

학교 외부공간의 자연적 감시 취약지역 분석기법에 관한 연구

A Research on the Analysis Method of School Exterior Space Lacking Natural Surveillance

권지훈*

Kweon, Ji-Hoon

Abstract

The number of school crime has grown continuously for last ten years and its intensity also has reached to serious condition. The concept of CPTED(Crime Prevention through Environmental Design) needs to be focused for improving school environment regarding this context. The exterior space of school environment is variously exposed to school crimes committed by colleague students and also intruders. From the perspective of school CPTED, Natural surveillance as one of the practical strategies requires the micro-scale analysis which clarifies local visibility at each different school exterior space.

Thus, the purpose of this research is to develop the analysis method clarifying visibility condition at exterior space of school environment, which supports finding the condition of natural surveillance. The programmed analysis algorithm generated quantitative results clarifying Degree for static visibility and Clustering Coefficient for user tracking visibility.

The result of this study produced the analysis method feasible to clarify weak natural surveillance conditions at school exterior spaces. Also, it is expected that the developed analysis method will be used to improve the layout of school exterior space from the perspective of CPTED.

키워드 : 학교 외부공간, 자연적 감시, 학교 안전, 3차원 가시 네트워크 분석

Keywords : School exterior space, Natural surveillance, School security, 3d visibility network analysis

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

청소년기 학생의 교육에 중추적인 역할을 담당하고 있는 학교의 안전에 대한 우려는 날로 심화되고 있다. 학교범죄의 양상도 과거와는 다른 양상을 보여 형사처분의 대상이 되는 수준이 이르고 있으며 그 발생빈도 역시 지속적으로 증가하고 있다. 2010년 학교폭력의 법적 처분 현황에 의하면 전체 학교폭력 19,592건 중 기소, 소년보호송치 또는 가정보호송치의 처분이 내려진 사건이 7,430건으로 37.98%에 이르고 있다.* 학교범죄는 관련 학생에게 직접적인

육체적, 정신적 피해뿐만 아니라 사회 구성원으로서의 성장에도 부정적 영향으로 작용하여 그 심각성은 가중된다. 또한 과도한 교육열로 힘들어 하는 청소년들이 가장 안전해야 할 학교에서 범죄에까지 노출되는 현실은 간과할 수 있는 부분도 아니다.

환경설계를 통한 범죄예방(CPTED, Crime Prevention Through Environmental Design)에 관한 기존의 연구는 주로 주거단지 등의 도시 공동체를 중심으로 이루어졌다. 교육환경의 개선을 통해 학교에서의 범죄

* 계명대학교 건축학과 조교수

* 대검찰청 범죄분석 2011, <http://www.spo.go.kr>

발생을 예방하는 국내의 연구는 최근의 동향이다. 국내의 학교 CPTED 연구는 아직은 초기단계로 법적 연구나 사례연구 등을 통한 건축계획 지침의 수립 등과 같은 거시적 연구가 주를 이루고 있다. 하지만 학교범죄의 예방을 위해 CPTED의 대표적 실천전략인 자연적 감시의 활용에 관한 미시적 연구는 부족한 형편이다.

동료학생에 의한 범죄뿐만 아니라 침입자에 의한 범죄에 노출되는 학교 외부공간의 경우는 환경설계를 통한 범죄예방을 지원하기 위해서 학교마다 시각 환경에 차이를 보이는 외부공간에 대한 개별적 분석이 요구되나 그 구체적인 분석기법에 대한 연구가 미흡한 상황이다. 따라서 본 연구의 목적은 학교 외부공간에서 자연적 감시 상태의 취약지역을 검출하기 위한 분석기법을 제시함에 있다.

1-2. 연구의 방법 및 범위

장소에 따라 변화하는 학교 외부공간의 자연적 감시 상태에 대한 분석방법을 제시하는 본 연구는 다음과 같은 방법과 절차에 따라 진행된다. 또한 수행되는 연구는 학교 외부공간의 안전에 대한 문제를 설비계획의 관점이 아닌 건축계획에 있어 선행되는 외부공간 배치에 따른 시각환경 분석을 위한 분석기법의 제시에 초점을 두고 있다.

1) 이론적 고찰

환경설계를 통한 범죄예방(CPTED)의 이론적 배경과 그 주요 전략에 대한 고찰을 진행한다. 또한 학교에서의 범죄발생 현황과 학교폭력의 법적 처분에 대한 최근 10년간의 자료 고찰을 통해 학교안전을 위협하는 실태를 파악한다. CPTED의 주요 개념인 자연적 감시와 학교폭력 예방의 관계에 대한 이론적 고찰도 진행한다.

