

# Development of Multi-agent-based Spatial Analysis Model Analyzing School Crime Vulnerability

Jihoon Kweon\*

Department of Architecture, Keimyung University, Daegu, Korea

---

## Abstract

**Background** The purpose of this study is to develop a spatial analysis model evaluating school crime vulnerability with the use of multi-agent-based simulation. The recent tendency of school crime implies the need for crime-prevention design in the environment.

**Methods** This study was composed of three steps. Firstly, the research documents were investigated for finding the rational background of the crime situation. Secondly, a multi-agent-based model evaluating crime vulnerability in school spaces was developed. Thirdly, the model was applied to a school environment for finding local spaces vulnerable to crime situations.

**Results** The developed model used a user agent group and a criminal agent group. Its environment component was implemented with equal-spacing nodes. The interaction part in the model included spatial accessibility, natural surveillance and a crime situation. The result derived from the analysis of a school indicated the mean difference between spatial accessibility and potential crime vulnerability. It also showed a moderate correlation between them.

**Conclusions** This study implemented a multi-agent-based model evaluating school spaces vulnerable to crime situations. The developed model showed the possibility of clarifying the difference and relationship between spatial accessibility and potential crime vulnerability by using a 2-sample T-test and correlation analysis.

**Keywords** Crime Prevention Through Environmental Design, School Crime, Multi-agent-based Model, Crime Vulnerability, Design Evaluation

---

\*Corresponding author: Jihoon Kweon (jkweon@kmu.ac.kr)

*Citation:* Kweon, J. (2018). Development of Multi-agent-based Spatial Analysis Model Analyzing School Crime Vulnerability. *Archives of Design Research*, 31(2), 155-169.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2018.05.31.2.155>

**Received :** Jan. 22. 2018 ; **Reviewed :** Apr. 19. 2018; **Accepted :** Apr. 19. 2018  
**PISSN** 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

**Copyright :** This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

---

## 1. 연구의 배경 및 목적

학교에서 발생하는 범죄는 피해와 공격의 주체가 모두 학생이고 그 발생 이후에 신체적, 정신적 손실의 완전한 회복이 어려운 심각한 사회적 문제이다. 학교 환경에서는 다음 세대의 교육이라는 성능을 기대한다. 이러한 환경에서 범죄로 인한 손상이 발생하고 그 회복이 어렵다면 고유의 공간 성능을 만족하는 것을 기대하기는 어렵다. 선행연구는 학교 범죄 중 강도, 성범죄, 폭행과 같이 피해자와 범죄자의 직접적인 접촉이 수반되는 범죄가 가장 빈번히 발생하며 그 결과도 신체적, 정신적인 손상을 초래할 수 있음을 제시하고 있다 (Kang, Park & Kim, 2010). 범죄 상황에 대한 통제는 범죄 상황에 대한 인지로 시작되며 이는 주변에서 이루어지는 자연적인 감시도 포함한다. 크로우와 페넬리 (Crowe & Fennelly, 2013)는 환경의 이용자에 의한 자연적인 감시와 허가되지 않은 이의 접근을 통제하도록 환경을 조성하는 것이 환경설계를 통한 범죄예방에서 주요 전략임을 제시하였다. 접근을 통제하는 것은 외부로부터의 침입을 동반하는 잠재적인 범죄 공격에 대응하는 전략임을 고려하면 본 연구의 대상이 되는 학교에서는 범죄 공격과 피해의 주체가 모두 해당 환경의 인가된 이용자인 학생이므로 이용자의 자연적인 감시가 연구의 초점이 되는 전략으로 보아야 한다.

크로우와 챔 (Crowe & Zahm, 1994)의 연구에서도 자연적인 감시는 범죄 상황에 대한 통제 또는 예방의 효과를 기대하게 하는 전략이며 이는 학교 환경에서도 예외일 수 없다. 하지만 범죄 상황의 구성과 자연 감시 활동은 환경과 범죄의 구성 행위자 간 상호작용을 수반하게 된다. 범죄예방의 관점에서 학교 환경에 대한 디자인의 결과물이 물리적으로 구축되기 이전에 주요 전략인 자연 감시의 관점에서 범죄에 대한 잠재적 취약성을 파악할 필요가 있다. 이는 물리적 환경을 범죄예방의 관점에서 그 잠재적 범죄 예방의 성능을 평가하는 과 선택이 이루어질 필요가 있다. 따라서 본 연구는 학교 공간에서의 이용자와 범죄자 간 범죄 상황의 구성과 이를 저지 또는 예방하는 활동인 자연 감시에 수반되는 상호작용의 논리를 기반으로 범죄에 취약한 국지적 공간을 추출하는 모델을 개발할 목적으로 수행된다.

---

## 2. 연구 방법

본 연구는 다음과 같은 방법과 절차에 따라 진행된다.

첫 번째 단계에서는 학교 범죄의 실태와 과학적 범죄 이론인 환경범죄학의 선행연구를 고찰한다. 이 과정에서는 학교 범죄의 발생 실태와 이로 인한 심각성을 논의한다. 또한 환경범죄학에서 제시하는 범죄자와 피해자의 행위 논리에 관한 선행연구를 고찰한다. 연구 방법론의 측면에서는 다중 행위자 기반 시뮬레이션의 구성과 논리 및 적용된 사례를 탐색한다.

두 번째 단계에서는 학교 공간을 대상으로 다중 행위자 기반 시뮬레이션을 이용하여 범죄에 취약한 공간을 분석하는 모델을 개발한다. 이는 분석의 논리적 틀을 제시하는 부분과 범죄에 취약한 공간을 구체적으로 분석하는 모델을 구현하는 부분을 포함한다. 또한 이 단계에서는 구현된 분석 모델을 학교 공간에 적용하고 그 결과를 통계적으로 분석한다. 개발되는 학교 공간에서 범죄에 취약한 공간을 추출하는 모델은 다중 행위자 기반 모델을 사용한다. 또한 이 모델은 학교 평면에 등간격의 지점을 배열하여 이용자의 이동 빈도와 이용자가 잠재적인 공격자에게 노출되어 범죄에 취약한 상황의 지점별 발생 빈도를 정량적으로 분석한다. 본 연구는 선행연구의 고찰에서 논의되는 바를 고려하여 범죄에 취약한 상황을 이용자 및 공격자가 시지각의 대상이 되는 공간을 공유하며 동일한 시간에 존재하는 경우로 가정한다. 학교 공간에서 다중 행위자 기반 시뮬레이션을 이용하는 분석을 수행하는 것은 본 연구를 통해서 개발되는 모델을 계획 단계에 있는 학교에 적용하여 사전에 공간의 범죄 취약성을 파악하는 활용을 기대하기 때문이다. 또한 범죄에 취약한 정도를 파악하기 위해서는 개별적인 범죄

기록, 범죄 상황 또는 범죄 피해자를 조사해야 한다. 하지만 국내에서 개별적인 범죄 기록은 공개된 자료가 아니고 범죄 피해자에 대한 조사도 개인의 사생활 보호나 범죄자의 보복에 대한 두려움 등을 이유로 정보의 용이성과 신뢰성에 한계가 있다. 또한 연구자가 범죄 상황을 직접 추적하는 경우에는 연구자가 범죄 상황이나 범죄자에게 노출되어 추가적인 범죄 피해로 연결되는 위험이 있어서 지양해야 할 활동이다.

