

스마트 안전도시 조성을 위한 도로망 특성과 범죄발생 멀티에이전트(Multi-Agent) 시뮬레이션*

문태현^{1*} · 조정훈¹

Road Networks and Crime Occurrence Multi-Agent Simulation for Smart Safe City*

Tae-Heon MOON^{1*} · Jung-Hun CHO¹

요 약

본 연구는 범죄로부터 안전한 생활환경 조성을 위해 도로망의 형태도 범죄발생에 영향을 미칠 것이라는 가정하에 공간구문론(Space Syntax)을 활용하여 사례지역을 대상으로 실증 분석하였다. 즉 도로별로 통합도, 통제도, 연결도를 공간구문론으로 계산하고, 각 도로별 실제 범죄발생 건수와 상관성을 분석하였다. 다음으로 분석결과를 일반화할 수 있는지를 확인하기 위해 멀티에이전트모형(Multi-Agent Model)을 개발하여 컴퓨터상의 가상공간에서 시나리오를 설정하고 시뮬레이션 하였다. 그 결과 도로망의 통합도가 범죄발생과 가장 연관성이 높은 것으로 분석되었으며, 가상공간 시뮬레이션 결과에도 통합도가 가장 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. 본 연구는 멀티에이전트 시뮬레이션에서 실험공간 규모나 에이전트 행동의 프로그래밍에 한계가 있었지만 현실 데이터와 가상공간 시뮬레이션에 의해 도로망 체계와 범죄발생간의 관계를 규명하였다는데 의의가 있다. 또한 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 플랫폼은 다양한 실험이 가능하므로 경찰력이나 방범시설의 배치 등 보다 현실적인 문제에 대한 해결방안 모색과 스마트 안전도시를 앞당기는데 기여할 것이다.

주요어 : 범죄예방, 공간구문론, 멀티에이전트 모델, 시뮬레이션, 스마트 안전도시

ABSTRACT

Under the hypothesis that the form of road network could affect crime occurrence, this study demonstrates to prove them using Space Syntax with real crime data. We calculated integration, control, connection index by means of Space Syntax and analyzed the relationship between the three indexes and the number of crime occurrence on the

2015년 4월 26일 접수 Received on April 26, 2015 / 2015년 6월 5일 수정 Revised on June 5, 2015 / 2015년 6월 11일 심사완료 Accepted on June 11, 2015

* 본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(13AUDP-B070066-01), 한국연구재단 지역대학우수과대학자지원사업(2012R1A1A4A01019803), BK21PLUS에서 일부 지원받아 수행하였음.

1 경상대학교 도시공학과 ERI, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University

* Corresponding Author E-mail : thmoon@gnu.ac.kr

each road. Next, in order to generalize the analysis results we adopted Multi-Agent Model and simulated several scenarios on the computer virtual space. The results revealed that integration index has the strongest relationship with crime occurrence both in the case of real study area and virtual space simulations. Though this study has several limitations on the extent of virtual space and realistic computer programming of agents' behavior, the results are meaningful to verify the relationship between the form of road network and crime occurrence. Moreover the simulation platform that this study developed has promising possibilities to find realistic solutions on the effective police deployment or facility layout to improve smart safe city development.

KEYWORDS: Crime Prevention, Space Syntax, Multi-Agent Model, Simulation, Smart Safe City

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리 사회는 도시화 과정에서 환경, 교통, 안전 등 복잡하고 다양한 사회문제가 발생하고 있다. 특히 귀중한 생명과 재산에 위해를 가하는 범죄가 끊임없이 발생하여 국민들의 불안감이 증대되고 있어 대책 마련이 요구되고 있다. 이는 세계적인 문제로 각 나라에서도 범죄예방을 위해 다양한 접근이 이루어지고 있다.

그러나 지금까지 범죄에 관한 이론적 연구는 크게 일상활동이론(Routine Activities Theory), 상황적 범죄예방이론(Situation Crime Prevention Theory), 방어공간이론(Defensible Space Theory)으로 구분되지만, 최근에는 도시의 물리적 환경을 증시하는 환경설계를 통한 범죄예방(Crime Prevention Through Environmental Design, CPTED)이 주목을 받고 있다. 또한 정보통신 기술을 이용한 유비쿼터스도시가 등장하면서 U-City의 핵심 요소로서 U-서비스가 개발되고 있으며, 그 중에서 U-방법이나 U-안전 서비스 등과 같이 새로운 시도가 빠르게 전개되고 있다(Moon, 2014).

이와 같이 범죄로부터 안전한 국민 생활환경 조성을 위한 다양한 접근이 이루어져 왔지만 아직 만족할만한 수준에 이르지 못한 실정이다. 이에 본 연구에서는 도시공간의 물리적 환경에

초점을 두고 도시의 공간구조와 범죄발생 간의 연관성을 분석해 보고자 한다.

도시공간구조란 도시계획적 차원에서 보면 토지이용에 의해 도시의 주요 골격이 정해지며, 이와 더불어 도로망 또한 중요한 도시공간구조를 형성하는 요소가 된다. 따라서 토지이용과 범죄, 도로망과 범죄발생의 관련성을 분석하는 것이 본 연구의 목적이다. 그러나 토지이용과 범죄의 관계를 분석한 경우는 Jung *et al.* (2010), Heo and Moon(2011; 2012) 등의 연구가 있지만 도로망 체계와 범죄 발생간의 관계를 분석한 연구는 그다지 많지 않아 추가적 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 도로망의 형태도 범죄발생에 영향을 미칠 것이라는 가정하에 도로망을 도시공간구조 개념에서 정량화할 수 있는 공간구문론(Space Syntax)을 활용하여 사례지역에 범죄발생과의 관계를 실증 분석해 보고자 한다.

한편 이런 방법은 사례지역에만 적용되는 특수한 경우에 해당할 수 있으므로 가상공간을 대상으로 사례지역의 결과를 일반화할 수 있는지 확인할 필요가 있다. 이를 위해 멀티에이전트모형(Multi-Agent Model)을 개발하여 컴퓨터상의 가상공간에서 몇 가지 시나리오를 설정하고, 시나리오별로 시뮬레이션하여 그 결과를 분석한 다음, 사례지역에서 분석한 결과와 비교함으로써 도로망 형태와 범죄발생의 관계를 검증해 보고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 우리나라에서 보편적인 지방 중소 도시 중의 하나인 J시를 대상으로 하되, J시 중에 범죄가 분석 가능할 정도로 일정 수준 발생하고 있으며, 특별한 환경을 가지지 않고 주거와 일부 상업이 포함된 평범한 지역을 대상으로 실증 분석하였다. 먼저 사례지역에서 도로망을 중심으로 공간구조를 파악하기 위해 공간구문론(Space Syntax)을 적용하였다. 공간구문론으로는 사례지역의 축선(도로)별로 3가지 지표를 계산할 수 있는데, 통합도(Integration), 통제도(Control), 연결도(Connectivity)이다. 이들 지표와 도로별 범죄발생 건수를 비교해 봄으로써 도로망 체계와 범죄 발생과의 관계가 분석 가능하다. 다음으로 가상공간을 설정하여 멀티에이전트 모형을 개발하고 컴퓨터 프로그래밍을 통해 시뮬레이션을 실시하고자 한다.