2) 학교 외부공간의 가시 취약지역 분석기법 제시

분석방법의 제시, 구현 및 적용을 위해서 첫째, 자연적 감시의 특성이 낮게 나타나는 학교 외부공간을 검출하는데 적용되는 가시성 이론을 고찰한다. 둘째, 외부공간에 대한 자연적 관찰은 외부공간뿐만 아니라 실내공간으로부터도 발생하므로 그 고저차를 고려한 3차원 분석방안을 고찰한다. 셋째, 학교 외부공간에 대한 3차원 가시 네트워크 분석으로부터 산출되는 정량적 지표에 대한 이론과 산출방법에 대해 고찰한다. 넷째, 분석방법의 구현에 있어서는 이론적 구성과 함께 전산환경에서 가시 네트워크 분석을 위

한 알고리즘 구현과정을 진행한다. 다섯째, 학교사례에 대한 분석을 통해 학교 외부공간 중 감시 취약으로 범죄 발생이 우려되는 지역을 검출하는 분석기법의 적용을 검토한다. 분석기법의 적용대상은 최근에 건축계획이 진행된 학교로 외부공간에 고저차가 있으며 교사의 배치에 의해 외부공간의 시각환경에 변화가 예상되는 사례를 선정하였다. 제시된 사례는 학교에 대한 대표성을 가지는 것은 아니며 개발되는 분석기법의 적용성을 검토할 목적으로만 활용된다.

II. 이론적 고찰

II-1. 환경설계를 통한 범죄예방(CPTED)

건축과 범죄와의 관계에 관한 이론인 환경설계를 통한 범죄예방(CPTED)은 근대도시의 재개발이 보이는 병폐에 주목하고 이를 비판한 제인 제이콥스(Jane Jacobs)의 저서**에서 시작하였다. 범죄학자 레이 제프리(C. Ray. Jeffery)가 이를 바탕으로 저서 "Crime Prevention Through Environmental Design"***을 출간하면서 도시환경의 적정한 설계가 범죄예방을 위한 전략적 대안으로 작용하는 CPTED의 개념을 제시하였다. 이러한 이론적 출현은 건축 분야에서 방어 공간(Defensible Space)의 개념으로 발전하여 오스카 뉴먼(Oscar Newman)이 그의 저서****에서 구축된 도시환경과 범죄와의 관계를 탐색하면서 건축계획분야에서 주목받기 시작한다. 환경설계를 통합 범죄예방(CPTED)의 개념은 자연적 감시(Natural Surveillance), 자연적 접근통제(Natural Access Control) 및 자연적 영역성 강화(Natural Territorial Reinforcement) 등의 개념을 포함하며 이는 건축계획 및 설계 과정에서 직·간접적 판단요인으로 활용이 가능하다. 특히 기존 연구*****에서 제시한 바와 같이 자연적 감시는 본 연구에서 주목하는 개

** Jacobs, Jane, The Death and Life of Great American Cities, Random House, New York, pp.37~71, 1961

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

**** Newman, Oscar, Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design, Macmillan, New York, 1972

***** 박영주, 환경설계를 통한 범죄예방(CPTED)의 효과에 관한 연구, 한국경찰연구, 9(1), p.60, 2010

념으로 이용자의 가시권을 최대한 확보하고 시설물에 의한 가시선의 간섭이 없으며 적절한 조명상태와 함께 기계적 감시와 병행되는 이용자의 감시를 범죄 예방에 활용하는 개념이다.

표1. 2001년 대비 학교범죄 발생 현황

연도	발생 건수	증감률 (%)	연도	발생 건수	증감률 (%)
2001	4,028	-	2006	4,047	0.47
2002	3,896	-3.28	2007	4,770	18.42
2003	3,645	-9.51	2008	5,240	30.09
2004	3,942	-2.14	2009	6,939	72.27
2005	4,357	8.17	2010	6,307	56.58

※ 자료 : 대검찰청 범죄분석(2002-2011)

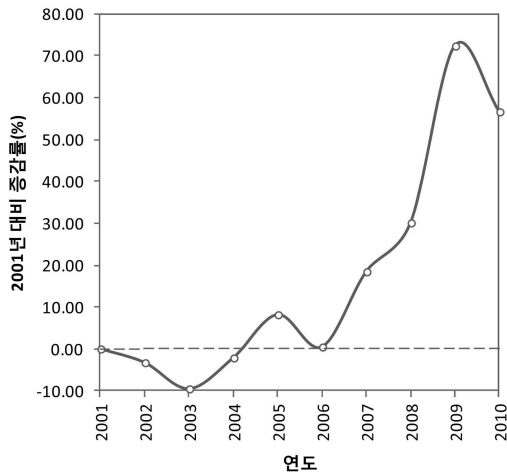


그림1. 2001년 대비 학교범죄발생 증감률

II-2. 학교안전 위협의 발생 실태

2001년부터 2011년까지 지난 10년간 학교에서 발생한 범죄*는 표1에서 제시한 바와 같이 2001년에 4028건으로 시작하여 2009년에 6939건까지 증가하여 2200건 이상, 72.27%의 증가율을 보였다. 그림1은 2001년 대비 지난 10년간의 학교범죄 발생수의 증감률을 보이고 있다. 2002년부터 2004년까지의 증감률은 2001년에 비해 감소한 것으로 나타났으며 2005년 이후에는 반전하여 학교범죄 발생수가 크게 증가하였다. 특히 2008년과 2009년 사이의 증가는 10년 간 최대값을 기록하였고 2010년에 증감률이 감소하였지만 이전의 증가세에 비해 미미한 수준에 그쳤다. 이는 최근 들어 교내에서 범죄가 더욱 빈번히 발생하는 것으로 분석되며 교내 범죄에 대한 대응이 요구되는 시점임을 시사한다.

