) 129-138쪽.

이희연. 1989. 지리통계학. 법문사. 664쪽.

장동국. 2004. 도시공간구조와 공간이용 : 공간구문론을 이용한 공간이용패턴 예측을 중심으로. 대한국토도시계획학회지(국토계획) 39(2):35-46.

황선영, 황철수. 2003. GIS를 활용한 도시 범죄의 공간패턴분석. 대한국토도시계획학회지(국토계획) 38(1):53-66.

Anselin, 2005. Exploring spatial data with GeoDaTM: A workbook. Center for Spatially Integrated Social Science.

Bowers, K. and A. Hirschfield. 1999. Exploring links between crime and disadvantage in north-west england: An analysis using geographical information systems. IJGIS vol.13(2), pp.159-184.

Hillier, B. and S. Shu. 2000. Crime and urban layout: the need for evidence. In: Secure foundations: key issues in crime prevention, crime reduction and community safety. Institute for Public Policy Research, London, UK, pp.224-248.

Jeffery, C.R. 1971. Crime Prevention Through Environmental Design. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

Levine, N. 2005. CrimeStat: A spatial statistics program for the analysis of crime incident location. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington DC.

Lockwood, D. 2007. Mapping crime in Savannah. Social Science Computer Review, Vol. 25(2), pp.194-209.

Newman, O. 1972. Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design. New York: Macmillan. KAGIS