세 번째 단계에서는 학교 공간에서 범죄 취약성을 분석하기 위해서 구현된 모델의 특성과 대구광역시 소재 초등학교에 개발된 모델을 적용한 결과를 제시한다. 이로부터 개발된 모델이 적용되어 범죄에 취약한 학교 공간이 도출되는 과정과 활용의 특성도 제시할 수 있다. 본 연구에서는 직접적인 접촉으로 발생하는 학교에서의 범죄 상황과 이를 구성하는 행위자 집단을 대상으로 연구를 진행한다.

### 3. 학교에서의 범죄 분석에 관한 선행연구의 고찰

#### 3. 1. 학교 범죄의 심각성과 범죄에 취약한 공간

최근에 학교에서 발생하는 강력범죄의 구성에서 절도범죄가 감소하고 다른 종류의 강력범죄는 증가하는 양상이 나타나고 있다. 전국적으로 경찰관서에 접수된 고소, 고발된 사건과 경찰관에 의해 인지되어 형사 입건된 사건을 기준으로 제시된 경찰청 통계 (Korean National Police Agency, 2017)에 따르면 2012년부터 2015년까지 형사사건으로 처리된 학교에서 발생한 살인, 강도, 성범죄, 절도, 폭력 등을 포함하는 강력범죄가 발생한 실태는 Table 1과 같이 제시된다. 1년 중 주중의 기간을 기준으로 학교 내 강력범죄는 전국 어디에선가에서 12.4 건이 발생한다. 범죄자와 피해자의 직접적인 접촉이 없거나 경미하다고 볼 수 있는 절도가 학교 내 강력범죄에서 차지하는 구성 비율은 2012년에 59.7%, 2013년에 68.1%에 이르던 것이 2015년에 51.8%까지 감소되었다. 이와는 상반되게도 Figure 1에서 보이는 바와 같이 학교에서 직접적인 접촉을 통해서 범죄 행위가 구성되는 절도 이외의 강력범죄의 구성 비율은 2012년에 40.3%, 2013년에 31.9%였던 것이 2015년에 48.2%에 이르렀다. 절도범죄는 범죄 상황에서 범죄자가 피해자를 신체나 생명을 직접적으로 공격하지는 않는다. 하지만 살인, 강도, 성범죄, 폭력과 같은 강력범죄는 직접적인 접촉을 전제로 피해자의 신체나 재산에 위해를 가하거나 약탈하는 범죄이다. 학교에서 발생하는 강력범죄의 구성에서 직접적인 접촉을 통해서 이루는 범죄 부분의 심각성은 사회적으로도 회피하기 어려운 부분이 되었다.

학교에서 범죄에 취약한 공간을 선택하고 이를 대상으로 범죄예방을 위한 환경설계의 방안을 적용하는 것은 제한된 범죄예방 자원을 활용하는 합리적인 방안으로 선행연구에서도 제안되었다 (Park, 2011). 학교에서 범죄 예방을 위한 디자인 전략에 관한 연구는 선행연구의 고찰을 통해서 범죄가 빈번한 국지적 공간을 선정하고 이에 대한 디자인 전략을 논의하였다 (Cho, Park, Choi, & Park, 2013). 이는 범죄에 취약한 공간이 모든 학교에 동일함을 가정하는 일반화를 전제로 한다. 하지만 개별 학교에서 공간의 연결 관계를 포함하는 공간 배치에는 차이가 있으며 이를 획일적으로 평가하는 접근방법은 개선이 필요하다. 란다와 윌콕스 (Randa & Wilcox, 2010)는 학교를 회피하는 현상을 연구하면서 학교의 국지적 공간에서의 범죄 피해 경험이 이용자의 행태적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 이는 범죄에 취약한 환경과 이러한 공간에서 범죄 피해 경험이 범죄에 대한 불안감으로 연결됨을 의미한다. 범죄에 취약한 공간이 범죄 상황의 발생뿐만 아니라 불안감을 유발하는 공간의 특성 자체에 영향을 미치며 이러한 부분도 환경설계의 대상이 되어야 한다.

Table 1 School crime occurrences from 2012 to 2015

| 범죄                  | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---------------------|------|------|------|------|
| 살인기수                | 1    | 0    | 0    | 1    |
| 살인미수 등              | 2    | 2    | 2    | 2    |
| 강도                  | 7    | 6    | 2    | 2    |
| 강간                  | 0    | 28   | 21   | 28   |
| 유사강간                | 0    | 2    | 3    | 19   |
| 강제추행                | 163  | 187  | 227  | 249  |
| 기타 강간 강제추행 등        | 0    | 20   | 13   | 3    |
| 상해                  | 644  | 606  | 484  | 471  |
| 폭행                  | 715  | 700  | 479  | 530  |
| 폭력행위 등              | 692  | 443  | 287  | 246  |
| 절도                  | 3295 | 4251 | 2117 | 1664 |
| 절도 외 강력범죄 소계        | 2224 | 1994 | 1518 | 1551 |
| 모든 강력범죄 합계          | 5519 | 6245 | 3635 | 3215 |
| 절도의 구성 비율(%)        | 5907 | 68.1 | 5    | 51.8 |
| 절도 외 강력범죄의 구성 비율(%) | 40.3 | 31.9 |      | 48.2 |

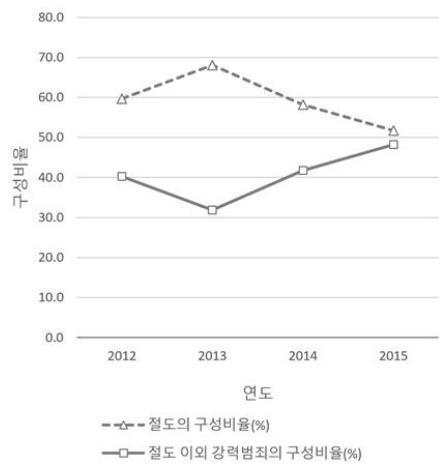


Figure 1 School crime tendency

### 3. 2. 범죄 상황에서 공격자와 피해자의 행위 논리

코니쉬와 클라크의 연구 (Cornish & Clarke, 1986)에 따르면, 과학적인 범죄이론인 합리적 선택이론에 따르면 범죄현상의 규명에 범죄자가 투입하는 노력이나 감수해야 하는 위험과 같은 비용과 범죄행위를 통해서 획득되는 가치나 만족감과 같은 보상을 비교할 필요가 있으며 이를 통해서 범죄자의 행위 선택을 설명할 수 있다고 보았다. 이는 경제학 기반의 범죄학 연구로 범죄현상을 범죄자의 선택에 따른 결과로 해석하였다. 잠재적인 범죄자가 기대하는 쾌락과 같은 보상은 범죄자의 성향이 개입되지만 범죄 행위가 발생하기 전에 구체적으로 범죄자를 특정하기는 어렵다. 범죄자마다 상이한 범죄 성향의 주체가 구체화되지 않은 시점에서 이러한 요소는 가외변인으로 통제될 필요가 있다. 따라서 합리적 선택이론의 관련 변인은 상황적 논리에 집중된다. 범죄자는 범죄 공격의 대상을 선택하는 과정에서 다른 행위자의 감시나 추적이 없는 상황을 선호한다. 이동의 부담을 고려하면 근거리에 있는 대상을 선택할 것이다. 이는 범죄자가 공격에 소요되는 위험과 노력의 비용을 최소화하는 합리적 선택으로 볼 수 있다.