이론 및 선행연구

공간구문론은 공간구조를 분석하여 각 공간의 중요도를 정량적으로 제시하는 이론이다. 이 이론은 Hillier *et al.*(1984)에 의해 개발된 이후 도시 공간구조 연구에 활용되고 있다. 사례도 적지 않지만 공간구문론과 범죄 발생간의 관계를 연구한 연구는 그다지 많지 않다.

국내 사례로서 Jung and Kim(1997)은 단독주택지역을 대상으로 가로구조의 물리적 환경과 범죄간의 관계를 분석하여 단독주택단지 계획시 고려해야할 사항을 제시하였다. 이들은 1991년부터 1995년 사이의 법원 사건 판결문을 이용하여 단지별로 공간구문 변수를 계산한 다음, 공간구문 변수와 범죄발생간의 연관성을 분석한 점이 특징이다. 그 결과 공간구문론 변수 중 하나인 연결도(connectivity)가 낮은 단지일수록 주택침입범죄가 증가하고, 통합도(integration)가 높을수록 침입범죄가 늘어난다고 주장하였다.

Lee *et al.*(2007)은 C시의 주거지역을 대상으로 주거지역의 공간특성과 범죄간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 주거침입범죄는 도로의

연결도가 높을수록 증가하는 정(+)의 관계가 있으며, 통제도와 통합도가 높으면 범죄가 낮아지는 부(-)의 관계가 있음을 주장하였다. 이를 통해 CPTED 이론을 현장에 적용할 때 범죄 취약공간 및 방어공간 설정에 참조할 수 있도록 하였다.

Hong(2014)의 연구는 환경범죄학 측면에서 접근하고 있으며, 대상지 54곳에 범죄발생통계와 공간구문론으로 분석하였다. 연구결과는 야간 강도·절도 발생건수와 통합도는 부(-)의 관계가 있으며, 주간 강도·절도 발생건수 및 성범죄 발생건수와 통합도는 정(+)의 관계가 있음을 밝혔다.

외국의 사례로는 Nubani and Wineman(2005)의 연구에서 통합도와 강도 발생률 사이에 상관관계가 있다고 하였고, Manuel(2007)는 주거 강도, 자동차 도난은 통합도와 상관관계가 있다고 주장하였다.

이상과 같이 공간구조와 범죄발생간의 관계를 연구한 사례가 있지만 그다지 많지 않으며, 분석결과 또한 일반화하기 어려운 실정으로 추가적인 연구가 필요하다.

사례도시 현황

사례연구의 대상인 J시는 인구 34만명으로 우리나라의 전형적인 지방 중소도시 중 하나이다. 사례도시의 범죄발생 자료는 2008년, 2011년, 2012년에 한하여 관할 경찰서의 범죄기록대장을 엑셀파일 형태로 정리하였다(표 1 참조). 5대 강력범죄 종류별로는 절도와 폭행이 전체의 97~99%로 대부분이고, 강간, 살인, 강도는 상대적으로 매우 낮게 발생하였다.

사례도시의 범죄발생 현황을 공간분석에 활용하기 위해 지번을 매개로 Geocoding하여 GIS 데이터를 그림 1과 같이 구축하였다.

J시의 경우 범죄는 그림 2와 같이 상업지역과 주거지역에서 많이 발생하고 있으며, 동쪽의 산업단지내에는 발생 건수가 많지 않음을 알 수 있다. 도시공간별로 보면 침입절도는 주간선도로가 아닌 배후 도로나 골목길에서 많이 발생하

TABLE 1. Crime occurrence by crime type in J City

Year	Type	Rape	Robbery	Homicide	Theft	Violence	Total
2008	Case	25	15	2	1,308	1,007	2,357
	%	1.06	0.64	0.09	55.49	42.72	100
2011	Case	49	16	7	1,411	1,081	2,564
	%	1.91	0.64	0.26	55.03	42.16	100
2012	Case	21	1	0	1,484	962	2,468
	%	0.85	0.04	0.00	60.03	39.98	100

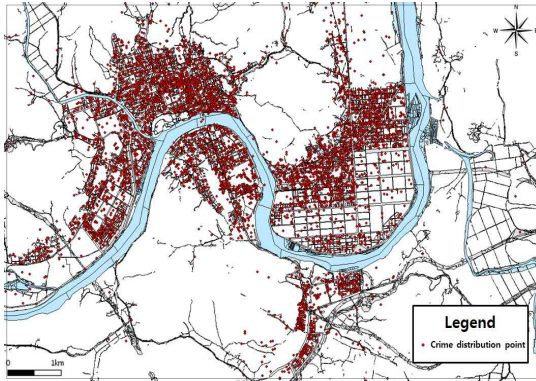


FIGURE 1. Crime distribution in J City

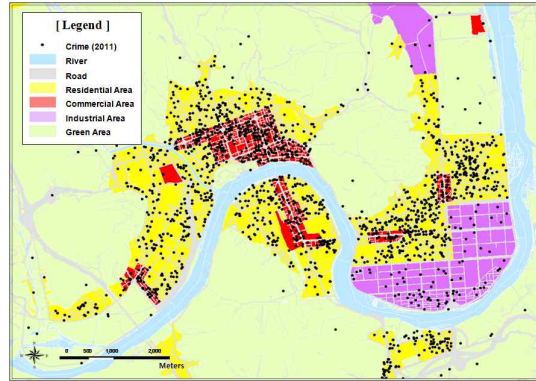


FIGURE 2. Land use and crime in J City

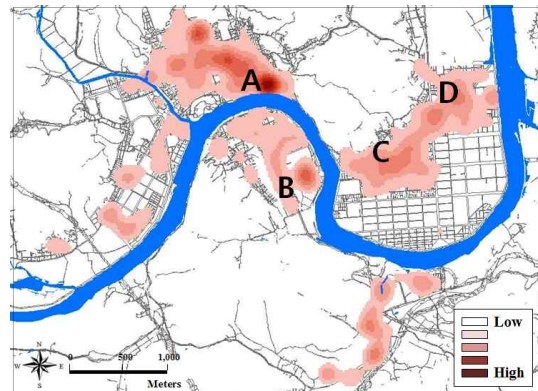


FIGURE 3. Crime hot spots in J City

고, 폭행은 유동인구가 많은 도로나 상업지역에서 많이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