학교에서 발생하는 범죄행위에는 폭력행위뿐만 아

니라 절도 및 방화와 같은 범죄도 포함된다. 그림2는 2010년에 학교에서 발생하는 폭력행위의 구성비

표2 . 2010년 학교폭력의 법적 처분

구분	발생수	비율(%)	합계
기소	1,871	9.56	7,430건 37.98%
소년보호송치	5,554	28.39	
가정보호송치	5	0.03	
불기소	11,798	60.31	12,132건 62.02%
기소중지	302	1.54	
참고인증지	32	0.16	
합계	19,562	100.00	

※ 자료 : 대검찰청 범죄분석(2011)

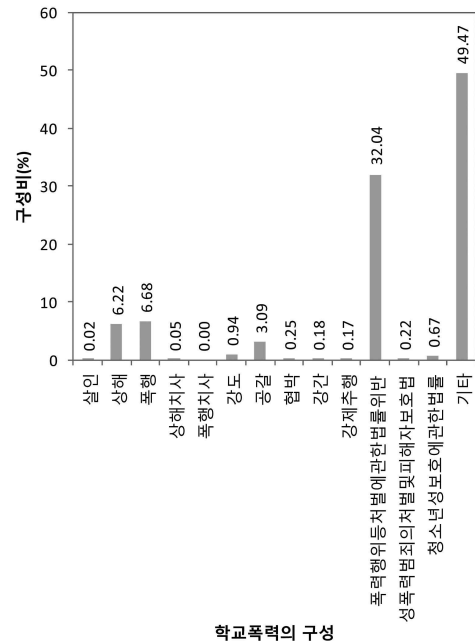


그림2. 2010년의 학교폭력 구성

를 보이고 있다. 구체적으로 구분이 어려운 기타 폭력행위를 제외하고는 폭력행위등처벌에관한법률을 위반한 경우가 전체 학교폭력 발생 중 최대로 32.04%에 이른다. 그 다음으로 폭행, 상해, 공갈의 순으로 교내 폭력행위가 발생하고 있다. 최근 사회적으로 문제가 되고 있는 학교폭력 관련 부분만을 구분하여 분석하고자 표2에서 제시한 바와 같이 2010년 발생한 학교폭력의 법적 처분의 결과를 도출하였다. 기소, 소년보호송치 및 가정보호송치의 처분은 전체 학교폭력 발생 19,562건 중 7,430건으로 37.98%나 나타나고 있으며 불기소, 기소중지 및 참고인증지의 처분은 12,132건으로 62.02%의 결과를 보였다. 전자는 후자에 비해 무거운 처분에 해당하며 전체 학교 폭력 중 1/3 이상이 이러한 처분의 대상으로 분석됨은 최근에 발생하는 학교폭력이 범질

* 대검찰청 범죄분석 발표자료, <http://www.spo.go.kr>

서를 침해하는 수준에 이르고 있음을 제시한다.

II-3. 자연적 감시와 학교범죄 예방의 관계

CPTED 전략과 학교범죄와의 관계는 자연적 또는 기계적 방법의 감시와 접근통제, 공간배치, 시설디자인, 프로그램 계획 등을 포함하는 거시적 연구를 통해 탐색되어 왔다. 이는 국내의 학교 CPTED의 성숙도가 아직은 초기에 머무르고 있어 강은영 외의 연구**와 같이 법제적 연구 또는 계획 지침을 제시하는 연구에 초점을 두고 있음을 의미한다. 하지만 이러한 연구에서도 구축된 학교 시설환경이 학교 내 범죄의 중요한 요소로 또한 지속적 안전을 저해하는 요소로 작용할 수 있음을 제시하고 있다.

김지우, 하미경의 연구***는 학교 외부환경에 대한 자연적 감시 및 시각적 개방이 범죄발생에 미치는 영향을 탐색하고자 물리적 외부 환경을 평지와 경사지의 대지유형으로, 또한 담장을 시야개방 정도에 따라 구분하여 분석을 시행하였다. 제시된 연구는 학교 외부공간의 특성이 범죄발생과 보이는 관계를 규명하여 법제적 연구 또는 계획지침을 제시하는 연구보다 건축적으로 구체화된 것으로 볼 수 있다. 하지만 상대적으로 광범위한 외부공간의 시각적 특성을 획일적으로 평가한 부분은 외부공간의 국지적 특성을 고려하는 미시적 분석의 적용을 통해 개선이 가능할 것으로 판단된다.