코헨과 펠손의 연구 (Cohen & Felson, 1979)로 제시된 일상활동이론에서는 범죄 상황이 성립되기 위해서는 잠재적인 범죄자와 잠재적인 범죄피해의 대상이 적절한 통제력이 있는 보호자가 부재한 상황에서 공존해야 한

다고 보았다 (Felson, 1995). 범죄가 통제되지 않는 상황은 동기와 의도가 있는 잠재적인 범죄자가 범죄에 대한 통제 능력이 부재한 잠재적인 피해자를 보호자가 없는 공간과 시간에서 조우하는 조건으로 요약된다. 이는 범죄자가 피해자를 직접적으로 접촉하여 위해를 가하거나 약탈을 감행하는 범죄를 대상으로 제시되었다. 동일한 공간과 시간에 잠재적인 범죄자나 피해자 중 하나의 행위자 이상이 부재하거나 보호자가 존재하는 조건에서는 범죄가 발생하는 않는다.

일상활동이론에서 주목할 점은 잠재적인 피해자가 공격 상황에 직면하기 전까지 일상적인 활동을 지속하고 이러한 활동이 범죄자에게 공격 대상을 선택하는 단서를 제공한다는 부분이다 (Cohen & Felson, 1979). 하지만 피해자가 이러한 잠재적인 위험을 인지하는 정도는 범죄자의 수준이 되기 어렵다. 잠재적인 피해자가 누군가의 범죄 의도와 동기를 파악하기 어렵기에 잠재적인 범죄자는 일상적인 활동에서 잠재적인 피해자와 혼재된 상태로 생활할 수 있다.

합리적 선택이론과 일상활동이론의 고찰은 다음과 같은 논리를 요약하게 한다 (Cornish & Clarke, 1986; Cohen & Felson, 1979). 첫째, 범죄가 발생하기 전에 누가 범죄자인지 알 수 없다. 둘째, 잠재적인 범죄자를 특정할 수 없으면 잠재적인 피해자도 특정할 수 없다. 이들은 범죄로 연결되는 행위자의 조합이라는 점을 고려해야 한다. 셋째, 잠재적인 피해자가 일상적인 활동을 하듯이 잠재적인 범죄자도 범죄 상황 이전에는 일상적인 활동을 지속한다. 넷째, 범죄자는 일상적인 활동 중 피해자를 선택한다. 다섯째, 전술한 합리적 선택이론을 고려하면 이러한 선택은 감시나 체포의 위험이 최소화하고 가치나 쾌락의 취득을 극대화하기 위한 행위가 되겠으나 범죄자와 피해자를 특정할 수 없는 조건을 고려하면 상황적인 요소인 감시의 가능성이나 체포의 위험을 최소화하는 부분이 관련 변인으로 남게 된다. 여기에서 경제적인 가치나 쾌락은 행위자마다 차이가 있지만 이들이 구체적으로 확정되지 않은 시점에서는 가외변인으로 통제될 필요가 있다.

크로우 (Crowe, 2000)는 환경설계를 통한 범죄예방의 주요 전략에서 감시를 강화하고 접근을 통제하는 방안을 제안하였다. 감시에는 보행자에 의한 자연적인 감시, CCTV에 의한 기계적인 감시, 경비원에 의한 조직적인 감시가 있겠으나 기계적인 감시와 조직적인 감시를 위해서 투입되는 인적, 물적 자원은 제한적이다. 무엇보다도 일상적인 활동이 이루어지는 모든 장소를 모든 시간에 감시하는 기계적 감시와 조직적인 감시가 존재한다고 보기是很 어렵다. 이에 비해서 일상적인 활동의 주체인 건축공간의 이용자는 동시에 자연 감시의 주체이기도 하다. 결과적으로 건축공간에서는 잠재적인 공격 대상의 규모와 동일한 규모의 자연적 감시 자원이 존재한다. 이는 범죄예방을 위한 자원으로 활용될 필요가 있다.

### 3. 3. 다중 행위자 기반 시뮬레이션

합리적 선택이론은 경제학의 논리로 범죄현상을 설명하였을 뿐만 아니라 행위자들이 보이는 미시적인 상호작용으로부터 집적된 결과를 가상의 세계에서 시험하는 게임 이론의 배경이 되었다. 게임 이론에서는 개별 행위는 합리적 선택의 산물이다. 게임 이론이 행위자 간 상호관계에 기반을 두고 의사결정의 관계를 탐색한다면 행위자 기반 모델은 개별적인 선택을 정량적으로 추적하고 종합하도록 구현된 시스템이다 (Cornish & Clarke, 1986; O'Sullivan & Perry, 2013; Von Neumann & Morgenstern, 2007). 테일러 (Taylor, 2014)는 행위자 기반 모델의 구성 요소를 환경, 행위자, 관계로 요약하였다. 환경은 실험을 수행하려는 현상 세계의 문제들이 존재하는 가상의 세계이다. 현상 세계의 모든 속성을 포함하여 동일하게 가상 세계로 모형화하는 것은 불가능하므로 모형으로 구현되는 부분은 실험에서 다른 문제나 이와 관련이 있는 특성으로 제한된다. 이는 행위자나 상호작용의 설정에 있어서도 적용되는 접근방법이다. 행위자는 행위의 주체나 변화의 대상을 모형화한 요소이다. 물리적 공간에서 행위의 주체는 공간의 이용자이며 이들의 행위는 공간과 시간의 변화를 동반한다. 도시나 건축공간의 특성이 변화하고 탐색의 대상이 된다면 이러한 요소도 행위자로 구현될 수 있다. 관계는 이러한 행위자가 다른 행위자 또는 환경과 가지는 상호작용의 규칙이다. 일정한 거리 이내의 공간에 다른 행위자들의 존재 여부를 파악하는 것은 행위자 간 상호작용에 해당한다. 예를 들어, 벽으로 차단된 부분으로 이동하지 않는 것은 행위자가 환경과 보이는 상호작용이다.

