Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 27(2) 2024, pp.19-33 ISSN 1226-9719(Print)
https://doi.org/10.11108/kagis.2024.27.2.019 ISSN 2287-6952(Online)

도시공간빅데이터를 활용한 CCTV 우선설치지수 개발 및 시범적용*

김혜림[1]·문태헌[2※]·허선영[3]

Development and Application of CCTV Priority Installation Index using Urban Spatial Big Data*

Hye-Lim KIM[1]·Tae-Heon MOON[2※]·Sun-Young HEO[3]

요 약

방범용 CCTV는 지속적으로 증설되고 있으나 설치 위치 결정에 대한 가이드라인의 부재로 범죄 발생 다발지역과 무관한 위치에 CCTV가 설치되는 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 도시공간빅데이터를 활용하여 CCTV 우선설치지수를 개발하고, 사례지역에 시범 적용하여 적용 가능성을 타진하였다. CCTV 우선설치지수는 범죄취약지수와 감시취약지수로 구성하였으며, 각각 머신러닝 알고리즘을 통해 예측한 그리드별 범죄발생건수, 가시권 분석을 통해 산출한 그리드별 감시불가면적의 비율을 활용하여 산출하였다. 지수를 시범지역에 적용한 결과 CCTV 가시권 분석에 Viewshed 기능을 활용함으로써 기존 버퍼 기능 활용 시 감시면적이 과대 추정되었던 문제를 해결할 수 있었다. 또한 해당 지수를 적용하여 CCTV 설치 위치를 결정할 경우, 감시면적을 효율적으로 개선 가능하다. 본 연구의 CCTV 위치 결정 프로세스에 따라 사례지역에 신규 CCTV를 추가 설치할 경우, 도로면적 대비 감시면적이 43.25%에서 83.73%로 증가하였다. 따라서, CCTV 우선설치지수는 스마트안전도시 조성을 위한 효과적인 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : CCTV 입지, 범죄, 도시공간빅데이터, 머신러닝, 가시권 분석

ABSTRACT

CCTV for crime prevention is expanding; however, due to the absence of guidelines

2024년 3월 12일 접수 Received on March 12, 2024 / 2024년 4월 9일 수정 Revised on April 9, 2024 / 2024년 4월 17일 심사완료 Accepted on April 17, 2024
* 본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-003)
1 경상국립대학교 도시공학과 박사과정 Doctorate Candidate, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University
2 경상국립대학교 도시공학과 교수 Professor, Dept. of Urban Engineering, ERI, Gyeongsang National University
3 경상국립대학교 스마트공동체사업단 학술연구교수 Research Professor, Gyeongsang National University
※ Corresponding Author E-mail: thmoon@gnu.ac.kr

for determining installation locations, CCTV is being installed in locations unrelated to areas with frequent crime occurrences. In this study, we developed a CCTV Priority Installation Index and applied it in a case study area. The index consists of crime vulnerability and surveillance vulnerability indexes, calculated using machine learning algorithms to predict crime incident counts per grid and the proportion of unmonitored area per grid. We tested the index in a pilot area and found that utilizing the Viewshed function in CCTV visibility analysis resolved the problem of overestimating surveillance area. Furthermore, applying the index to determine CCTV installation locations effectively improved surveillance coverage. Therefore, the CCTV Priority Installation Index can be utilized as an effective decision-making tool for establishing smart and safe cities.

KEYWORDS : CCTV Location, Crime, Urban Spatial Big Data, Machine learning, Visibility analysis

서 론

도시공간에서 발생하는 범죄의 예방 및 사후 조치를 위해 활용되는 방범용 CCTV는 전국에 160만 대 이상(2022년 기준)으로, 연평균 21.9%씩 급격하게 증설되고 있다(Statistics, 2022). 세계 주요 도시 CCTV 조사 결과에 따르면, 서울은 인구 1천명 당 14.47대(8위), 평방 마일당 618.45대(2위)를 기록하였다(Comparitech, 2021년). 지난해 국가 차원에서 디지털 기반 범죄예방 강화 방안을 발표하면서 범죄 발생 예측 기술 및 CCTV 이미지 식별 기술 개발, 지능형 CCTV 추가 배치 계획 등을 밝힘에 따라 지능형 CCTV의 개발 및 설치도 확대되고 있는 상황이다.

한국에서는 CCTV 설치 위치 결정에 대한 법적 기준 및 가이드라인이 부재하여 과학적 기준 없이 민원을 우선으로 지자체에서 위치를 결정하고 있다. 이는 실제 범죄발생 현황과 본래 설치 목적인 범죄예방과 관계없는 지점에 CCTV가 설치될 수 있음을 시사한다. 이로 인해 범죄 발생 다발지역과 무관한 위치에 CCTV가 비효율적으로 설치되는 경우도 많아 한계점으로 지적되고 있다(Lee and Kim, 2014). 한편 최근 일부 지자체에서는 사각지대를 없애기 위해 그물망식으로 설치하여 안전망을 구축하고 있지만 설치 후 운영·관리에 발생하는 비용, 예컨대 관제센터 직원 인건비, 통신망 사용료, 유지보수비용 등이 예산 편성 시 제대로 반영되지 않아 지자체에 고질적인 재정 부담 요인으로 작용하고 있다. 전 지역을 대상으로 촘촘하게 설치할 경우 사각지대를 최소화하고, 완전한 감시가 이루어질 수 있겠지만 비용 및 인력 등 현실적인 한계가 존재한다. CCTV 설치 위치를 선정할 때 일부 지자체는 관할 경찰서와 협력하기도 하지만 경찰에서도 CCTV 설치 위치를 제안하는 데 있어 통일된 기준이나 지침이 없는 상황이다. 그 영향으로 CCTV 설치로 인한 범죄예방 및 해결 효과가 기대에 미치지 못한다는 연구 결과와 함께 유지관리 비용 등의 문제가 지적되고 있다(Moon, 2017).