지식경제부 기술표준원이 제시하는 범죄예방환경설계(CPTED)의 기반표준은 도시설계의 범주에서 가시성, 접근성, 영역성, 미관, 강건성을 범죄예방을 위한 환경설계의 전략으로 보고 이러한 전략들이 구체적인 상황에서만 도움이 될 수 있으며 주어진 환경에 따라 기대효과를 달리하여 각 전략들이 선택적으로 적용될 수 있음을 제시하였다.**** 이는 거시적 지침과 함께 계획 대상이 되는 시설환경의 조건에 부합하는 미시적 분석과 대응이 요구됨을 의미한다.

앞서 제시된 연구와 같이 학교 CPTED의 법제적

연구나 계획지침에 관한 연구는 전체 학교시설집단을 유형 별로 분류하여 대안을 제시하거나 개별 학교시설에 포함된 동종의 시설들을 하나의 분석대상으로 고려하는 분석의 틀을 보이고 있다. 이러한 접근 방식은 초기연구에는 적합할 수 있으나 이러한 연구들로 제시되는 결과는 개별 학교시설의 상황이 가지는 특이성을 고려하지 않은 한계도 있다. 학교 CPTED 계획방향에 관한 정책방향을 논의한 연구*****에서도 제시된 바가 같이 기존 CPTED 연구의 구성은 기본 개념의 중요성을 부각하거나 선진사례의 소개하는 경우가 대부분이다. 정량적 연구도 실태 설문조사 또는 관련 전략의 적용에 대한 이용자 설문조사의 방식으로 구성되었고 문제점의 개선방향도 기계적 설비에 의한 전략과 대안 제시로 한정되었다. 따라서 시설물의 배치특성 및 공간의 구성특성에 따른 정교한 분석과 결과활용을 위한 연구가 요구되며 CPTED의 대표적 전략인 자연적 감시에 대한 건축적 분석과 활용도 필요하다.

학교환경의 범죄 예방을 위한 설계의 대상은 학교 외부환경, 담장 및 출입 공간과 같은 1차적 학교 경계공간과 2차적 경계공간이라 할 수 있는 학교의 외부공간 그리고 내부공간으로 구분할 수 있다. 이들 중 학교 경계 내부에 위치하면서도 외부 침입자에 의한 범죄행위와 학교 이용자에 의한 범죄행위가 공존하는 학교 외부공간은 본 연구의 대상이 되는 부분이다. 학교 내부공간의 경우는 주로 2차원 분석을 기초로 미시적 및 정량적 연구가 전개되고 있다. 권지훈의 연구*는 초등학교의 2차원 공간구성, 순환성 및 가시특성을 정량적으로 분석하여 실내 공간에서 시각적 인지환경의 문제점을 파악하고 이를 개선하는 방안을 제시하였다. 이는 정량적 접근을 취하는 미시적 연구로서 유의하나 건축공간이 3차원으로 구성된 점을 고려한다면 복층의 공간이나 외부공간과 같이 입체적 분석의 적용에는 한계가 있다.

** 강은영, 범죄예방을 위한 환경설계의 제도화 방안(III): 학교 및 학교주변 범죄예방을 중심으로-학교범죄예방을 위한 설계방안, 한국형사정책연구원 경제·인문사회연구회 협동연구 총서, p.13, 2010

*** 김지우, 하미경, 외부환경의 자연적 감시가 범죄에 미치는 영향에 관한 연구, 한국디자인지식저널, 제18권, pp.42~51, 2011

**** KA S8800, 범죄예방환경설계(CPTED)-기반표준, 지식경제부, 기술표준원, <http://www.kats.go.kr>

***** 강은영, 범죄예방을 위한 환경설계의 제도화 방안(III): 학교 및 학교주변 범죄예방을 중심으로-학교범죄예방을 위한 설계방안, 한국형사정책연구원 경제·인문사회연구회 협동연구 총서, p.24, 2010

* 권지훈, 학교폭력예방을 위한 초등학교시설 건축계획에 관한 연구, 대한건축학회지회연합논문집, 제10권, 2호, pp.47~56, 2008

III. 학교 외부공간의 가시 취역지역 분석방안

III-1. 가시성의 3차원 분석

1) 3차원 분석의 필요성

학교에서의 범죄예방을 위한 환경설계의 세부전략 중 이론적 고찰에서 논의되었던 자연적 감시나 기계설비적 감시에는 이용자의 가시성 확보가 전제되어야 한다. 가시성의 문제는 1970년대 후반부터 베네딕트(Benedikt)의 연구**에 의해 공간분석의 일환으로 논의되기 시작하였다. 21세기에 들어서면서 전산기술의 발전과 함께 Turner, Doxa, O'sullivan & Penn의 연구***에 의해 2차원 공간에서 정량적 지표의 산출에 의한 가시성 그래프 분석(Visibility Graph Analysis)으로 구체화되었다. 이들이 제시하는 산출과정은 2차원 공간을 등간격의 격자지점으로 분할하여 이들 간의 상호 가시성 산출결과를 지점별로 누적하는 방식을 사용하였다.