다중 행위자 기반 모델은 다수의 행위자 집단을 포함하는 행위자 기반 모델이다. 범죄 행위를 대상으로 하여 공격자와 피해자로 행위자를 구분하는 모델은 다중 행위자 기반 모델로 볼 수 있고, 도시 가로나 건축공간에서 단순히 이용자의 보행 상태를 탐색하는 모델은 행위자가 보행자 집단 하나로 구성되는 모델이다. 행위자 집단이 보이는 차이는 행위자가 보유하는 특성의 근본적인 차이를 의미하며 이는 동일한 행위자 집단의 속성이 일정한 범위에서 변화하는 경우와는 구별된다. 예를 들어, 보행 모델에서 행위자는 이동 속도라는 속성을 공통적으로 보유하지만 개별 행위자의 이동 속도는 차이가 있다. 이러한 경우에 행위자 집단은 1개이다. 범죄 상황을 모델로 작성하면 공격자와 피해자에게는 이동과 같은 공통적인 행위 부분도 있지만 탐색하고자 하는 연구문제와 관련되는 다수의 속성에 있어서는 근본적인 차이가 있으며 이는 행위자 집단으로 구별된다. 예를 들어, 하나의 행위자 집단은 범죄 공격을, 다른 행위자 집단은 범죄 피해를 속성값으로 기록할 수 있다. 이러한 모델의 설계는 연구문제의 설계와 직접적으로 관련이 있으며 연구의 방법으로 통제된다.

헬빙과 발리에티 (Helbing & Baitetti, 2011)는 이러한 연구모델이 도시공간과 건축공간에도 적용될 수 있다고 보았다. 개별적인 행위자의 합리적 선택을 집적한 결과를 탐색한다는 점과 구축된 공간을 가상의 세계로 환원하는 것은 도시와 건축의 문제를 과학적으로 탐색할 수 있는 가능성을 제공하였다. 그로프 (Groff, 2006)나 말레슨 (Malleson, 2010)은 도시공간을 대상으로 다중 행위자 기반 모델을 적용하여 범죄가 발생하는 공간적인 패턴을 추적하려 하였다. 하지만 도시공간의 경우에는 대규모 공간을 모형화해야 하는 기술적인 문제로 단위공간을 과도하게 대규모로 설정하는 한계가 수반되었다. 또한 이들은 선형의 도로 네트워크를 이용하거나 단순한 도시공간의 모델을 사용하였기에 건축공간과 같이 실제로 범죄가 발생하는 구체적인 장소를 미시적으로 탐색하지는 않는다.

유치원에서 아동들의 사회적 관계가 어떠한 방식으로 이루어지는지를 추적하는 선행연구에서는 행위자 기반 모델을 사회 연결망 분석 (Social Network Analysis) 및 지리공간정보와 연계하여 이용자들이 놀이 집단의 구성 패턴을 주어진 환경에서 어떻게 형성하는지를 추적하는 모델을 개발한 바 있다 (Griffin, Schmidt, Nara, Torrens, Fewell, & Sechler, 2007). 이는 행위자 기반 모델을 이용하는 시뮬레이션에서 환경과 이용자, 이용자와 이용자의 상호작용을 추적한 연구로 볼 수 있다. 이는 가상의 실험실을 통해서 환경에서 이용자의 행태를 추적하는 효과를 제시하는 것으로 판단된다.

선행연구에 관한 고찰 부분 중 학교에서 발생하는 범죄의 실태 분석으로부터 직접적인 접촉을 수반하는 강력 범죄의 비중과 범죄 강도의 심각성은이 주목될 필요가 있음을 보였다. 이는 강도, 폭력, 성폭력과 같은 범죄가 학교 범죄 중 선제적인 대응이 요구되는 범죄임을 의미한다. 범죄에 취약한 학교 내 공간에 대한 선택은 동일한 학교가 아니므로 차이가 있으며 이는 모든 학교를 획일적인 공간계획의 결과를 보지 않아야 함을 의미한다. 범죄자의 합리적인 상황 선택을 고려하면 환경과 이용자의 일상적인 이동과 자연 감시 행위는 범죄예방을 위한 환경설계의 자원으로 활용이 가능하다. 환경과 이용자의 상호작용을 추적하는 가상의 실험실인 다중 행위자 기반 모델은 학교에서 범죄 상황에 대한 잠재적 출현을 대상으로 시뮬레이션 모델을 구현하는 가능한 방안이다.

#### 4. 학교에서의 다중 행위자 기반 범죄 취약 공간 분석 모델

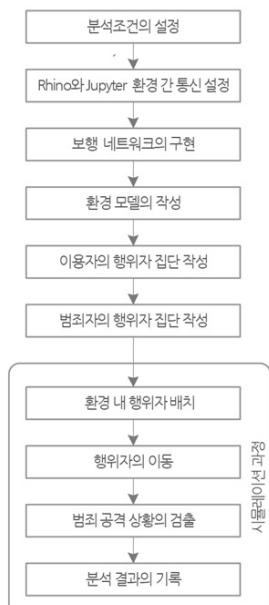
##### 4. 1. 분석 모델의 제안

범죄에 취약한 학교 공간을 탐색하는 다중 행위자 기반 모델의 전체적인 구성은 Figure 2와 같이 분석 조건의 설정, 분석에 사용되는 두 개의 환경인 라이노(Rhino)와 주피터(Jupyter) 간 데이터 통신의 설정, 보행 네트워크의 구현, 환경 모델의 작성, 행위자 집단 중 이용자 부분의 작성, 범죄 공격의 주체인 범죄자 집단의 작성 부분을 포함한다. 시뮬레이션을 수행하는 부분은 구현된 환경 요소에 행위자를 배치하는 과정, 행위자들을 이동하

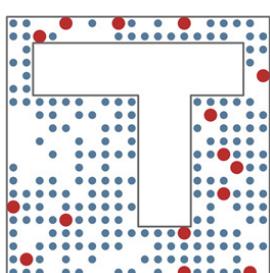
고 범죄 공격 상황을 검출하는 과정 및 최종적으로 분석 결과를 기록하는 과정으로 구현된다.

본 연구는 학교 내 공간을 대상으로 다중 행위자 기반 모델을 구현하고 자연 감시가 이루어지는 상황적 조건에서 국지적으로 나타나는 범죄 행위의 공간적 분포를 파악하는 연구의 과정을 진행한다. 이에 선행하여 비교적 단순한 가상의 공간을 대상으로 모델을 구현하고 시뮬레이션 과정을 수행할 필요가 있다. 이는 전체 연구의 초기 단계에서 파일럿 모델을 작성하여 이후 단계의 진행 가능성을 시험하는 과정이다. Figure 3에서 제시되는 공간은 공간의 가시성을 분석하는 연구 (Turner, Doxa, O'sullivan & Penn, 2001)에서 사용되었던 T형의 시설물을 포함하는 공간을 비대칭 형태로 변형한 것이다. 이러한 선행연구는 가시성 분석을 통해서 이용자의 공간 이용을 간접적으로 추정하고자 하였다.