CCTV 설치 및 운영에 따른 범죄예방 효과에 대해 긍·부정적인 연구결과가 공존하고 있는 가운데, 안전에 대한 국민의 높은 우려와 관심에 따라 CCTV 신규 설치 및 운영은 지속되고 있어 CCTV 설치로 인한 부작용이 최소화되고 긍정적인 효과가 극대화될 수 방향으로, 과학적 근거에 의해 설치와 관련된 사항들이 결정되어야 할 것이다.

범죄예방을 목적으로 설치된 공공 CCTV가 실제 범죄발생 지점과 얼마나 중첩되고 있는지, 실제 범죄발생을 기준으로 CCTV 설치지점의 타당성을 판단할 필요가 있다. 미국, 영국 등에

서는 범죄발생 정보 분석 결과를 맵 형태로 공개하고, 이를 경찰력 투입 등에 활용하고 있다.

가장 이상적인 도시안전망을 구축하기 위한 방법은 도시 공간의 특성을 고려한 CCTV 설치 위치 결정 가이드라인을 마련하는 것이다. 범죄예방효과를 극대화하고 중복 감시 등으로 인한 예산 낭비 문제를 방지하기 위해서는 지역의 범죄다발지역 및 기존에 설치된 CCTV의 촬영범위 등 공간분석이 사전에 충분히 이루어져야 한다. CCTV는 설치위치, 각도 등에 따라 감시 성능 및 감시 안전도가 개선될 수 있기 때문에 (Lee, 2016), 설치 시부터 입지에 대한 충분한 분석이 이루어져야 하며, 합리적인 기준에 의해 최종 위치를 결정하여야 범죄예방과 해결에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 이러한 문제 인식하에 범죄발생이 많을 것으로 예측되고, 감시가 취약한 지역에 CCTV가 우선적으로 설치될 수 있도록 합리적 기준을 마련하고자 한다. 연구방법으로는 시범지역을 선정하여 범죄발생 데이터를 기반으로 실증분석을 통한 범죄취약지수와 감시취약지수를 산출하고 이를 합산하여 최종적인 CCTV 우선설치지수를 개발하고자 한다.

선행연구 검토

도시공간특성을 기반으로 CCTV 배치방안을 연구한 선행연구를 검토하였다(표 1 참조). 국내에서는 2000년대 초반부터 방범용 CCTV의 범죄예방 효과 및 범죄해결 도구로써의 유용성을 확인하면서 최근까지 효율적인 CCTV 배치방안에 대해 지속적으로 연구되어 오고 있다.

CCTV 배치방안 관련 초기 연구에서는 비교적 단순한 접근 및 분석이 이루어졌다. Kim and Park(2010)은 단독주택, 아파트, 유흥, 상점 등 도시 공간 유형별 범죄발생비율과 CCTV 감시면적을 분석하여 공간 유형별 필요 CCTV 대수를 산정하였다. 이 연구는 도시공간 유형별 CCTV 배치방안을 제시하고자 하였으나, 구체적인 설치 위치는 제시하지 못하였다는 한계점이 있다. 같은 시기 Do and Pyo(2010)는 좀 더 구체적인 수준에서 CCTV 위치 선정 프로세스를 제시했다. 보호구역과 범죄유발요인 및 범죄경로가 중첩되는 지점에 CCTV를 설치할 것으로 제안하며, 범죄 감시에 초점을 맞춘 위치 선정 프로세스를 제시하였다. 다만 기존 CCTV의 중복 감시 여부 등을 고려하지 않았다는 한계점이 있다. 이후 CCTV 위치나 속성 등의 데이터를 활용하여 CCTV의 가시권을 분석한 연구도 있다. Lee and Kang(2012)은 가로 네트워크 분석을 실시하고, 교차점별 국부통합도를 기준으로 설치 우선순위를 결정할 것을 제시하였다. 다만 방범용 CCTV 배치에 대한 연구이나, 범죄 관련 현황은 분석에 활용하지 않았다.

이에 범죄발생 현황과 CCTV 설치 현황을 종합적으로 고려하여 CCTV 배치를 결정하고자 하는 연구가 이루어졌다. 먼저, 정부 차원에서 Ministry of the Interior and Safety(2016)는 CCTV 설치지점을 선정하는 기준을 개발하고, 이를 확산하기 위해 매뉴얼화 하였다. 연구진은 그리드별 범죄취약 및 감시취약 정도를 점수화하여 CCTV 설치지수를 산출하는 방식을 제안하였다. 이 연구는 간편한 분석방법을 활용하여 여러 지자체에 적용 및 확산이 용이하다는 장점이 있다. 하지만 범죄취약지수 산출에 실제 범죄발생데이터가 아닌 민원데이터를 활용하여, 여전히 민원에 의존한 분석 결과가 나올 우려가 있다. 또한 감시취약지수 산출에 건물 등 시야가 가려지는 부분을 제외하지 않고 CCTV로부터 일정거리 내 단순 버퍼링 분석 결과를 활용함으로써, 실제 감시면적보다 과대 추정 될 우려가 있다. Choi et al.(2023)은 해당 매뉴얼을 기반으로 CCTV 우선설치 점수를 보완하고자 하였다. 범죄취약점수 산출에 생활안전 지도의 범죄주의구간 데이터를 활용하였으며, 범죄와 음의 상관관계를 가지는 시설뿐만 아니라 양의 상관관계를 가지는 시설을 함께 고려하여 환경요인점수를 산출하였다. 또한 a-Concave Hull 알고리즘을 적용하여 감시취약지수 산출 과정을 보완하였다. 이 연구에서는 CCTV 가시권 분석 과정이 보완되었지만, 데이터 구득상의 문제로 실제 범죄발생 위치, 유동인구 등의 데이터가