초기 가시성 그래프 분석의 가장 큰 한계는 공간을 2차원의 평면으로 환원하여 분석함에 있다. 고저차가 없는 단일층에서 이용자 간의 가시선을 분석하는 경우에는 유의한 결과를 도출할 수 있으나 복층의 공간이나 외부공간과 같이 고저차가 발생하는 경우에는 그 결과의 타당성에 의문이 제기되었다. 특히 학교 외부공간의 경우에 다수의 층으로 구성된 교사와 외부공간의 가시성 관계나 고저차가 있는 외부공간의 개별 지점 간에 발생하는 가시성 관계를 2차원 가시성 그래프 분석으로 해석하기에는 한계가 있다. 이는 평면으로 환원되어 분석되는 2차원 분석에서 시설물이나 지형 등에 의해 발생하는 시선 간섭의 상태가 3차원 분석에서 발생하는 시선 간섭의 상태와 차이를 보이기 때문이다. 제시된 차이는 관찰자가 위치한 지점으로부터 창문까지의 거리에 따라 외부공간에 대한 관찰범위가 변화하는 시각적 체험에 의해 설명된다.

따라서 CPTED와 관련하여 학교 외부공간에 대한 가시성을 분석하는 연구에서는 2차원 분석보다는 3차원 분석을 적용함이 타당하다. 또한 본 연구는 기

존의 2차원 가시성 분석과의 구분을 위해 지점 간의 가시선 네트워크를 분석한다는 의미에서 분석방법의 명칭을 가시 네트워크 분석으로 사용한다.

2) 가시연결도(Degree)

학교 외부공간에 대한 가시 네트워크 분석을 수행한 결과는 학교환경에서 개별 지점이 가지는 가시성을 변별하기 위하여 정량적 형태로 도출될 필요가 있다. 분석공간이 100개의 지점으로 분할되었다면 하나의 지점이 이들 중 10개의 지점과 가시선을 형성하고 다른 지점은 90개의 지점과 가시선을 형성한다면 전자의 경우는 자연적 관찰의 가능성이 낮은 지점으로 해석된다. 이를 정량적 산출값으로 제시한 것이 가시연결도이다. 따라서 가시연결도는 개별 지점이 분석공간 내 다른 모든 지점으로부터 관찰될 수 있는 정도를 의미한다.

외부공간의 가시연결도 산출을 위해서 개별 지점 간에 발생하는 가시선은 시설물이나 지형 등에 의해 간섭되지 않아야 한다. 분석을 위해 전산적 방법을 활용한다면 시설물, 지형 및 지형정보에 대한 3차원 입력, 처리 및 산출이 요구된다. 가시연결도의 산출값이 낮은 지점은 이용자에 의해 확보되는 가시성의 정도가 낮고, 산출값이 높은 지점은 이용자에 의해 확보되는 가시성의 정도가 높다.

3) 결집계수(Clustering Coefficient)

본 연구에서 가시연결도와 함께 결집계수를 정량적 산출지표로 활용한다. 가시연결도는 모든 지점으로부터 관찰되는 가능성을 측정한다면 결집계수는 개별 지점과 가시 관계에 있는 지점들 간의 이동에 따라 발생하는 시각적 추적의 정도를 측정한다.

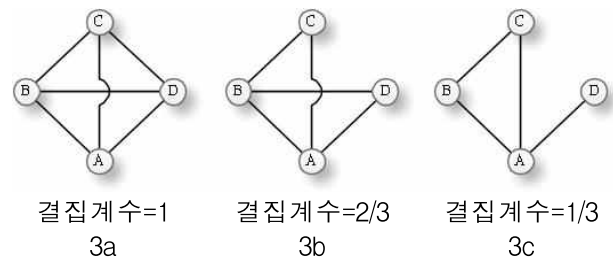


그림3. 지점 A의 결집계수

그림3에서 개별 지점 A, B, C 및 D는 3가지 다른 경우의 가시선을 형성하고 있다. 3a의 경우에 지점 A는 지점 B, C 및 D와 가시선을 형성하고 있다. 또한 지점 B, C 및 D 사이에도 가시선이 형성된 상태

** Benedikt, M. L., To take hold of space, Environment and Planning B, 6(1), pp.47~65, 1979

*** Turner, A., Doxa, M., O'sullivan, D. & Penn, A., From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B, vol. 28, pp.103~121, 2001

이다. 이는 지점 A에 위치한 행위자나 사건을 관찰하는 지점 B, C 및 D에 위치한 이용자 간에도 상호 관찰이 가능함을 나타낸다. 따라서 지점 A에 위치한 행위자가 지점 B, C 및 D 중 하나의 지점으로 이동하여도 관찰은 지속됨을 의미한다.

그림3의 3b의 경우도 지점 A가 지점 B, C 및 D와 이루는 가시상태는 동일하다.

하지만 지점 C와 D 간의 가시성이 확보되지 않아 지점 A에 위치한 행위자가 지점 D로 이동하는 경우에 지점 C로부터의 관찰은 지속되지 않는다. 지점 A의 가시연결도는 3a의 상태와 동일하지만 이동에 따른 가시성의 지속상태는 상이하여 시각적 추적의 정도를 달리한다.