지역적으로 범죄발생이 많은 핫스팟을 분석해보면 그림 3과 같다. 여기서 A지역은 구도심으로서 상업시설이 밀집된 시가지 중심지역이고, B지역은 구 기차역사가 있고 그 주변으로 상업

지역이 분포해 있는 지역이다. C지역은 오래된 주거지역으로서 부분적으로 전통 상업지역이 혼재되어 있는 지역이며, D지역은 주거지역이 대부분으로 아파트가 많이 개발된 지역이다.

여기서 공간구문론과 범죄발생간의 관계를 분석하기 위해 대상지역을 선정해야 하는데, 시

전체를 대상으로 한다면 범죄가 거의 발생하지 않는 공업지역이나 녹지지역 등이 포함되어 적절하지 않다. 따라서 주변의 여건과 환경적 영향을 적게 받으면서 일정 수준의 범죄가 발생하는 지역을 대상으로 하는 것이 적절하다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 범죄 발생 건수가 다수 있고, 토지이용이 단순한 C지역에서 대로로 구획된 지역을 추출하여 분석 대상지로 설정하였다.

공간구조와 범죄발생

1. 공간구문 특성치와 범죄발생 건수

사례지역의 도로망은 그림 4와 같고, 그림에서 숫자는 분석을 위한 도로망 번호이며, 단선은 1차선도로, 두줄은 2차선도로, 세줄은 3차선 도로를 의미한다.

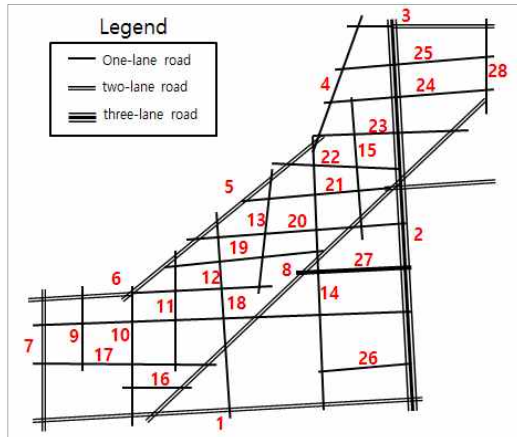


FIGURE 4. Road networks of study area

공간구문 특성치 중에서 연결도는 축선(도로)에 직접적으로 연결되어 있는 도로의 수를 나타낸다. 따라서 연결도가 높다는 것은 다른 공간과의 연결이 용이함을 의미한다. 통제도는 연결도를 발전시킨 개념으로 인접한 공간에 미치는 통제 정도를 나타내는 특성값이다(Lee *et al.*, 2004). 통합도는 특정 공간에서 다른 공간까지 접근하기 위한 상대적 깊이를 나타내는 지표로

서 통합도가 높을수록 다른 공간으로 접근이 용이함을 의미한다. 통합도는 특정 공간과 전체 공간간의 관계를 나타내는 지표이다(Lim, 2008).

사례지역의 수치지형도를 이용하여 도로망을 중심으로 UCL의 Depthmap¹⁾ 프로그램으로 축선도를 작성하고, 도로축선별로 공간구문 특성값인 연결도, 통제도, 통합도 등 공간구문 특성치를 구하면 표 2와 같다.

연결도는 대상지 내부에서 사선방향으로 개설된 8번 도로가 최고값 14로 분석되었고, 아래쪽 내부에 있는 16번 도로가 최소값 2로 나타났다. 통제도도 8번 도로가 최고값 2.488이며, 최저값은 우측 하부에 있는 26번 도로로서 0.288로

TABLE 2. Results of Space Syntax analysis

Road no.	Crime no.	Connectivity	Control index	Integration index
1	65	6	0.959	3.366
2	50	13	2.404	4.488
3	12	4	0.334	2.040
4	8	7	1.358	3.284
5	11	11	1.698	4.643
6	16	7	1.236	2.748
7	15	4	0.880	2.321
8	68	14	2.488	5.610
9	7	3	0.772	2.362
10	10	6	1.622	3.060
11	15	5	1.164	2.927
12	25	7	1.109	3.543
13	2	5	0.726	2.693
14	22	12	1.822	4.343
15	5	6	1.685	3.131
16	3	2	0.589	2.540
17	13	4	1.150	2.040
18	34	9	1.486	4.207
19	7	5	0.890	3.284
20	22	8	1.007	3.740
21	16	7	1.073	3.543
22	6	6	0.646	2.927
23	18	7	0.836	3.366
24	9	6	0.790	2.805
25	7	4	0.584	2.362
26	7	3	0.288	2.244
27	8	4	0.447	2.640
28	2	5	1.056	2.540

TABLE 3. Results of regression analysis

Dept. var.	Indept. var.	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients β	t	F	R2	VIF
		B	SE					
	Const.	-23.607	10.570		-2.233			
Crime no.	Integration index	11.807	5.028	0.591	2.348*	10.348	0.453	2.892
	Control index	3.074	7.843	0.099	0.392			

* p < 0.05

분석되었다. 통합도도 8번 도로가 최고값 5.610이며, 3번 도로와 17번 도로가 최소값 2.040이 되었다.

한편, 상기 사례지역의 도로별 범죄건수는 표 2와 같이 8번 도로에서 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그 다음으로 1번 도로와 2번 도로 순으로 많으며, 범죄건수가 가장 적은 도로는 13번 도로와 28번 도로로 각각 2건이다.

2. 도로망과 범죄발생간의 관계분석

도로망에 의한 공간구조가 범죄발생 건수에 영향을 주는 요인을 알아보기 위해 도로별 발생 건수를 종속변수로 하고, 공간구문 특성값 3개인 연결도, 통제도, 통합도를 독립변수로 설정하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 표 3과 같으며 회귀모형의 적합도를 나타내는 결정계수 R^2 값이 0.453으로 종속변수 분산을 약 45.3% 설명하고 있음을 알 수 있다.