TABLE 1. Previous studies on CCTV placement

Case	Summary	Data	Analysis method	Unit of Analysis
Kim · Park (2010)	Analyzing crime incidence rates and CCTV coverage areas by urban space yypes to identify spaces requiring surveillance	Crime, CCTV	Coverage analysis	Spatial type
Do · Pyo (2010)	Proposal for an urban crime prevention CCTV system process facilitating crime prevention and criminal apprehension	Crime	Hot spot, Overlay	–
Lee · Kang (2012)	Research on residential CCTV placement for crime prevention using space syntax theory	CCTV	Space syntax	Point
Park · Lee (2016)	Simulation of CCTV coverage areas and identification of optimal placement points	CCTV	Coverage analysis, 3D simulation	Point
Ministry of the Interior and Safety (2016)	Development of criteria for selecting CCTV installation locations and creation of a manual for dissemination	Crime, Environment, Floating population, CCTV	Scoring, Analytic Hierarchy Process	100x100m
Arif Pribadi et al. (2017)	Development of a model for classifying CCTV types(performance) based on location conditions	Environment, Roads, CCTV	Data mining, Machine learning	Point
Eric L. Piza (2018)	Performing visibility analysis for analyzing the crime prevention effect of CCTV installation in public spaces	Crime, CCTV	Propensity score analysis	Viewshed
Xincong Yang et al. (2018)	Research on determining optimal placement(location, direction) of CCTV in construction sites	CCTV	Coverage analysis	Point
Julien Kritter et al. (2020)	Study on optimal placement of CCTV considering budget and other practical requirements	CCTV	Coverage analysis	Point
Choi et al. (2023)	Development of a priority installation index for CCTV by scoring crime, environmental, and surveillance factors	Crime, Environment, CCTV	Scoring, Analytic Hierarchy Process	100x100m

반영되지 않았다는 한계점이 있다.

비슷한 시기 CCTV 가시권을 보다 정확하게 파악하기 위한 연구가 이루어졌다. 국내에서는 Park and Lee(2016)가 CCTV 카메라 사양, 위치, 설치요인 등 촬영범위를 결정하는 요인을 도출하여 CCTV의 촬영범위를 3차원으로 시뮬레이션하고, 신규 CCTV 설치시 기존의 CCTV와 중복감시 면적을 최소화하는 위치로 최적입지를 제안하였다. 국외에서 더 많은 사례가 확인되는데, Eric L. Piza(2018)는 CCTV의 범죄예방효과를 분석하기 위해 실시간으로 촬영되는 CCTV 감시면적을 Viewshed 분석을 통해 디지털화 하였다. 이때 수작업을 통해 CCTV별 감시영역을 정밀하게 도출하였으며, 감시영역 내 범죄발생의 변화를 분석하기 위해 Viewshed를 분석단위로 활용하였다. Xincong Yang et al.(2018)은 건설 현장에서의 감시카메라 최적 배치 해결책을 마련하고자 하였다. 이때, 건설현장에서 주로 쓰이는 CCTV의 종류와 속성, 가격 등의 정보를 활용하여 최적 배치 전략을 모델링하였으며, 핵심 위치에 합리적인 해상도의 CCTV 설치가 중요함을 강조하였다.

이후 국외에서는 도시의 공간 및 환경적 특성, 실질적 제약조건 등을 고려한 배치 방안을 연구하였다. Arif Pribadi et al.(2017)은 감시 최적화를 위해 현장 상황을 고려하여 CCTV의 위치 및 성능을 결정해야 함을 주장하였다. CCTV 설치 후보지의 환경적 조건(범죄, 사고 등)과 도로 형태(직선, 교차로, 골목 등)에 따라 최적의 CCTV 유형을 예측해 주는 모형을 개발하였다. 이때 주목할 점은 범죄 발생 가능성과 골목길 여부가 CCTV 유형을 결정하는 중요한 요인으로 작용한다는 점이다. Julien Kritter et al.(2020)은 CCTV 설치 시 실질적 제약조건인

예산, 주요 지역과 법적 제한 사항 등을 고려하여 CCTV의 위치와 방향을 결정하고자 하였다. CCTV 설치 후보지를 대상으로 가시권을 분석하여, 주요 지역을 감시할 수 있는 지점을 최종 위치로 결정하였다.

선행연구 검토를 통해 데이터 구득이나 분석방법 등에서 한계점을 발견할 수 있다. 범죄 데이터는 확보가 어렵기 때문에 연구자에 따라 제외하거나 민원 데이터, 공간유형별 범죄발생비율, 범죄주의구간 데이터 등을 가공하여 대체하고 있다. 또한 CCTV 데이터는 공개 데이터로 활용이 용이하나 연구자에 따라 분석방법 및 수준에 차이가 있다. 효율적인 CCTV 배치를 위해서는 감시 사각지대 및 중복 감시영역 파악이 필수적이나, 대개의 연구에서는 CCTV 위치만을 고려하거나, 단순 버퍼링 분석만을 활용하고 있다.

이에 본 연구는 도시공간의 다양한 요인을 반영한 종합적인 분석을 진행하여, 선행연구의 한계점을 보완하고자 하였다. 범죄취약지수 산출 시 사회적 요인, 도시공간 요인, 범죄대응 요인 등 다양한 범죄발생 영향요인을 고려하고자 하였다. 또한 감시취약지수 산출 시 가시권 분석 결과를 활용하였다. 건물 등에 의한 감시 불가 면적, 근접 설치로 인한 중복 감시 면적 등 현실적인 감시 환경을 파악하고자 하였다. 또한 보다 합리적인 평가지표를 개발하기 위해 전문가 설문조사를 실시하여 범죄취약지수와 감시취약지수의 상대적 중요도(가중치)를 도출하고, 최종적인 CCTV 우선설치지수를 산출하는 정량적인 방법을 적용하였다.