제시된 모델에서는  $20m \times 20m$ 의 공간을  $1m \times 1m$ 의 단위공간으로 등분할하여 분석 지점을 배치하였다. 이러한 지점들을 이동하는 이용자가 잠재적인 범죄 공격을 받는 상황에 대한 시뮬레이션이 수행되었다. 행위자 집단은 300개체의 이용자와 5%에 해당하는 15개체의 공격자로 구성되었다. 범죄 공격은 인접한 지점에 있는 이용자를 대상으로 자연 감시를 고려하여 이루어졌다. 자연 감시는 사회적 영역인  $3m$ 의 거리 이내에 5개체 이상의 이용자가 있는 경우에 이들이 직접적으로 범죄 공격을 통제하거나 최소한 통제력을 가진 보호자에게 이러한 정보를 전달한다는 조건을 설정하였다. 모든 행위자는 평균적인 보행 속도인  $1\sim1.4m/s$ 의 범위에서 무선 표집으로 개별 행위자의 이동 속도를 설정하였다. 수집되는 분석의 결과는 개별 지점에서 이용자의 방문빈도와 범죄 공격이 발생하는 빈도이다. 분석의 과정을 보이는 Figure 3에서 청색 점으로 표시된 행위자가 이용자이며 적색 점으로 표시된 행위자가 잠재적인 범죄자이다.



**Figure 2** Simulation algorithm



**Figure 3** Simple multi-agent-based simulation

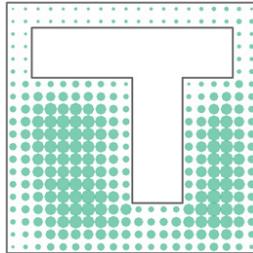


Figure 4 Simple multi-agent-based simulation

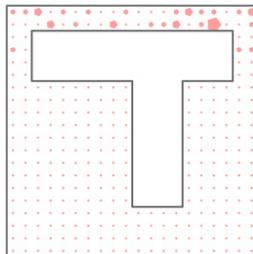


Figure 5 User's visiting frequency at individual spot

Figure 4는 개별 지점을 이용자가 방문한 빈도를 나타낸 결과로 대규모 공간에 이용자의 방문이 집중되었다. 상대적으로 외진 공간이나 외곽의 경계부에서는 이동을 위한 지점 선택에 관한 경우의 수가 감소하고 지점 방문이 저하되는 양상을 보였다. 범죄 공격의 분석 결과를 나타내는 Figure 5에서는 전술한 이용자의 분석 결과에 방문 빈도가 낮은 결과를 보였던 상단의 지점들에서 공격의 빈도가 높게 제시되었다. 이는 상대적으로 낮은 자연 감시의 영향이 범죄자의 공격 선택에 영향을 미친 것으로 판단된다. 일반적으로 직접적인 범죄 공격으로 피해자의 재산이나 신체를 약탈하거나 손상시키는 경우에 한적하고 외진 장소는 범죄 공격을 위해 빈번히 선택된다.

이상과 같이 단순한 공간 요소를 대상으로 행위자 기반 모델을 구현한 내용을 바탕으로 학교 내 공간에서 국지적으로 범죄에 취약한 지점을 탐색하는 연구과정을 진행한다.

#### 4. 2. 학교 내 범죄 취약 공간을 탐색하는 분석 모델의 구현

학교 내 공간을 대상으로 잠재적인 범죄 위협이 있는 공간을 추출하는 분석 모델을 구현하는 과정에는 Figure 6과 같이 프로그래밍 언어인 파이썬(Python 2.7.13)과 개발 환경인 주피터 노트북(Jupyter Notebook 1.0.0)이 이용되었다. 또한 평면 형상의 작성과 입력, 시뮬레이션 과정에서 행위자의 이동 상태에 관한 화면 출력, 분석 결과의 출력에는 CAD 도구인 라이노(Rhino 5 Service Release 14)와 시각적 프로그래밍 환경인 그래스호퍼(Grasshopper 0.9.0076)가 이용되었다. 시뮬레이션 과정에서는 주피터 노트북에서 파이썬을 이용하는 연산 과정을 반복하며 실시간으로 행위자의 상태를 라이노 환경에서 표시하고 최종 결과를 제시한다. 따라서 시뮬레이션 중에 행위자의 이동과 범죄 공격이 발생하는 과정을 시각적으로 확인할 수 있으며 시뮬레이션 종료 후에는 누적된 결과를 정량적으로도 산출할 수 있다.

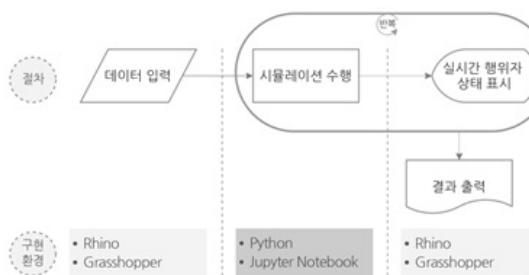
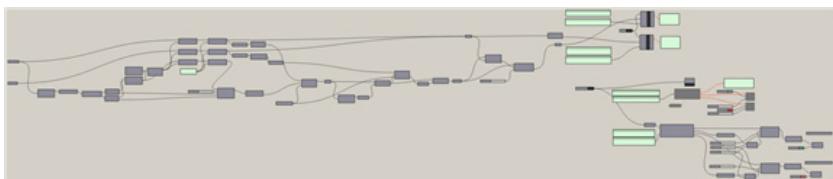


Figure 6 Simulation sequence

다중 행위자 기반 시뮬레이션을 수행하는 과정은 2개 부분의 알고리즘으로 구성된다. 데이터 입력, 행위자의 실시간 상태 표시 및 결과 출력을 위한 부분인 그래스호퍼의 알고리즘은 Figure 7과 같이 작성되었다. 이는 학교의 평면 형상을 입력하고 보행을 통해서 접근이 가능한 지점을 추출하여 입력하는 부분과 시뮬레이션의 과정에서 행위자의 위치와 완료 이후에 최종결과를 평면에 표시하는 기능을 수행한다. Figure 8은 주피터 노트북에서 구현된 알고리즘의 일부를 보인다. 이는 행위자 집단의 구성, 행위자와 행위자 및 행위자와 환경의 관계에 관한 규칙을 설정하고 시뮬레이션을 수행하는 과정을 포함한다.



**Figure 7** Algorithm part implemented on Grasshopper

```
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 2

display(distance_affecting_sd, safe_watcher_count_sd, target_number_sd, attacker_number_sd)

distance_affecting = distance_affecting_sd.value
safe_watcher_count = safe_watcher_count_sd.value
target_number = target_number_sd.value
attacker_number = attacker_number_sd.value
all_step_number = all_step_number_sd.value

delta = [-1, 0, 1]
adj_delta_pairs = list(product(delta, delta))
adj_delta_pairs.remove((0, 0))

delta_eff = range(distance_affecting - 1, distance_affecting + 1)
effective_deltas = list(product(delta_eff, delta_eff))
effective_deltas.remove((0, 0))
for exy in effective_deltas:
    distance = sqrt(exy[0]**2 + exy[1]**2)
    if distance > distance_affecting:
        effective_deltas.remove(exy)

Distance to affect (m) 3
Effective watchers 5
Victim group size 300
Attacker group size 15
Total step number 600

In [121]: simulation = Simulation()
simulation.simulate()

Step 600
```

**Figure 8** Algorithm part implemented on Jupyter Notebook

Table 2 Agent component for analysis

| 행위자 집단 | 요소의 특성                                     | 행위자 집단 | 요소의 특성                                     |
|--------|--|--------|--|
| 이용자    | 학교 공간의 보행자<br>범죄 공격의 잠재적인 피해자<br>자연 감시의 주체 | 범죄자    | 학교 공간의 보행자<br>범죄 공격의 잠재적인 행위자<br>자연 감시의 대상 |

행위자 집단의 구성은 Table 2와 같이 이용자와 범죄자로 구분된다. 이용자는 주로 학생과 같은 학교 공간의 보행자이며 범죄 공격의 잠재적인 피해자이자 자연 감시의 주체이다. 범죄자도 학교 공간의 보행자이며 범죄 공격의 잠재적인 주체이다. 또한 자연 감시의 대상이기도 한다.