이때 독립변수 중에서 연결도는 분산팽창요인(VIF)이 10.871로서 다중공선성이 존재하는 것으로 나타나 독립변수에서 제외하고, 통제도와 통합도만 투입하여 회귀분석을 다시 실시하였다. 그 결과 표준화 회귀계수(베타)로 독립변수들의 영향력 크기를 보면 통합도 0.591, 통제도는 0.099로 통합도가 훨씬 더 크게 범죄발생에 영향을 주는 것으로 나타났다.

멀티에이전트 시뮬레이션

1. 멀티에이전트 모형의 개념

이상과 같이 사례지역에서 공간구문 특성값과

도로별 범죄발생 건수와의 관계를 분석해 보았지만 그 결과가 사례지역의 특수한 경우에 해당 하는지 아니면 일반화할 수 있는지를 검증해 볼 필요가 있다. 따라서 여기서는 멀티에이전트 모형(Multi-Agent Model)을 개발하여 가상공간에서 이를 시뮬레이션해 보고자 한다.

여기서 ‘멀티에이전트(Multi-Agent)’라는 뜻은 여러 종류의 에이전트가 다수(multi) 존재한다는 의미로 본 연구와 관련해서 설명하자면 가상의 공간에 범죤자 에이전트(offenders), 보행자 에이전트(pedestrians), 감시자 에이전트(guardians)가 각각 다수(multi) 존재한다는 뜻이다. 이들 각 에이전트는 실사회와 같이 가상공간 속에 존재하며, 각자의 위치에서 주변 환경과 다른 에이전트의 행동과 속성을 반영하여 자율적으로 의사를 결정하면서 움직이게 된다. 만약 적합한 목표물을 만나면 범행을 저지르게 되는데 이러한 에이전트의 개별 행태(behavior)를 컴퓨터 프로그래밍으로 재현하고, 가상공간에서 시뮬레이션(Multi-Agent Simulation, MAS)하는 기법이다.

멀티에이전트 모형은 인공지능(artificial intelligence)의 한 분야로서 개별 에이전트 차원의 미크로한 레벨에서 시작하여 상호작용 결과 매크로(지역전체)한 차원의 패턴(예를 들면 지역전체에서 범죄발생 패턴)을 파악할 수 있는 상황식 시뮬레이션 모델의 하나이다(Groff, 2007; Moon, 2014). 다시 말해 ‘미크로한 상황식 방법’이란 범죄 자료를 동, 구, 도시단위와 같이 집계자료로 분석하는 것이 아니라 개별 에이전트의 행동을 모델링하여 범죄발생 현상을

분석하고 이를 동, 구, 시 단위로 집계하여 지역의 매크로한 범죄현상을 분석한다는 의미이다.

MAS에 대한 연구는 세계적으로 최근 10여년 동안 각 분야에서 적용사례가 급속히 늘어나고 있으나 국내 관련분야에서는 아직 매우 드문 실정이다. 범죄와 관련된 MAS 연구 사례는 더욱 발견하기 어렵지만 외국의 경우는 몇 가지 발표되었다. 그중에 가장 최근에 사례로는 Malleeson *et al.*(2009; 2010; 2012)의 일련의 연구, Boss *et al.*(2011), Groff(2007; 2008) 등이 있다.

하지만 이들 연구는 매우 단순한 가상공간에서 실험하고 있으며 도시의 공간구조와의 관계는 다루지 않고 있다. Groff(2007)의 경우는 GIS 수치지도를 이용하여 도시단위의 넓은 지역을 분석대상으로 하고 있는 점이 기술적으로 상당히 진보된 연구라고 할 수 있으나 소프트웨어 프로그래밍이 난해하여 접근이 다소 어려운 실정이다.

본 연구는 가능한 시나리오를 설정한 다음, MAS로 시뮬레이션해서 나타나는 도시의 물리적 환경(여기서는 주로 도로망 위주)에 따른 범죄발생 현상을 분석함으로써 범죄예방과 범죄자의 검거를 위한 지식을 축적하고, 나아가 범죄로부터 안전한 스마트 도시를 만드는데 기여하고자 한다.

2. 범죄 멀티에이전트 모형 개발

범죄 MAS 모델을 개발하기 위해서는 범죄발생의 메커니즘을 명확히 하고 이를 프로그래밍할 수 있어야 한다. 이를 위해 기존 이론적 배경을 정립해야할 필요가 있다. 그 중에서 중요한 사례만을 보면, 우선 범죄는 잠재적인 (potential) 범죄자(offender)가 충분히 보호받지(guarded) 못하는 매력적인 대상을 발견했을 때 발생한다(Cohen and Felson, 1979; Felson, 2008).

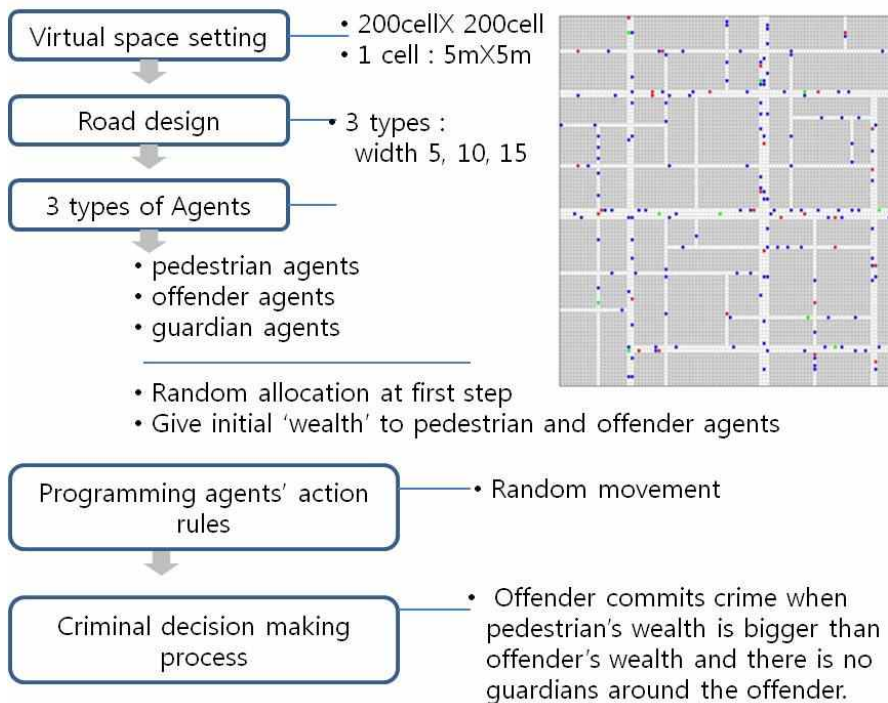


FIGURE 5. Flow of multi-agent model development

또한 Cornish and Clark(1986)이 정립한 합리적 선택이론(rational choice theory)에 의하면 범죄자는 대안을 저울질한 다음, 시간, 정보 범죄자의 행동능력과 같은 제약 속에서 의사결정을 수행한다고 한다. Bosse *et al.*(2011)은 범죄행태가 범죄자의 목적, 개인적인 생물학적이며 심리적 배경에 의해 발생하는지 아니면 합리적이고 계산된 선택의 결과인지에 관한 오랜 논란이 있다고 한다.