연구방법 및 데이터 구축

지자체 및 경찰서에서 쉽게 활용 가능한 CCTV 우선설치지수 개발을 목표로 범죄발생이 많을 것으로 예측되고, 감시가 취약한 지역에 CCTV가 우선 설치될 수 있도록 그 기준을 마련하고자 한다. 이에 범죄취약지수와 감시취약지수로 구성된 CCTV 우선설치지수를 개발하였다. 구체적인 연구흐름은 그림 1과 같다.

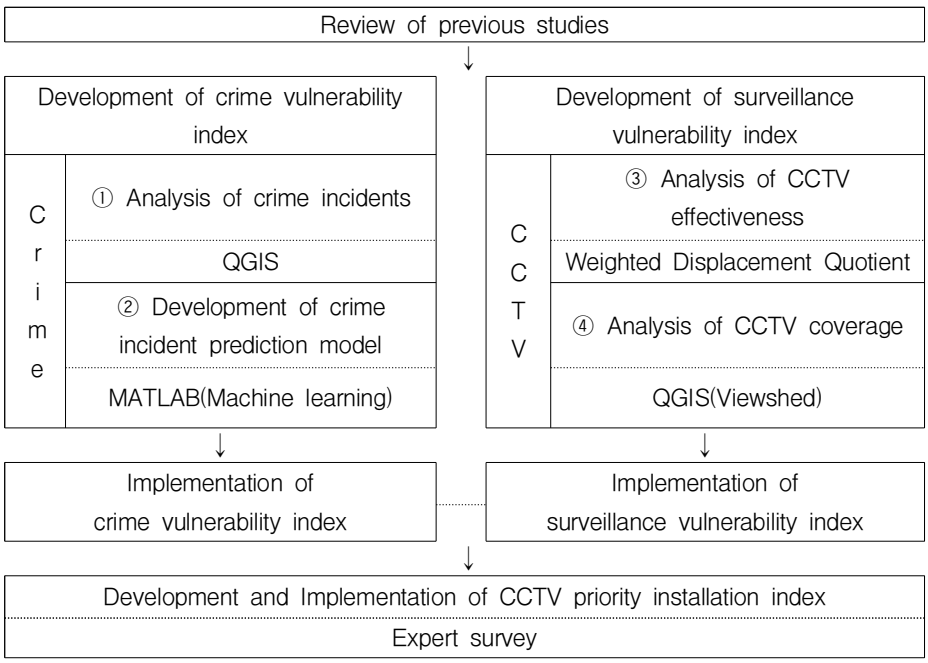

FIGURE 1. Research methodology

TABLE 2. Comparative analytical methods with previous studies

Index	Ministry of the Interior and Safety(2016)	This Study
Crime vulnerability index	Summation of crime variables(grade1crime), environmental variables(grade2env), floating population variables(grade3flow)	Prediction of crime incidents using social variables(7), Urban space variables(13), crime response variables(4)
	Crime vulnerability index =grade1crime+grade2environment +grade3flow	Crime vulnerability index : Classifying crime incident counts per grid into 10 categories
	1~10	1~10
Surveillance vulnerability index	Percentage of unmonitored area within grids(buffer analysis)	Percentage of unmonitored area within grids(Viewshed analysis)
	Surveillance vulnerability index=(1−a)*10 a=CCTV coverage area/total area	Surveillance vulnerability index=(1−a)*10 a=CCTV coverage area/total area
	1~10	1~10
Weight	Weight by grid	Weight by index(Expert survey)
	Proportion of female population=1.095 Ratio of detached housing area to total housing area=1.041 Proportion of foreign population=1.014	Weights for crime vulnerability index=0.6544 Weights for surveillance vulnerability index=0.3456
CCTV installation index	CCTVinstallation index =(Crime vulnerability index+Surveillance vulnerability index)*weights	CCTV priority installation index =(Crime vulnerability index*Weightcrime vulnerability+Surveillance vulnerability index*Weightsurveillance vulnerability)
	1~29	1~10

Ministry of the Interior and Safety (2016)의 CCTV 설치지점 선정방식을 기반으로 하되, 선행연구 검토 결과를 바탕으로 보완하여 최종적인 지수를 개발하였다(표 2 참조). 범죄취약지수와 감시취약지수로 구성하는 방식은 동일하나 산출방식을 보완하고자 하였다. 범죄취약지수는 기존보다 다양한 종류의 변수를 활용하여 범죄발생건수 예측결과를 활용하였으며, 감시취약지수는 산출식은 동일하나 CCTV 감시면적을 산출하는 방식을 달리하여 분석의 정확도를 높이고자 하였다. 단순 버퍼링 분석이 아닌 Viewshed 가시권 분석 기법을 활용하였으며, 기존의 연구에서는 격자별 가중치였지만 본 연구에서는 지수별 가중치를 적용하였다.

지수산출 및 개발을 위한 분석대상지역은 중소도시로 데이터 확보가 가능한 S시로 하되, 농지나 시가화가 되어 있지 않는 지역은 제외하고, 거주 및 유동인구가 많이 분포되어 있는 일부지역을 선정하여 진행하였다. 2018년부터 2020년까지 3년간의 범죄 자료를 활용하였으며, 범죄발생과 관련된 자료 활용의 경우 사생활 침해 및 집값 하락 등 부정적인 문제가 발생할 우려가 있기 때문에 모든 분석은 그리드 단위(100x100m)로 변환하여 진행하였다.