그림 3의 3c의 경우도 지점 A는 3a와 3b와 같이 지점 B, C 및 D와의 가시성을 확보하여 동일한 가시연결도를 보인다. 하지만 지점 A에 위치한 행위자가 지점 D로 이동하면 지점 B와 C로부터의 관찰은 지속되지 않는다. 이는 제시된 3가지 경우 중 이동에 따른 시각적 추적의 정도가 가장 낮은 상태이다.

결집계수는 이상과 같이 지점 A에서 동일한 가시연결도를 보이더라도 시각적 추적을 달리하는 상태를 정량적으로 제시한다. 지점 A의 결집계수 산출은 가시선으로 형성되는 시각 삼각형 개수의 발생률로 산출한다. 산출의 기준은 동일한 가시연결도의 조건에서 시각 삼각형이 최대로 발생하는 3a의 경우에 산출되는 시각 삼각형의 개수이다. 3c의 시각 삼각형은 1개이며 동일한 가시연결도를 보이는 3a를 기준으로 결집계수는 1/3로 산출된다. 3b의 경우에 지점 A로부터 생성되는 시각 삼각형의 개수는 2이므로 결집계수는 2/3로 산출된다. 지점 A의 행위자나

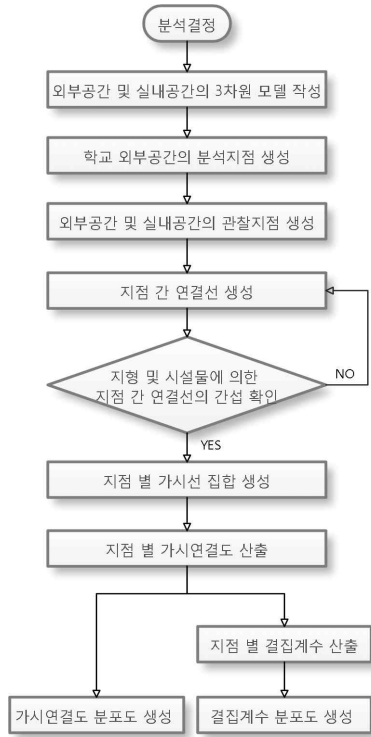


그림4. 분석기법의 흐름도

해당 위치에서 발생한 사건이 주변의 지점으로 이동하면 그림3의 3a, 3b, 3c의 순으로 시각적 추적은 약화된다. 따라서 하나의 지점에서 이동에 따른 시각적 추적의 정도는 결집계수의 산출값에 비례한다.

여기서 주목할 점은 하나의 지점에 위치한 행위자는 가시성이 확보된 지점으로만 이동한다는 것이다. 보행활동은 시각적으로 하나의 지점으로부터 다음 지점에서의 가시성이 확보된 상태에서 이뤄진다. 따라서 그림3에서 제시한 바와 같이 가시성이 확보되지 않는 지점은 결집계수 산출에 포함되지 않는다.

$$D(i : i \in E) = \sum_{k \in S} fv(i, k) \quad <1>$$

- D(i) 외부공간 개별 지점에서의 가시연결도
- i 외부공간에서의 개별 지점
- E 외부공간 개별 지점의 집합
- k 실내공간에서의 개별 지점
- S 실내공간 개별 지점의 집합
- fv() 가시성 형성 판별을 위한 간섭확인 함수

$$C(i : i \in E) = \frac{2T(i)}{D(i)(D(i)-1)} \quad <2>$$

- C(i) 외부공간 개별 지점에서의 결집계수
- T(i) 외부공간 개별 지점에서 가시선에 의해 형성되는 시각 삼각형의 개수
- D(i) 외부공간 개별 지점에서의 가시연결도

$$D(i) = \text{networkx.degree}(G, \text{weighted}=\text{False}) \quad <3>$$

$$C(i) = \text{networkx.clustering}(G, \text{weighted}=\text{False}) \quad <4>$$

- networkx.degree 네트워크엑스 라이브러리에 가시연결도 함수 적용 설정
- networkx.clustering 네트워크엑스 라이브러리에 결집계수 함수 적용 설정
- G 분석대상 네트워크의 설정
- weighted 가중치의 설정

III-2. 분석방법의 구현

앞서 제시한 경우와 같이 소규모의 가시 네트워크를 대상으로 3차원 가시 네트워크 분석을 수행하여 가시연결도와 결집계수를 산출하는 과정은 학교의 외부공간과 같이 분석의 규모가 확대되면 효율과 정확성을 위해 전산처리가 요구된다.