이와 같이 범죄이론에는 상당히 많은 이론과 연구가 있어 왔다. 그러나 본 연구는 도시공간의 물리적 형태와의 관계를 규명하려는 시도이므로 앞선 다른 연구를 바탕으로 MAS 이론으로 컴퓨터 모델링이 가능한 범위내에서 적용할 수밖에 없다.

기본적으로 범죄자는 어디에나 있으며, 범죄 의사결정은 감시(guardianship)와 적절한 목표물의 존재 여부를 판단한 다음, 가시성(visibility), 접근성(accessibility), 자기보호능력(ability self-protect), 금전 획득 잠재성(potential for financial gain)을 목표물 적정 평가기준으로 제시하고 있다(Groff, 2007).

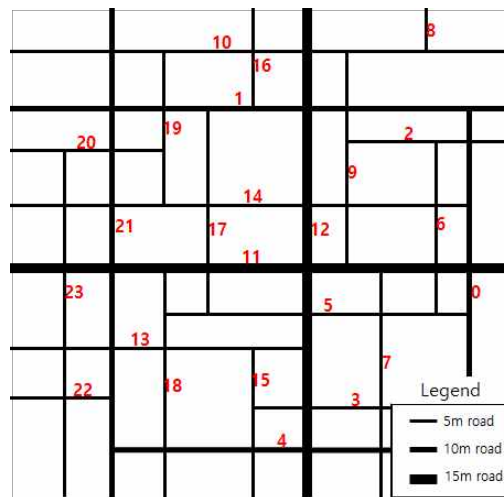
따라서 본 연구에서 채택한 모델링 과정은 그

림 5와 같다. 즉 가상공간을 미리 설정하고, 보행자, 범죄자, 감시자를 랜덤하게 배치한 다음, 시간의 흐름에 따라 랜덤하게 도로를 따라 움직이게 한다. 이때 보행자와 범죄자 에이전트에게 각각 초기 부(wealth) 값을 랜덤하게 부여한다. 다음으로 각 에이전트가 움직일 때 보행자와 범죄자가 만나는 경우가 발생하는데, 이때 만약 보행자의 부가 범죄자의 부보다 많고, 주변에 감시자가 없는 경우에 범죄가 발생하는 것으로 가정하였다. 그리고 한번 범죄를 당한 보행자는 당분간 공간상에서 움직이더라도 다시 범죄를 당하지 않는 것으로 하였다.

3. 가상공간 설정

에이전트 모델의 적용을 위해 가상공간을 그림 6과 같이 설정하였다. 그러나 사용하는 프로그래밍 플랫폼(일본 구조연구소의 MAS²⁾의 한계로 곡선이나 넓은 지역을 실험하지 못하므로 가능한 최대한의 공간규모로 현실적인 도로망을 구성하였다. 도로의 종류는 도로폭 5m, 10m, 15m의 3가지로 구성하였다.

이를 그림 7과 같이 컴퓨터상의 가상공간으로 재현하였으며, 파란색은 보행자(pedestrians),



* Figures are road number

FIGURE 6. Virtual road network for simulation

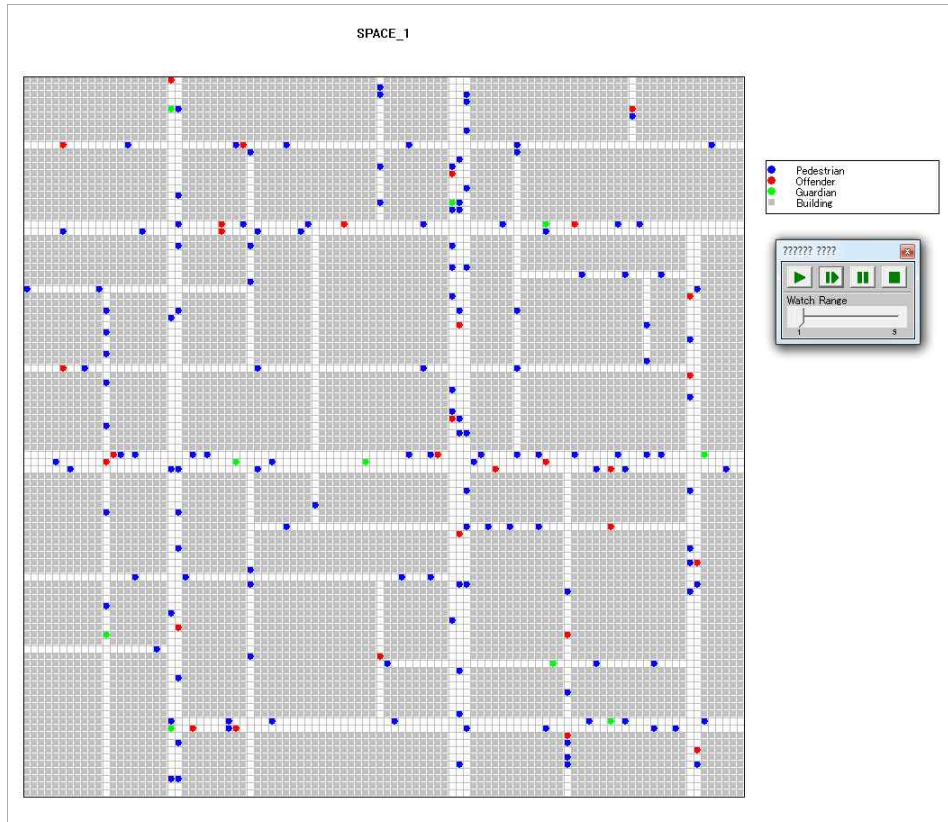


FIGURE 7. Screen view of multi-agent simulation in virtual space

빨간색은 범죄자(offenders), 녹색은 감시자(guardians)로 설정하고, 각각 개수를 달리하며 실험해 보았다.