범죄발생 예측모델 개발을 위해 변수 선정 및 데이터 구축 과정을 거쳤다. 범죄발생 영향요인 관련 선행연구 검토 결과를 바탕으로 데이터 구득 가능성 및 중복 여부 등을 종합적으로 검토하여 본 연구에서 활용할 변수를 선정하였다. 선정된 변수는 범죄, 사회경제, 도시공간, 범죄대응 네 가지 분야, 28종으로, 5대 범죄 발생건수를 종속변수, 그 외 세 가지 분야 27종의 변수를 독립변수로 설정하였다(표 3 참조).

대부분의 데이터는 국토지리정보원의 격자별 데이터(100x100m)를 활용하였으며, 그 외 범죄대응 및 시설 데이터는 점 단위 데이터로 그리드별 점의 개수를 카운팅하였고, 도시계획 관련 데이터는 그리드별로 각 용도지역의 면적을 산출하여 활용하였다.

범죄취약지수는 그리드별 예측된 범죄발생건수를 활용하고자 하며, 감시취약지수는 그리드별 감시 불가 면적의 비율을 활용하고자 한다. 두 지수는 가중치를 반영하여 합산하며, 가중치는 전문가 설문조사 결과를 토대로 결정하였다.

TABLE 3. Variables selection

Category		Variable	Category		Variable
Crime		5 major crimes	Urban space	Land use	Residential area
Social	Population	Total population			Commercial area
		Density			Industrial area
		Growth rate			Green area
		Youth			Land use mix index
		Elderly		Facility	Accommodation
		Female			Entertainment
		Floating			Financial
		Resident		Housing	Housing area
	Economy	Housing prices			Aging housing
		Official land prices		Architecture	Building density
Crime response		Police station			Number of floors
		Fire station			Building coverage ratio
		CCTV			Floor area ratio
		Streetlights			

설문은 지역 경찰관, 업무 담당자, 교수, 연구원 등 전문가 38명을 대상으로 17점 척도로 진행하였으며, 두 지수의 상대적 중요도 평가 결과를 가중치로 활용하였다.

세부적으로 보면, 범죄취약지수는 그리드별 범죄가 많이 발생할수록 범죄에 취약한 것으로 정의하고 그리드별 범죄발생건수를 예측하여 적용하였다. 머신러닝을 통한 예측모형 개발을 위해서는 전체 데이터셋을 기계학습에 필요한 훈련용 데이터와 모형 검증을 위한 검증용 데이터로 분할하여야 한다. 이때 얼마만큼의 데이터로 학습을 시키느냐에 따라 모형의 성능이 달라지며, 전체 데이터로 학습할 경우는 정확한 예측이 가능할 수 있으나 과적합(Over fitting) 문제가 발생할 수 있다. 즉, 해당 데이터에만 적용이 가능하고, 새로운 데이터에 활용이 어려운 모형이 만들어질 수 있다. 이에 선행연구를 참고하여, 전체 데이터의 70%, 80%, 90% 비율로 랜덤하게 데이터를 분할하여 각각 학습을 진행하였다. 머신러닝을 통한 예측값은 확률 또는 단순 건수로 산출해볼 수 있다. 전자의 경우 일반적으로 분류 문제를 다룰 때 가령 위성영상 기반 토지피복분류(Moon et at., 2020) 등 각 클래스에 속할 확률을 추정하여 예측하는 경우에 많이 활용되며, 후자의 경우 회귀 문제를 다룰 때 가령 교통사고 건수(Rye et al., 2018), 경찰신고건수(Choi, 2018) 등을 예측하는 경우 연속된 값(정수 또는 실수)을 예측한다. 따라서 본 연구는 범죄발생건수 즉, 연속된 값을 예측하는 회귀문제로, 26개의 머신러닝 회귀 알고리즘으로 훈련하였다. 그 중 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Error) 값이 가장 적은 모델을 1차로 추출하였다. RMSE는 예측값과 실측값 차이의 제곱 평균 제곱근으로 모형의 정밀도를 나타낸다(식 (1) 참조).

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\Sigma(\hat{y}-y)^2}{n}} \quad (1)$$

1차로 추출된 모델에 검증용 데이터를 투입하여, 그리드별 범죄발생건수를 예측하였으며, 최종적으로 예측 대 실측치 일치율을 비교하여 최적모형을 선정하였다. 다음으로 계절(봄, 여름, 가을, 겨울) 및 시간대(오전, 오후, 야간, 심야)별 범죄 발생 건수를 예측하여, 그리드별 건수를 합산하였다. 범죄 발생 건수는 10단계로 등급화하여, 그리드별로 최소 1점부터 최대 10점을 부여하였다. 범죄 발생 건수가 많을수록 범죄취약지수가 높은 것을 의미한다.

감시취약지수는 그리드별 감시면적이 작을수록 감시에 취약한 것으로 정의하였다. 실제 CCTV의 가시권을 분석하여, 그리드별 감시 불가 면적의 비율을 산출하고 이를 활용하고자 한다. 가시권 분석을 위해서는 수치표면모델과 가시 지점 데이터가 필요하다. 먼저, 수치표면모델 생성을 위해 등고선 데이터와 건물 데이터를 활용하였다. 등고선 데이터에 TIN 보간 기능을 활용하여 수치표고모델을 생성하였으며, 건물 층수에 평균 층고 3m를 곱하여 건물 높이 속성이 추가된 래스터 데이터를 생성하였다. 수치표고모델 데이터와 건물 데이터를 합하여 수치표면모델을 생성하였다. 다음으로 CCTV 데이터의 주소지를 지오코딩하여 좌표로 변환한 후 도로교통법 규정상 일반적인 CCTV 설치 높이인 6m를 가시 지점의 높이, 일반적인 CCTV 감시 반경인 50m를 가시 반경으로 설정하여 가시 지점 데이터를 생성하였다.