#### 4. 3. 분석 모델의 적용

행위자가 활동하는 가상의 세계인 환경은 Table 3에서 제시되는 초등학교 1개 층의 2258.9m<sup>2</sup> 면적의 공간으로 설정되었다. 환경 모델의 경계 내부에 배치되는 개별 단위 지점은 1m × 1m 규모의 공간을 나타낸다. 행위자의 이동이 가능할 지점은 2245개가 충출되었다.

Table 3 Environment component for analysis

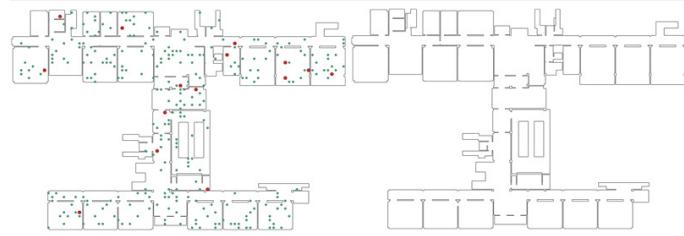
| 대상  | 면적                   | 단위 지점 크기 | 지점 수  |
|---|----------------------|----------|-------|
| 초등학교 1개 층   | 2258.9m <sup>2</sup> | 1m×1m    | 2245개 |
| 평면도   | 환경 모델의 경계            |          |       |
|  |                      |          |       |

Table 4 Analysis condition sample

| 구분                          | 분석 조건   |
|-----------------------------|---|
| 행위자 중 이용자 수                 | 300   |
| 행위자 중 범죄자 수                 | 15  |
| 자연 감시의 범죄 상황에 영향을 미치는 거리(m) | 3   |
| 자연 감시로 범죄를 통제하는 최소 이용자 수    | 5   |
| 시뮬레이션 시간(초)                 | 600   |
| 이동속도(m/s)                   | 1~1.4   |
| 범죄 공격의 취약성에 관한 조건           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 근접한 이용자가 존재</li> <li>• 범죄 공격의 영향이 미치는 거리 이내에 가시성이 확보되는 이용자의 수가 5 미만</li> </ul> |

범죄 공격 시뮬레이션을 위해서 예시되는 분석 조건은 Table 4와 같이 행위자 중 이용자의 수를 300으로 범죄자의 수를 이용자 수의 5%에 해당하는 15로 설정하였다. 또한 자연 감시가 범죄 공격을 통제하는데 영향을 미치는 최대거리는 사회적 공간의 규모인 3m로 설정하였다. 자연 감시를 통해서 범죄의 발생을 통제할 수 있는 행위자의 수는 5이다. 시뮬레이션은 600초 동안 진행하였으며 개별 행위자의 이동속도는 1~1.4m/s의 범위에서 행위자마다 무선 표집으로 선택되었다. 범죄 공격의 취약성을 확인하는 조건으로는 첫째, 잠재적인 범죄 피해의 대상인 이용자가 범죄자와 근접한 위치에 존재하여야 한다. 둘째, 범죄 공격이 성립하기 위해서는 자연 감시가 가능한 거리 이내에 가시성이 확보되는 지점들에 위치한 이용자의 수가 5 미만이 되도록 한다. 가시성을 확인하는 이유는 물리적인 거리가 가깝다고 하더라도 벽체에 의해서 차단되는 경우에는 실제 범죄 공격이 발생하지 않기 때문이다. 이용자는 자연 감시의 주체이며 다수의 이용자가 범죄 상황을 감시하게 되면 이러한 상황은 통제될 수 있다. 모델의 구현에는 이러한 특성이 반영되었다.

전술한 분석 조건은 하나의 예를 보이는 것이며 분석 조건의 개별 변수에 대한 세부적인 조정은 학교 공간에서 발생하는 범죄현상과 이를 예방하는 디자인 과정에서 지속적으로 탐색되어야 하는 부분이기도 하다. 또한 제시된 모델은 학교 범죄와 관련된 변수를 발굴하고 조율하는 연구에 관한 새로운 가능성을 제시한다.



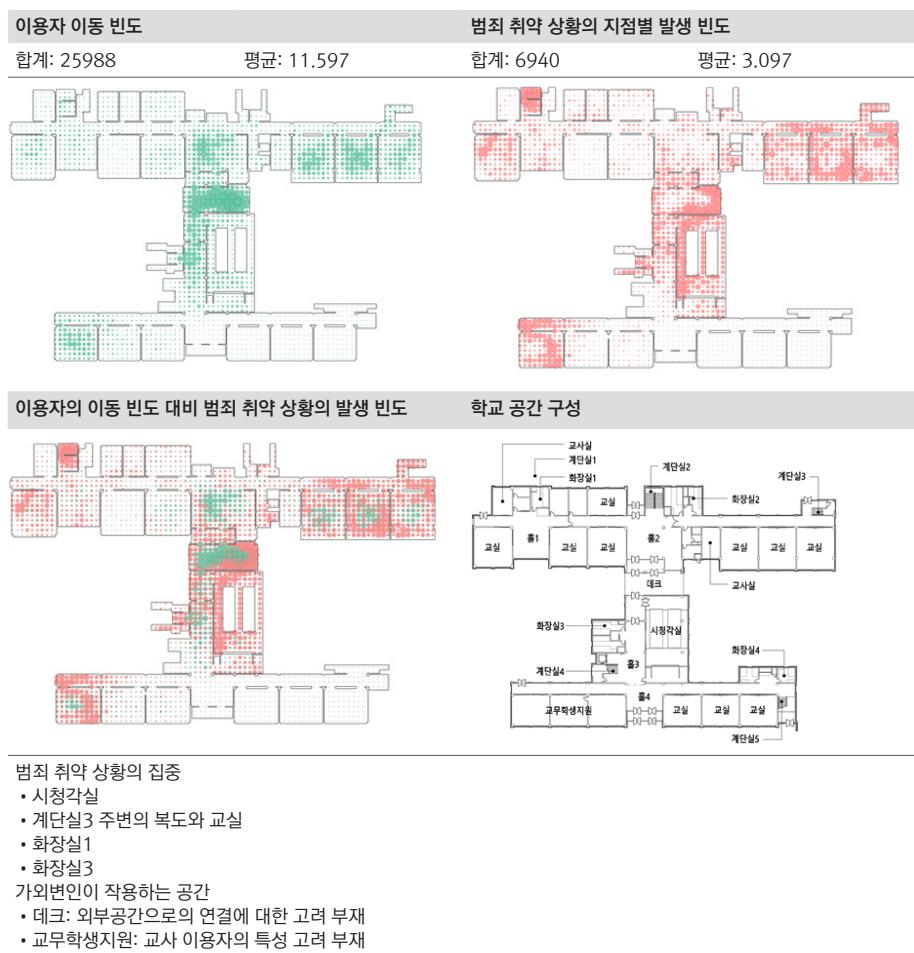
Figure 9 Simulation process with indicating users as green dots and criminal as red dots

제시된 설정으로 이루어진 시뮬레이션 과정이 Figure 9와 같이 진행되었다. 여기에서 학교시설의 이용자는 녹색의 점으로 표시되었고 잠재적인 범죄자는 붉은 색의 점으로 표시되었다. 시뮬레이션의 진행에 따라 행위자들은 이동하며 범죄 공격의 취약성을 확인하는 조건이 만족되면 그 결과는 개별 지점에서 기록되었다.