4. 시뮬레이션

1) 시뮬레이션 I

보행자 150명과 250명인 경우에 각각 범죄자 30명, 50명, 70명, 감시자 10명, 20명, 30명인 경우를 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 즉 총 18가지 상황을 가정하여 각각 200회씩 시뮬레이션 하였다.

그 결과 도로별 범죄발생 건수를 계산해 보면 그림 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 각 시나리오에 대하여 각 도로별 범죄발생 건수에 큰 차이가 발생하지 않았다. 가상공간에서 중앙에

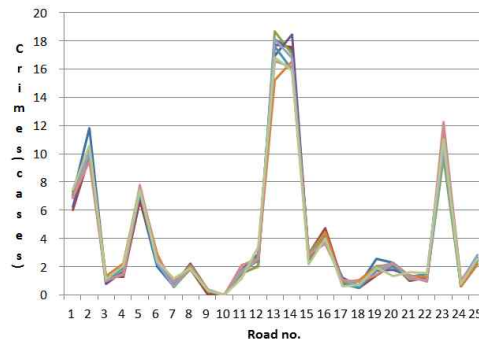


FIGURE 8. Simulation of crime occurrence on each road(in case of 150 pedestrians)

동서와 남북으로 가로지르는 간선도로(12번과 13번 도로)에서 범죄건수가 많은 것으로 분석되었다.

2) 시뮬레이션 II

여기서는 시뮬레이션 I과 동일한 설정하에서 보행자수 250명일 때, 범죄자 30명, 50명, 70명, 감시자 10명, 20명, 30명인 경우를 각각 가정하여 각 200회씩 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과는 그림 9와 같으며 앞의 경우와 비슷하게 도로별 범죄발생 건수의 차이는 그다지 크게 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 평균값을 각 도로별 범죄발생 건수로 설정하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

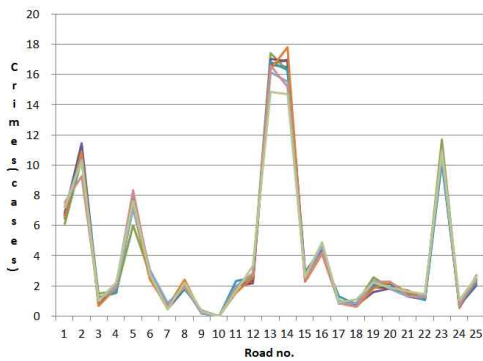


FIGURE 9. Simulation of crime occurrence on each road(in case of 250 pedestrians)

5. 시뮬레이션 결과와 공간구분 특성치의 관계 분석

1) 통합도와 범죄건수

가상공간의 도로망에 의한 공간구분 특성치와 시뮬레이션 결과 도로별 범죄발생 건수는 표 4와 같다. 이때 도로별 범죄발생 건수는 시뮬레이션 결과 조건별로 큰 차이가 없으므로 보행자 150명일 경우와 250명일 경우 총 18가지 시나리오별 실험 결과의 평균값을 취하였다.

도로별 통합도와 범죄건수를 그래프로 나타내면 그림 10과 같다. 통합도가 커질수록 범죄발생 건수도 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있으며, 회귀선의 설명력(R^2)도 0.78로 상당히 높게 나타났다.

TABLE 4. Simulation results

Road no.	Crime no.	Integration index	Control index	Connection index
0	6.83	2.63	1.25	7
1	10.43	2.51	1.57	7
2	1.07	1.45	0.59	3
3	1.76	1.73	0.61	4
4	7.31	2.51	1.30	7
5	2.61	1.97	1.11	6
6	0.67	1.67	0.74	4
7	2.01	1.91	1.02	5
8	0.27	2.05	0.99	1
9	1.77	1.91	0.91	5
10	2.61	2.12	1.18	6
11	16.91	3.07	1.63	9
12	16.55	3.25	1.69	9
13	2.63	1.97	0.83	5
14	4.28	2.76	1.52	8
15	0.93	1.49	0.94	4
16	0.75	1.28	0.34	2
17	1.98	1.78	0.55	4
18	2.01	1.84	0.77	4
19	1.36	1.58	0.80	4
20	1.22	1.45	0.58	3
21	10.86	2.91	1.74	8
22	0.75	1.38	0.33	2
23	2.43	1.91	1.27	5

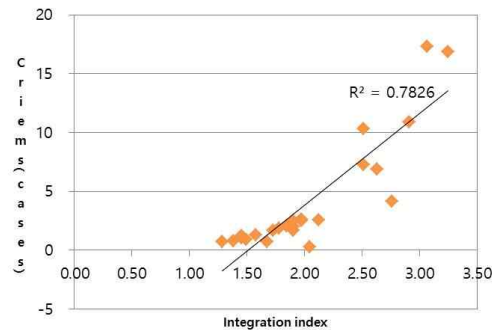


FIGURE 10. Simulation results(integration index and crime)

2) 통제도와 범죄건수

마찬가지로 도로별 통제도와 범죄발생 건수를 보면 그림 11과 같다. 두 변수도 정의 관계를 가지고 있으며 설명력(R^2)이 0.63으로 높은 편

이나 통합도보다는 낮게 나타났다.

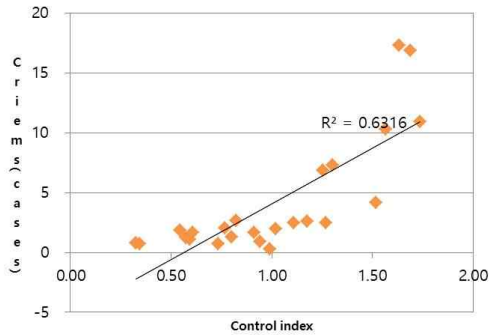


FIGURE 11. Simulation results(control index and crime)

3) 연결도와 범죄건수

연결도와 범죄건수의 관계는 그림 12와 같다. 통합도나 통제도와 같이 연결도가 높은 도로일수록 범죄발생이 증가하고 있음을 알 수 있으며, 결정계수(R^2)도 0.67로 상당히 높게 나타났다.