다음 가시권 분석을 실시하여 CCTV 시점에서 건물과 건물에 의해 가려지는 면적 등을 제외한 가시권을 도출하였으며, 이를 식 (2)에 대입하여 감시취약지수를 산출하였다. 감시불가면적의 비율을 10단계로 등급화하여, 그리드별 최소 1점부터 최대 10점을 부여하였다. 즉, 감시불가면적이 많은 그리드는 감시취약지수가 높은 것을 의미한다.

$$1-(CCTV surveillance\ area/ \qquad (2)$$

최종적인 CCTV 설치위치 결정을 위해 1차로 그리드 단위로 CCTV 우선설치지역을 선정하고, 2차로 포인트 단위로 구체적인 CCTV 설치 위치를 제시하고자 한다. CCTV 우선설치지수가 높은 그리드가 집중된 지역을 검토하여 1차로 범죄 및 감시 취약지역을 선정하였으며, 그 중 범죄취약지수와 감시취약지수가 모두 중앙값 이상인 그리드를 최우선 설치구역을 결정하였다. 다음, 해당 그리드 내 교차로를 CCTV 설치 후보지로 두고, 가시권을 분석하여, 중복감시 면적 최소화, 총 감시 면적 최대화 지점을 최종적인 설치 위치로 결정하였다.

CCTV 우선설치지수개발 및 시범적용

1. 범죄 발생 및 CCTV 설치 현황

연구 대상지는 S시의 대표적인 범죄 발생 핫스팟 지역이다. 그림 2에서 좌측 맵은 S시 범죄 발생 핫스팟 분석 결과로, 아래의 핫스팟 지역이 본 연구의 연구 대상지이다. 우측 맵을 통해 연구 대상지의 범죄 발생 및 CCTV 설치 현황

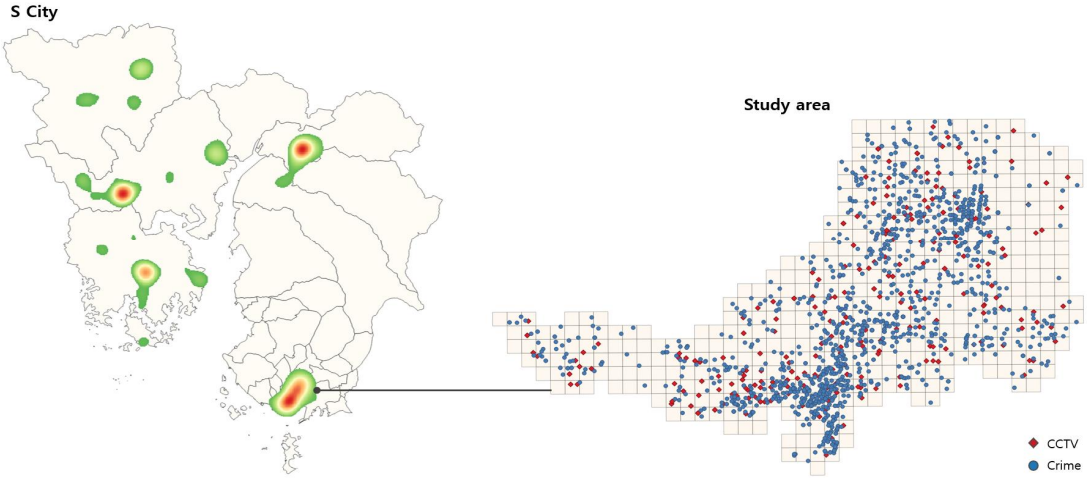

FIGURE 2. Crime incidence and CCTV installation status in the research area

TABLE 4. Regression analysis results

R-squared	Adjusted R-squared	Durbin-Watson	F	p
0.477	0.457	1.604	23.566	0.000

TABLE 5. Criteria for selecting optimal machine learning algorithms

Index	70:30 Bagging Tree	80:20 Bagging Tree	90:10 Bagging Tree
RMSE	0.65214	0.62287	0.63292
Accuracy of Prediction vs. Actuals(%)	81.21	78.81	80.25

을 살펴보면, 2018년부터 2020년까지 3년간의 총 2,264건의 범죄가 발생하였으며, CCTV는 총 500대가 설치되어 있다. 동일 기간 S시 전체의 범죄 발생 건수는 5,247건으로, S시 범죄의 약 43.15%가 연구 대상지에서 발생하고 있으며, 상업지역을 중심으로 많은 범죄가 발생하고 있다. 또한 S시 전체에 설치되어 있는 CCTV는 총 2,506대로, 약 20%가 연구 대상지에 설치되어 있다.

그림 2의 우측맵을 통해 S시에 설치되어 있는 CCTV 반경 50m 동심원 내 범죄 발생 현황을 살펴보았을 때, 최근 5년간 주변에 범죄발생이 없는 위치에 설치된 CCTV가 1,021대로 40% 이상을 차지한다. 즉 연구 대상지의 경우 거시적인 관점에서는 범죄 다발 지역을 중심으로 CCTV가 설치되어 있으나, CCTV 가시거리 및 식별 가능거리 등을 고려하여 마이크로하게 살펴볼 경우, CCTV 위치 수정 및 보완, 추가 설치가 필요한 상황으로 판단된다. 이에 앞서 정립한 새로운 방식으로 CCTV 최적 위치를 분석하고자 한다.