분석의 범위를 설정하기 위해 경계조건에 대한 정의가 선행된다. 분석대상은 학교 외부공간이지만 관

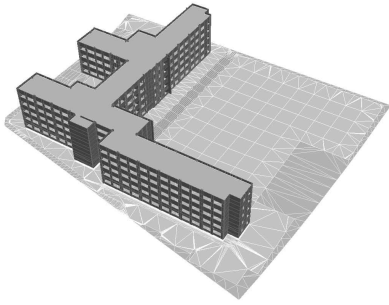


그림5. 분석사례 모델

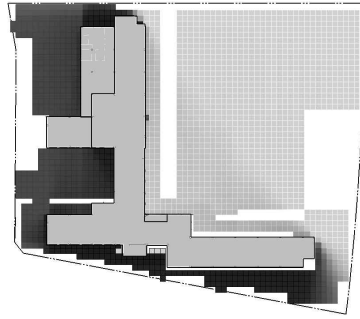


그림6. 가시연결도 분포



그림7. 결집계수 분포

찰자의 가시상태는 외부공간뿐만 아니라 실내공간에서도 창호를 통하여 발생하므로 관찰지점의 영역도 확장된다. 관찰대상도 시설물이나 외부공간 그 자체가 아니라 외부공간에 위치한 행위자나 사건이므로 외부공간 중 접근이 가능한 지역에 지점이 생성되며 지점의 높이도 행위자의 시선높이로 설정된다.

지점 및 가시선의 생성과 간섭확인을 위해서 외부공간과 실내공간에 대한 3차원 모델의 작성이 선행되고 이는 지점 간 가시선의 간섭을 확인하기 위한 정보로 활용된다. 이 과정에서 외부공간의 3차원 모델은 지형등고선을 활용한 지형 DEM(Digital Elevation Model)으로, 시설물은 3차원 모델로 작성하여 분석에 적용된다.

모든 지점 간의 연결선에 대하여 지형 및 시설물에 의한 간섭확인 과정을 진행하고 지점 별 가시선 집합을 생성하여 가시연결도를 산출하고 이를 기반으로 결집계수를 산출한다. 각 지표의 산출값과 함께 분포도를 분석결과로 제시한다. 이는 외부공간에서 자연적 감시와 이동에 따른 시각적 추적의 취약지역을 판별하는데 활용된다.

이상의 분석과정은 그림4의 흐름도와 같이 진행되었으며 가시연결도는 식1에서 제시한 바와 같이 제시된다. 외부공간의 분석지점 집합 E에 포함되는 개별 지점 i와 실내공간의 지점 집합 S에 포함되는 개별 지점 k 간에 가시선 형성여부의 확인을 위한 DEM과의 간섭확인 함수를 사용하여 가시연결도 D(i)를 산출한다. 결집계수의 분석은 식2와 같이 제시되며 외부공간 개별 지점 i에서 산술적으로 발생 가능한 시각삼각형의 개수 $D(i) \times (D(i)-1) / 2$ 에 대한 지점 i에서 가시선에 의해 형성되는 시각 삼각형의 개수 T(i)의 비율로 산출된다.

분석 알고리즘의 프로그래밍에는 파이썬(Python) 언어****를 사용하였다. 가시연결도와 결집계수의 산출

을 위해서는 네트워크 분석에 적용되고 있는 네트워크엑스(NetworkX)*****의 분석 알고리즘이 적용되었는데 이는 프로그래밍 식3과 같이, 결집계수는 프로그래밍 식4와 같이 제시된다. 이들을 외부공간 분석지점 집합과 실내 공간 개별 지점의 집합에 대하여 반복 순환하는 산출방식으로 전체 공간에 대한 분석을 수행한다.

III-3. 분석방법의 적용

학교 외부공간에서 자연적 감시 취약지역을 검출하기 위한 분석방법의 적용단계에서는 그림5에서 제시한 바와 같이 C지역에 위치한 5층 규모의 M중학교 시설과 그 외부공간을 모형화 하여 분석사례로 활용하였다.

분석의 대상이 되는 지점은 교사 주위의 외부공간에 등간격의 산출지점을 배치하고 다층의 실내공간에도 등간격의 관찰지점을 배치하였다. 여기서 주목할 점은 모든 지점이 고저차 정보를 포함한다는 것이다. 분석지점과 관찰지점 사이에 발생 가능한 연결선들을 대상으로 학교시설 및 지형과의 간섭이 없는 경우에 그 가시선은 외부공간의 지점들 사이에도 실내공간과 외부공간의 지점들 사이에 생성된 가시선이다. 이는 최상층인 5층까지의 실내공간과 외부공간의 모든 지점으로부터 외부공간의 모든 지점에 대한 시각적 관찰 가능성을 탐색한 결과이다. 가시선의 관찰점과 분석지점을 검출하여 가시 네트

**** 본 연구에서는 Python version 2.7을 사용하였으며 script interpreter는 GhPython version 0.4.6.0 for Grasshopper 0.8.0066 in Rhinoceros 5을 사용하였다.

***** Python 언어 환경에서 호환되며 네트워크 그래프의 정량적 분석을 가능하게 한다. 본 연구는 version 1.4를 사용하였다. <http://networkx.lanl.gov>.

위트 분석*을 위한 노드(node)로 설정하였고 가시선은 에지(edge)로 입력하였다.

그림6은 가시연결도의 산출결과는 보이는데 외부공간의 각 지점에서 산출값을 해당 위치에 분포도로 제시하고 있다. 산출값의 표시는 지점 별 분석결과에서 밝게 표시된 부분이 높은 산출결과를, 어둡게 표시된 부분이 낮은 산출결과를 나타낸다. 교사의 모든 외부공간은 연결되어 있음에도 지점의 위치에 따라 가시연결도의 산출결과를 달리하고 있어 자연적 감시상태의 차이를 보였다. 또한 교사의 좌측과 하단부에 위치한 외부공간은 전반적으로 감시가 어려울 뿐만 아니라 부분적으로 가시성의 확보가 매우 취약한 지역으로 분석되었다.