#### 4. 4. 적용 결과와 고찰

분석의 결과는 Table 5와 같이 도출되었는데 이는 이용자의 이동 빈도, 범죄에 취약한 상황의 지점별 발생 빈도를 포함하였다. 잠재적인 범죄에 취약한 상황은 시청각실, 계단실3 주변의 복도와 교실, 화장실1, 화장실3에 집중되었다. 이들 공간은 이용자의 이동 빈도가 집중되지 않아 자연 감시에 있어서 미흡하다. 하지만 이러한 지점들에서는 빈번하지 않으나 공격자의 이동이 발생하고 자연 감시가 부족한 조건은 공격의 기회로 연결될 수 있다. 이러한 양상은 시청각실에서 용이하게 발견된다.

Table 5 Simulation result



외부공간과 직접 연결되는 데크는 분석의 공간적 경계의 설정으로 그 연결 조건을 고려하지 않았고 교무학생지원 부분은 범죄 상황에 대한 직접적인 통제력이 있는 교사와 같은 이용자의 특성을 모델에 반영하지 않았다. 이들은 제시된 분석에서 가외변인으로 보아야 하며 데크와 교무학생지원 부분의 분석 결과는 범죄에 취약한 공간에서 제외된다.

학교 공간에서 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 상황의 지점별 발생 빈도 간 관련성을 확인할 필요가 있다. 이는 두 가지 측면에서 분석되었다. 첫째, 지점별 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 상황의 발생 빈도 사이

에 독립표본 T-test를 수행하여 이들이 유의한 차이를 보이는지를 확인하였다. 분석 결과에 차이가 있다면 하나의 분석 결과만으로 범죄 취약성을 제시하기 어렵게 되고, 다중 행위자 기반 모델의 적용이 필요하게 된다. 둘째, 지점별 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 상황의 발생 빈도 간 상관성도 확인한다. 이론적 고찰에서 논의된 일상활동이론에 따르면 범죄자도 범죄 상황이 발생하기 전에는 공간의 이용자와 같이 일상적으로 이동하고 범죄 발생의 장소도 이러한 이동의 과정에서 발생한다. 따라서 이용자의 일상적인 이동을 가정하는 모델의 분석 결과와 범죄에 취약한 상황의 발생 빈도를 대상으로 상관성을 분석하고 이러한 논리를 확인하고자 한다. 이는 행위자의 접근성과 잠재적인 범죄 상황의 관련성을 분석하는 것이기도 하다.

Table 6 Independent T-test result

| 등분산 검정(Levene's test) |         | 독립표본 T검정 |        |         |
|-----------------------|---------|----------|--------|---------|
| 등분산 여부                | 통계량     | 유의확률(p)  | 통계량    | 유의확률(p) |
| 등분산이 가정되지 않음          | 871.747 | 0.000**  | 29.441 | 0.000** |

\*\* p<0.01 (양측)

독립표본 T-test의 분석 결과는 Table 6과 같이 산출되어 등분산이 가정되지 않았으며 평균에서도 차이가 있음을 확인하였다. 이는 단일 집단의 행위자 기반 모델을 적용하여서는 범죄에 취약한 국지적 공간을 도출하기는 어렵다는 점을 제시한다. Table 5에서 시각적으로 확인되는 결과와 함께 정량적인 분석 결과를 고찰하면 단일 집단을 이용하는 행위자 기반 모델은 행위자의 상호작용의 결과인 자연 감시나 범죄 상황을 추적하는 방법으로는 한계가 있음이 확인된다.

Table 7 Correlation analysis result

| 구분  | 상관계수    | 유의확률  |
|-----|---------|-------|
| 산출값 | 0.481** | 0.000 |

\*\* p<0.01 (양측)

Table 7은 상관분석의 결과를 제시하는데 0.481(p<0.01)의 상관계수를 산출하여 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 상황의 발생 빈도는 다소 높은 상관관계가 있음을 제시하였다. 이는 이용자의 이동이 전적으로 범죄에 취약한 조건을 통제하지는 않지만 이러한 상황의 발생과 관련성이 있음을 보이는 것이다.

## 5. 결론 및 제언

본 연구는 학교시설 내 공간에서 선행연구가 제시하는 범죄 상황의 논리적 구성을 기반으로 다중 행위자 기반 모델을 이용하여 범죄 공격에 취약한 상황에 노출되는 국지적 공간을 추출하는 모델을 개발하는 목적으로 수행되었다.

이상과 같은 모델 개발의 연구 결과는 다음과 같이 정리된다. 첫째, 학교 공간에서 범죄의 취약성에 대한 다중 행위자 기반 모델의 구성 요소 중 환경은 등간격으로 배치된 지점의 네트워크로 구현되었다. 행위자 집단은 이용자와 범죄자로 구분되어 구성되었다. 행위 규칙 중 행위자와 환경의 상호작용에 관한 규칙은 행위자가 인접한 지점들을 연결하는 네트워크에서 이동하고 가시성을 확인하는 부분으로 구현되었다. 행위자 간 상호작용에 있어서는 분석 조건에서 설정한 자연 감시의 규모에 미치지 않는 공간에서 잠재적 범죄 상황이 분석되도록 구현되었다. 둘째, 개발된 모델은 가상의 시뮬레이션을 통해서 국지적으로 범죄에 취약한 상황의 빈도를 도출할 수 있었다. 분석의 대상이 되는 학교에 제한되기는 하지만 시각적으로 시청각실, 계단실, 화장실에서 부족한 자연 감시와 함께 범죄에 취약한 상황의 빈도가 높게 산출하여 다른 공간과 차이를 보이는 것은 제시된 모델의 특성이다. 셋째, 제시된 분석 모델은 범죄에 취약한 상황이 이용자의 공간 이용 빈도만으로 결정되는 것이 아니라 자연 감시나 범죄자와의 직접적인 접촉의 가능성이 복합된 결과로 나타내는 특성을 보였다. 이는 연구의 과정

에서 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 상황의 발생 빈도 간 독립표본 T-test에서 나타나는 차이로 제시되었다. 넷째, 제시된 분석 모델은 범죄에 취약한 상황의 빈도가 이용자의 이동에 의해서 전적으로 통제되지는 않으나 다소 높은 관련성이 있음과 공간에 대한 접근성과 잡재적 범죄 취약성 간 차이와 관련성을 정량적으로 제시할 수 있는 가능성이 있음을 보였다.