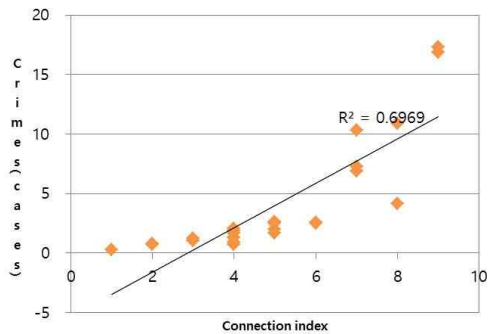


FIGURE 12. Simulation results(connection index and crime)

결론

범죄의 뒤에 숨어있는 과정을 이해하는 것은 경찰력 운용이나 효과적인 범죄예방 전략을 위해 중대한 의미를 가지고 있으며 범죄학 분야에서 중요한 분야이다(Brantingham and

Brantingham, 2004). 본 연구에서는 도로망 구조가 범죄발생에 영향을 줄 것이라는 가정하에 사례 지역을 대상으로 도로망을 중심으로 공간구분 특성치인 통합도, 통제도, 연결도를 도로별로 구한 후, 도로별 실제 범죄 발생 건수와의 관계를 분석해 보았다.

그 결과 범죄발생에 가장 영향을 많이 주는 요소는 통합도이고, 다음으로 통제도, 연결도의 순인 것으로 분석되었다. 그러나 이는 특정 사례지역에 한정된 결과일 수 있으므로 일반화를 위해 멀티에이전트 모형을 이용하여 가상공간에서 시뮬레이션해 보았다. 그 결과도 역시 가상공간의 도로망 구조와 범죄발생과는 상당한 연관성이 있는 것으로 나타났으며, 앞선 실제 사례지역과 마찬가지로 통합도가 가장 크게 영향을 미치고, 다음으로 통제도가 연관성이 높은 것으로 나타났다.

통합도가 높은 축선은 다른 축선에서 적은 공간이동으로 접근할 수 있음을 의미하므로 통합도가 높은 도로가 지역에서 일어나는 활동의 중심적 역할을 수행하게 됨에 따라 인구와 활동의 집중으로 범죄에 노출될 기회가 많은 점이 이러한 결과를 가져온 것으로 판단된다.

따라서 도로에서 발생하는 범죄를 예방하기 위해서는 통합도가 높은 도로에 우선적으로 대책을 마련하는 것이 효율적일 것이라 할 것이다. 방법으로는 U-방범서비스를 위한 CCTV 또는 지능형 가로등과 같은 시설을 우선적으로 설치하거나, 경찰 순찰 경로를 수치가 높은 도로 중심으로 결정하는 것이 바람직할 것이다. 또한 셉테드 기법을 도입하여 도로 주변의 환경을 개선하는 것도 필요하다.


이상의 결과에도 불구하고 본 연구는 아직 해결해야 할 많은 과제가 남아 있다. 그 중에는 시뮬레이션에서 MAS 소프트웨어의 한계로 사각형 셀단위로만 가상공간을 설정할 수밖에 없고, 셀의 크기는 제한이 없으나 개수는 일정 수준 이상 늘릴 수 없는 한계가 있어 가상공간 규모를 넓게 할 수 없다. 또한 현실에 가깝게 각 에이전트의 복잡한 행태를 코딩해야 하지만 복잡한 프로그래밍의 실행이 다소 어려운 관계로 예

이전트의 행동 및 의사결정 과정을 매우 단순화할 수밖에 없었다. 이는 기술적으로 해결되어야 하지만 향후 ICT나 스마트 U-City의 발전과 더불어 빠르게 개선될 것으로 예상된다. 또한 사례지역을 선정함에 있어 본 연구에서는 토지이용의 단순함과 주변환경에 영향을 덜 받는 지역이라는 기준으로 선정하였으나 실험의 정밀도 제고를 위해 이에 대한 보다 정밀한 접근이 요구된다.

하지만 범주는 이와 같이 도로망 형태만으로 영향을 받지 않으므로 보다 다양한 분석과 사례를 바탕으로 종합적인 접근이 필요하다. 범죄유형에 따라라도 공간발생 특성이 다를 수 있으므로 이에 대한 분석도 추가적으로 필요하다. 단 살인이나 강간, 강도 등 사례수가 지극히 작은 경우는 공간적 특성을 분석하기 어려운 점이 있고, 전국 데이터를 수집해야 하기 때문에 현재 자료 공개가 안되는 우리나라 여건상 매우 곤란한 점이 있다.

단, 본 연구는 도로망에 의한 도시공간구조도 범죄발생과 연관성이 있음을 사례지역의 실증 데이터와 가상공간 시뮬레이션으로 확인했다는 데 의의가 있다.

결론적으로 향후 본 연구에서 중점적으로 개선해야 할 부분은 도시환경과 개인별 속성에 따라 움직이는 범죄행태를 어떻게 정량적으로 모델링하고 프로그래밍하느냐에 있다고 할 것이다. 이는 관련 연구자의 폭넓은 연구와 분석이 필요하며, 이번 본 연구는 이러한 연구의 시발점이라고 할 수 있다.

본 연구에서 개발한 MAS 모형은 향후 보행자, 범죄자, 감시자 등이 환경조건에 따라 달리 행하는 의사결정 과정과 환경설정을 다양하게 구성하여 시뮬레이션 할 수 있을 뿐 아니라, 한정된 경찰력의 효율적 배치, CCTV의 최적 설치 장소 탐색, 방법 순찰 경로 결정 등 다양한 이슈에 대한 의미 있는 결과를 발견할 수 있는 도구로 활용할 수 있다는 점도 성과라고 할 수 있다. 

주

- 1) 공간구문론(Space Syntax) 이론을 바탕으로 공간의 정량적인 분석을 가능하게 하는 프로그램이다.
- 2) 일본 구조연구소가 개발한 멀티에이전트 모델 개발과 시뮬레이션을 지원하는 소프트웨어로 비주얼베이직을 기반으로 한 언어로서 직접 프로그램을 코딩하여 실행해야 한다. 그러나 멀티에이전트모형이 상당히 많은 연산시간을 요구하고 공간규모가 크거나 복잡한 연산을 제대로 감당하지 못하는 관계로 가상공간 설계에 한계가 있다. 일부 GIS 맵을 그대로 이용할 있도록 개발되고 있는 소프트웨어(Groff, 2007)도 있으나 아직 원활하지 않고, 프로그래밍도 상당히 고난도의 노하우가 필요한 실정이다.