2. 범죄취약지수 산출

1) 범죄영향요인 분석

선행연구를 검토하여 1차로 추출한 총 28개의 변수 중 범죄발생에 영향을 미치는 변수를 선정하기 위해 SPSS 소프트웨어를 활용하여 회귀분석을 실시하였다. 이 과정에서 다중공선성이 존재하는 사회경제 분야 3개 변수(총인구, 인구밀도, 노령인구), 도시공간 분야 1개 변수(주택면적) 총 네 가지 변수를 제외하고, 최종적으로 24개의 독립변수로 회귀분석을 재실시한 결과를 요약하면 표 4와 같다. R 제곱 값이 0.477으로, 독립변수가 종속변수를 47.4% 설명

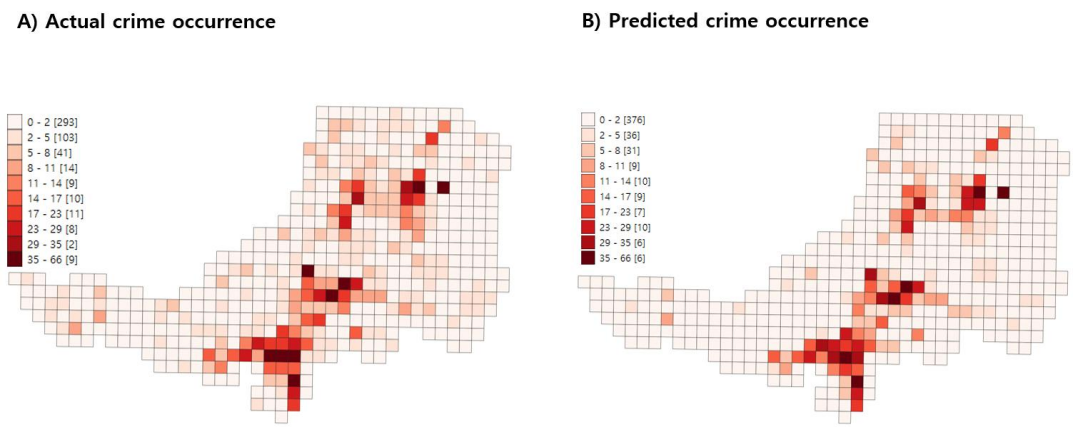

FIGURE 3. Actual crime incidence status and predicted crime incidence Results

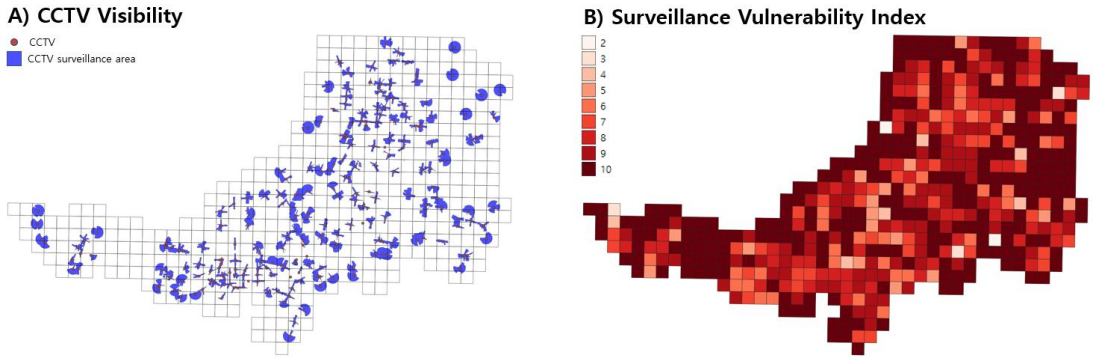

FIGURE 4. CCTV coverage area

하고 있다. 잔차의 자기상관을 검증할 수 있는 Durbin-Watson 값이 1.604로, 자기상관 없이 독립성 가정도 충족하고 있다. 또한 유의확률 p 값이 0.05 이하로 통계적으로 유의한 모형으로 판단된다. 이상의 분석 결과를 바탕으로 최종적으로 24개의 변수를 머신러닝 알고리즘에 투입하였다.

2) 범죄 발생 예측

세 가지 비율의 훈련용 데이터 각각을 27개의 머신러닝 알고리즘으로 학습한 결과, RMSE 값이 최소인 알고리즘은 모두 앙상블 배깅트리(Bagging Tree)로 나타났다(표 5 참조). 여기서 RMSE이나 예측값 대 실측값이 모두 1순위인 모형은 없었기 때문에 두 값 모두 중간 순위를 가지는 전체 데이터의 90%의 데이터로 학습된 배깅트리 모형을 최적 모형으로 선정하였다.

모형을 활용한 범죄 발생 건수 예측 결과는 그림 3과 같다. 좌측 A)는 실제 범죄 발생 현황, 우측 B)는 모형을 통해 예측한 범죄 발생을 나타낸다. 예측 결과, 실제 범죄 발생 건수보다 예측된 범죄 발생 건수가 적은 경향이 있다. 하지만 범죄 발생 핫스팟의 공간적 분포 등은 동일하게 도출되어, 범죄발생 현황을 적절히 반영하는 모형이 구축된 것으로 판단된다.

이상으로 예측된 범죄 발생 건수를 10개 구간으로 카테고리화하여 범죄취약지수를 점수화하였다. 범죄 발생 건수는 고르지 않기 때문에, 최솟값 및 최댓값, 평균값 및 중간값, 사분위 수 등 기초통계량을 바탕으로 적절히 구간화하였다. 범죄 발생 건수가 2건 이하인 그리드가 약 75%(376개)이며, 18건 이상인 그리드는 약 6%(29개)를 차지한다. 따라서 6점까지는 3건 단위, 7~10점은 6건 단위로 점수를 부여하였다.