그림7은 결집계수의 산출결과를 나타내는 분포도이다. 산출결과에 따른 표시방식은 연결도의 경우와 동일하다. 결집계수는 최대값이 1이고 최소값이 0이므로 최대값과 최소값에 이를 반영하였다. 결집계수는 행위자의 이동에 따른 시각적 추적의 정도를 분석한다. 분석결과로부터 교사의 상단부와 하단부에 부분적으로 시각적 추적이 약화된 부분이 발견되었다. 범죄가 발생하는 경우에 현장으로부터 행위자의 이동 또는 탈출에 따른 시각적 추적이 어려운 지역은 이에 대한 대응이 요구되는데 그림7과 같이 제시되는 결집계수의 산출결과는 그 시각적 특성을 정량적으로 변별하였다.

IV. 결론

학교 외부공간에서 자연적 감시가 취약한 지역을 검출하는 분석방법의 제시가 목적인 본 연구의 결론은 다음과 같이 요약된다.

첫째, 학교 외부공간에서 감시 취약지역의 판별을 위해서 실내공간의 관찰지점을 포함한 3차원 가시성 분석이 요구되었으며 지형과 시설물의 모델로부터 도출된 분석지점에 의해 생성된 가시선의 간섭확인 분석에 활용성을 보였다. 둘째, 분석결과는 실내공간 및 외부공간의 각 지점 간에 발생하는 가시선의 네트워크 분석을 통해 정량적으로 도출되었다. 셋째, 3차원 가시 네트워크의 분석을 통해 외부공간

의 가시성을 파악함에 있어 가시연결도는 외부공간의 각 지점이 다른 지점으로부터 관찰되는 정도를 파악하는 지표로 제시되었다. 넷째, 결집계수는 개별 지점의 행위 또는 행위자의 이동에 대한 시각적 추적의 가능성을 판별하는 지표로 산출되어 이러한 상황에 대한 대응이 요구되는 지점을 국지적으로 검출하였다. 다섯째, 학교사례에 대한 적용을 통해 구현된 분석방법은 외부공간의 자연적 감시 상태에 대한 국지적 판별의 적용성을 제시하였다.

이상과 같은 연구로 구현된 분석방법은 자연적 감시가 취약하여 범죄에 노출될 가능성이 높아 대응방안이 요구되는 학교 내 외부공간의 국지적 검출을 지원할 것으로 기대한다. 또한 정량적 분석을 위한 다양한 지표의 발굴과 정밀한 분석방안으로의 개선에 대한 추가적 연구도 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강은영, 범죄예방을 위한 환경설계의 제도화 방안 (III): 학교 및 학교주변 범죄예방을 중심으로-학교범죄예방을 위한 설계방안, 한국형사정책연구원 경제·인문사회연구회 협동연구 총서, 10-35-01, 2010, pp.13~24.
2. 권지훈, 학교폭력예방을 위한 초등학교시설 건축계획에 관한 연구, 대한건축학회지회연합논문집, 제10권, 2호, 2008, pp.47~56.
3. 김지우, 하미경, 외부환경의 자연적 감시가 범죄에 미치는 영향에 관한 연구, 한국디자인지식저널, 제18권, 2011, pp.42~51.
4. 박영주, 환경설계를 통한 범죄예방(CPTED)의 효과에 관한 연구, 한국경찰연구, 9(1), 2010, p.60.
5. 대검찰청 범죄분석, <http://www.spo.go.kr>
6. KA S8800, 범죄예방환경설계(CPTED)-기반표준, 지식경제부, 기술표준원, <http://www.kats.go.kr>
7. Benedikt, M. L., To take hold of space, Environment and Planning B, 6(1), 1979, pp.47~65.
8. Jacobs, Jane, The Death and Life of Great American Cities, Random House. New York, 1961, pp.37~71.
9. Jeffery, C. Ray, Crime Prevention Through Environmental Design. Sage Publications, Beverly Hills, 1971

* 노드(node)와 에지(edge)로 구성된 네트워크 그래프에 대한 정량적 분석을 의미한다. 기존의 공간구분론이나 2차원 가시성 그래프 분석도 그래프로 형성된 네트워크 분석의 하나로 볼 수 있다.

10. Newman, Oscar, Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design, Macmillan, New York, 1972
11. Turner, A., Doxa, M., O'sullivan, D. & Penn, A., From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, Environment and Planning B, vol. 28, 2001, pp.103~121.
12. <http://networkx.lanl.gov>
13. <http://www.food4rhino.com/project/ghpython>
14. <http://www.kats.go.kr>
15. <http://www.spo.go.kr>

(논문투고일 : 2012.02.22, 심사완료일 : 2011.04.02,
게재확정일 : 2012.04.16)