REFERENCES

- Birks, D., M. Townsley and A. Stewart. 2012. Generative explanations of crime: using simulation to test criminological theory. *Criminology* 50(1):221-254.
- Bosse, T., C. Gerritsen and J. Treur. 2011. Combining rational and biological factors in virtual agent decision making. *Appl Intell* 34:87-101.
- Brantingham, P.L. and P.J. Brantingham. 2004. Computer simulation as a tool for environmental criminologists. *Security Journal* 17(1):21-30.
- Brantingham, P.L., U. Glässer, B. Kinney, K. Singh and M. Vajihollahi. 2005. Modeling urban crime patterns: viewing multi-agent systems as abstract state machines. *Proceeding of ASM05*, pp.101-118.
- Cohen, L.E. and M. Felson. 1979. Social

- change and crime rate trends: a routine activity approach. *American Sociological Review* 44:588-608.
- Crooks, A., C. Castle and M. Batty. 2008. Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment and Urban Systems* 32(6): 417-430.
- Felson, M. 2008. Routine activity approach. In: R. Wortley and L. Mazerolle (Eds.), *Environmental Criminology and Crime Analysis*. Cullompton: Willan Publishing. pp.70-77.
- Groff, E.R. 2007. Simulation for theory testing and experimentation: an example using routine activity theory and street robbery. *Journal of Quantitative Criminology* 23:75-103.
- Groff, E.R. and D. Birks. 2008. Simulating crime prevention strategies: a look at the possibilities. *Policing* 2(2):175-184.
- Han, S.C. and B.H. Song. 2012. A study on effects of voluntary guard corps network density crime prevention activities in crime safe city. *Journal of the Korean Association of Public Safety and Criminal Justice* 47:368-403 (한상철, 송병호. 2012. 범죄안전도시의 자율방범대 네트워크 밀도가 범죄예방활동 만족에 미치는 영향 : 직업, 경력, 생활수준에 대한 통제변수를 중심으로. *한국공안행정학회보* 47: 368-403).
- Han, S.E. 2013. Disaster management system of the safe city program and comparative studies. *Journal of the Korean Association for Local Government Studies* 2013(2):345-364 (한세억. 2013. 안전도시의 재난관리체계와 프로그램 비교연구. *한국지방정부학회 학술대회논문집* 2013(2):345-364).
- Heo, S.Y. and T.H. Moon. 2011. Spatial analysis of the difference between real crime and fear of crime. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(4):194-207 (허선영, 문태현. 2011. 도시내 범죄발생과 범죄두려움 위치의 공간적 차이 분석. *한국지리정보학회지* 14(4):194-207).
- Heo, S.Y. and T.H. Moon. 2012. Analysis of spatial crime pattern and place occurrence characteristics for building a safe city. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(4):78-89 (허선영, 문태현. 2012. 안전도시 조성을 위한 범죄의 공간적 분포와 도시의 장소별 발생특성 분석. *한국지리정보학회지* 15(4):78-89).
- Hillier, B. and J. Hanson. 1984. *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press, U.K., 298pp.
- Hong, G.S. 2014. The space syntax analysis of apartment houses by multiyear of crime statistics. *Bulletin of KSBDA* 15(5):589-599 (홍관선. 2014. 다년도 범죄통계를 통한 공동주택의 공간구문론 분석 연구. *기초조형학연구* 15(5):589-599).
- Jung, G.S., T.H. Moon and J.H. Jung. 2010. Hotspot analysis of urban crime using space-time scan statistics. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(3): 14-28 (정경석, 문태현, 정재희. 2010. 시공간검정통계량을 이용한 도시범죄의 핫스팟 분석. *한국지리정보학회지* 13(3):14-28).
- Jung, M.U. and S.P. Kim. 1997. A study on

- the crime occurrence and environment characteristics in residential area. *Journal of Korean Institute Architectural* 13(3):69-76 (정무웅, 김선필. 1997. 단독주택지역 범죄발생과 환경특성에 관한 연구: 가로공간특성과 범죄발생을 중심으로. 대한건축학회논문집 13(3):69-76).
- Jung, S.E. 2014. A study on the urban spatial structure of Ulsan based on the space-syntax. *Design Convergence Research* 13(1):195-208 (정수은. 2014. 공간구문론(space syntax)을 적용한 울산시 도시 공간 연구. 디자인융복합연구 13(1):195-208).
- Lee, H.U., Y.J. Kim and S.M. Choi. 2004. A study on spatial structure analysis for comprehensive rural clustered villages development area using the space syntax method technique. *Journal Korean Society of Rural Planning* 10(4):19-28 (이행욱, 김영주, 최수명. 2004. Space syntax를 이용한 농촌마을중합개발사업 권역의 공간구조분석에 관한 연구. 농촌계획학회지 10(4):19-28).
- Lee, M.Y., J.S. Kim and H.J. Suk. 2007. Context deduction between spatial characteristics and burglaries in residential areas based on space analysis methods. *Review of Architecture and Building Science* 23(11):141-150 (이만형, 김정섭, 석혜준. 2007. 공간분석 기법에 기초한 주거지역 공간특성과 주거침입범죄와의 관계 분석. 대한건축학회지 23(11):141-150).
- Lim, B.M., J.C. Woo and G.S. Cho. 2008. A study on the complex space analysis by space syntax in public library. *Architectural Research* 28(1):305-308 (임병민, 우지창, 조경수. 2008. 공간구문론(Space Syntax)을 이용한 공공도서관 복합공간의 분석에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표대회논문집:계획계 28(1):305-308).
- Malleson, N., A. Evans and T. Jenkins. 2009. An agent-based model of burglary. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36:1103-1123.
- Malleson, N., A. Heppenstall and L. See. 2010. Crime reduction through simulation: an agent-based model of burglary. *Computers, Environment and Urban Systems* 34(3):236-250.
- Malleson, N. and M. Birkin. 2012. Analysis of crime patterns through the integration of an agent-based model and a population microsimulation. *Computers, Environment and Urban Systems* 36(6):551-561.
- Manuel, J.J.L. and N. Akkelies. 2007. Space and crime in Dutch built environments: macro and micro scale spatial conditions for residential burglaries and thefts from cars. *Proceedings of 6th International Space Syntax Symposium, Istanbul, 2007.*
- Moon, T.H. 2014. A study on construction of smart safe city for strong on crime. *The Korea Spatial Planning Review* 393(2014.7):54-60 (문태현. 2014. 범죄에 강한 스마트 안전도시 구축방안. 국토 393(7):54-60).
- Nubani, L. and J. Wineman. 2005. The role of space syntax in identifying the relationship between space and crime. American University in Dubai, UAE & University of Michigan, USA.
- Oh, H.S. and S.Y. Han. 2014. A conceptual review of safe city from a

humanities perspectives. Journal of
Korea Planners Association 49(5):223-
239 (오현순, 한상연. 2014. 범죄로부터

안전한 도시에 관한 인문학적 소고. 국토계
획 49(5):223-239). **KAGIS**