학교는 범죄 안전의 관점에서 성능 기반 공간 디자인의 대상이 되어야 한다. 범죄 안전의 중요성은 오래도록 강조되었고 다수의 연구를 통해서 이론적 틀을 제시해왔지만 학교와 같이 구체적인 건축 공간으로 적용하는 단계에서는 이론에 관한 디자이너의 주관적 해석을 통해서 디자인의 결과물이 제시되는 것이 기존의 접근방법이었다. 디자인은 분석, 합성, 평가의 순환적 과정임을 고려하면 본 연구가 제시하는 모델은 이론적 연구를 기반으로 학교에서 범죄 취약성을 분석하는 방안이 될 것으로 기대한다. 또한 디자인의 결과물이 구축되기 전에 범죄 안전의 관점에서 그 취약성을 평가하여 공간 계획을 개선하기 위한 정량적 근거로도 활용될 것이다.

본 연구에서 제시된 모델에 적용된 개별 변수에 대한 설정값의 세부적인 조정은 광범위하고 지속적인 후속 연구를 요구하는 부분이다. 이는 제시된 모델의 추가적인 활용 방안이기도 하다. 범죄 상황과 관련된 현장조사를 통해서 범죄와 관련된 변인을 추적한다면 조사자의 안전을 보장하기 어렵거나 그 비용도 방대할 것이다. 제시된 모델은 이러한 문제를 보완하고 대체하는 측면에서도 그 활용을 기대할 수 있다.

### References

1. Cho, J., Park, S., Choi, H., & Park, H. (2013). 학교범죄예방을 위한 디자인(CPTED) 평가모형 개발 [Development of the Design Evaluation Model for School Facilities' Crime Prevention]. *The Journal of Korean Education*, 40(3), 133–154.
2. Cohen, L. E., & Felson, M. (1979). Social change and crime rate trends: A routine activity approach. *American sociological review*, 44, 588–608.
3. Cornish, D. B., & Clarke, R. V. (1986). *The reasoning criminal: Rational choice perspectives on offending*. New York: Springer-Verlag.
4. Crowe, T. D. (2000). *Crime prevention through environmental design: Applications of architectural design and space management concepts*. Butterworth-Heinemann.
5. Crowe, T. D., & Fennelly, L. J. (2013). *Crime prevention through environmental design* (Vol. 2). Wlatham: Butterworth-Heinemann.
6. Crowe, T. D., & Zahm, D. L. (1994). Crime Prevention through Environmental Design. *NAHB Land Development magazine*, Fall, 22–27.
7. Felson, M. (1995). Those who discourage crime. *Crime and place*, 4, 53–66.
8. Groff, E. R. (2006). *Exploring the geography of routine activity theory: a spatio-temporal test using street robbery*. (Doctoral dissertation). University of Maryland, College Park.
9. Helbing, D., & Baitetti, S. (2011). *How to do agent based simulations in the future*. Santa Fe: Santa Fe Institute.
10. Griffin, W. A., Schmidt, S. K., Nara, A., Torrens, P. M., Fewell, J. H., & Sechler, C. (2007). Integrating ABM and GIS to model typologies of playgroup dynamics in preschool children. In *Proceedings of the Agent* (pp. 17–24).
11. Kang, E., Park, M., & Kim, S. (2010). 범죄예방을 위한 환경설계의 제도화 방안 (III): 학교 및 학교주변 범죄 예방을 중심으로 [How to Institutionalize CPTED in Korea(III) : Safer School and Safer Community - A Research on the Risk Factors in School : Voices of Students and Community]. Seoul: Korea Institute of Criminology.
12. Korean National Police Agency. (2017). 범죄통계 [Crime Statistics]. Retrieved November 26, 2016, from <https://www.data.go.kr>.
13. Malleson, N. (2010). *Agent-Based Modelling of Burglary*. (Doctoral dissertation). The University of Leeds, Leeds.
14. O'Sullivan, D., & Perry, G. L. (2013). *Spatial simulation: exploring pattern and process*. John Wiley & Sons.

15. Park, S. (2011). 범죄예방 환경설계 (CPTED) 를 위한 학교 공간 우선순위 [Prioritization of Educational Spaces for School CPTED]. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 27(1), 73–80.
16. Randa, R., & P. Wilcox. (2010). School disorder, victimization, and general v. place-specific student avoidance. *Journal of Criminal Justice* 38(5), 854–861.
17. Taylor, S. J. (2014). *Introducing agent-based modeling and simulation Agent-based Modeling and Simulation*. Springer.
18. Turner, A., Doxa, M., O'sullivan, D., & Penn, A. (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B*, 28(1), 103–121.
19. Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (2007). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press.

# 학교 범죄 취약성을 분석하는 다중 행위자 기반 공간 분석 모델의 개발

권지훈\*

계명대학교 건축학전공, 대구, 대한민국

## 초록

**연구배경** 이 연구의 목적은 다중 행위자 기반 시뮬레이션을 이용하여 학교 범죄 취약성을 평가하는 분석 모델을 개발하는 것이다. 학교 범죄의 최근 경향은 해당 환경에서 범죄 예방 디자인의 필요성을 시사한다.

**연구방법** 이 연구는 3개 단계로 구성되었다. 첫째, 범죄 상황의 합리적 배경을 발견하기 위하여 연구 문헌이 조사되었다. 둘째, 학교 공간에서 범죄 취약성을 평가하는 다중 행위자 기반 모델이 개발되었다. 셋째, 개발된 모델은 범죄 상황에 취약한 국지적 공간을 발견하기 위하여 학교 환경에 적용되었다.

**연구결과** 개발된 모델은 이용자의 행위자 집단과 범죄자의 행위자 집단을 사용하였다. 그 환경 요소는 등간격으로 배치된 지점으로 구현되었다. 모델에서의 상호작용의 요소는 공간의 접근성, 자연 감시 및 범죄 상황을 포함하였다. 학교에 대한 분석으로부터 도출된 결과는 접근성과 잠재적 범죄 취약성 간 평균에서 차이를 제시하였다. 또한 그 결과는 이들 사이에 다소 높은 상관관계가 있음을 보였다.

**결론** 이 연구는 범죄 상황에 취약한 학교 공간을 평가하는 다중 행위자 기반 모델을 구현하였다. 개발된 모델은 이용자의 이동 빈도와 범죄에 취약한 공간 간 차이와 관련성을 독립표본 T-test와 상관분석으로 확인하여 이러한 특성에 탐색에 모델이 활용될 수 있음을 보였다.

**주제어** 환경설계를 통한 범죄예방, 학교 범죄, 다중 행위자 기반 모델, 범죄 취약성, 디자인 평가

\*교신저자 : 권지훈 (jkweon@kmu.ac.k)