3. 감시취약지수 산출

가시권 분석 이전에 CCTV 유효성 검증을 위해 본 연구진이 수행했던 연구(Kim et al., 2023)에서 동일한 S시를 대상으로 CCTV 범죄예방효과를 분석한 결과를 살펴보면 다음과 같다. WDQ(Weighted Displacement Quotient)를 활용하여 범죄전이효과와 범죄통제이익확산효과를 측정하였는데, 전이지역에서 범죄통제이익 확산효과가 나타난 경우(WDQ>0)가 146개 케이스(53.09%), 범죄전이효과가 나타난 경우(WDQ<0)가 38개 케이스(13.82%)로 나타나, 설치장소와 동시에 인근지역 범죄발생까지 감소시키는 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉 CCTV는 범죄예방에 긍정적인 역할을 하는 것으로 나타났다. 따라서, CCTV의 설치 장소, 감시영역은 방범용 CCTV의 설치 위치를 결정하는 중요한 기준으로 고려되어야 한다.

가시권 분석 결과는 그림 4와 같다. A)는 CCTV의 감시면적, B)는 감시취약지수 산출 결과를 나타낸다. 대부분의 그리드에서 감시취약지수가 높게 나타났으나 이 중 일부는 자연녹지지역이며 논으로 활용되고 있거나 준공업지역

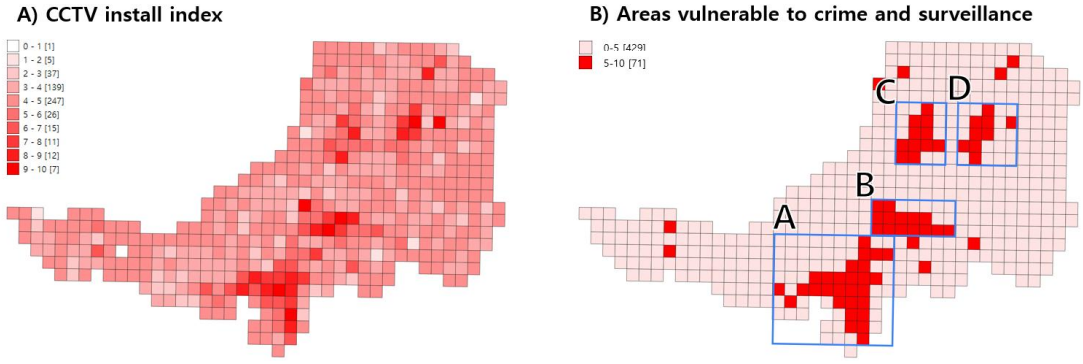

FIGURE 5. Calculation results of CCTV priority installation index

용도로 활용되고 있어 CCTV 설치 요구가 낮은 지역이다. CCTV 설치는 전지역을 대상으로 이루어질 수 없으며, 범죄 다발 지역 등 우선순위를 결정하여 설치 위치를 결정하는 것이 효율적일 것이다. 따라서 범죄취약지수와 감시취약지수를 중첩하여 CCTV 설치 우선지역을 결정하고자 하였다.

4. CCTV 우선설치지수 개발

범죄 발생이 많은 것으로 예측되나 감시가 충분히 이루어지지 않는 지역을 추출하기 위해서 범죄취약지수와 감시취약지수를 합산하여 CCTV 우선설치지수를 도출하였다. 이때 전문가 설문조사 결과를 바탕으로 두 지수에 가중치를 부여하여 최종적인 CCTV 우선설치지수를 산출하였다. 설문 결과, CCTV 우선 설치지역 결정 시 범죄가 많이 일어나는 곳이 감시가 잘 안 되는 곳보다 상대적으로 우선하여 고려되어야 한다는 결과가 도출되었다. 범죄취약지수(CVI, Crime Vulnerability Index)와 감시취약지수(SVI, Surveillance Vunerability Index)의 가중치는 각각 0.6744, 0.3256으로, CCTV 우선설치지수(PII, Priority Installation Index) 산식은 식 (3)과 같이 정식화하였다. CCTV 우선설치지수는 최소 1점 최대 10점을 가지는 것으로 하였다.

$$PII = CVI \times 0.6544 + SVI \times 0.3456 \qquad (3)$$

식 3을 적용하여, CCTV 우선설치지수를 산출하였으며, 그 결과는 그림 5의 A)와 같다. 다음으로 CCTV 우선설치지수가 중간값(5점) 이상인 그리드가 집중된 구역을 검토하여, 1차로

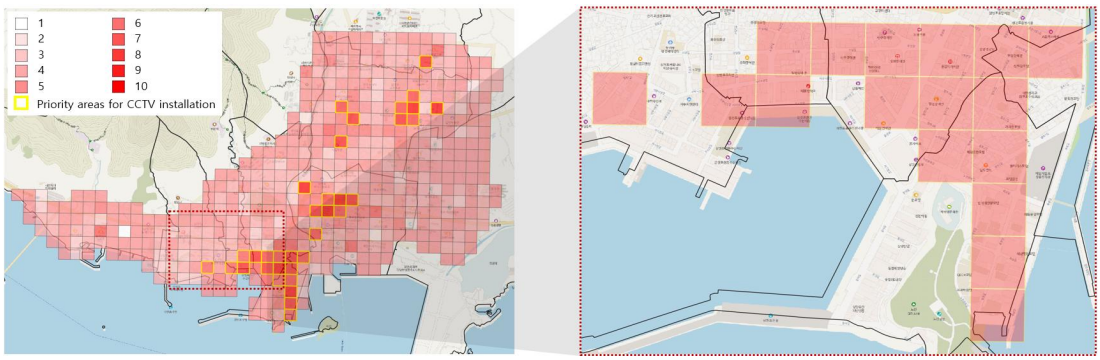

FIGURE 6. Priority areas for CCTV installation

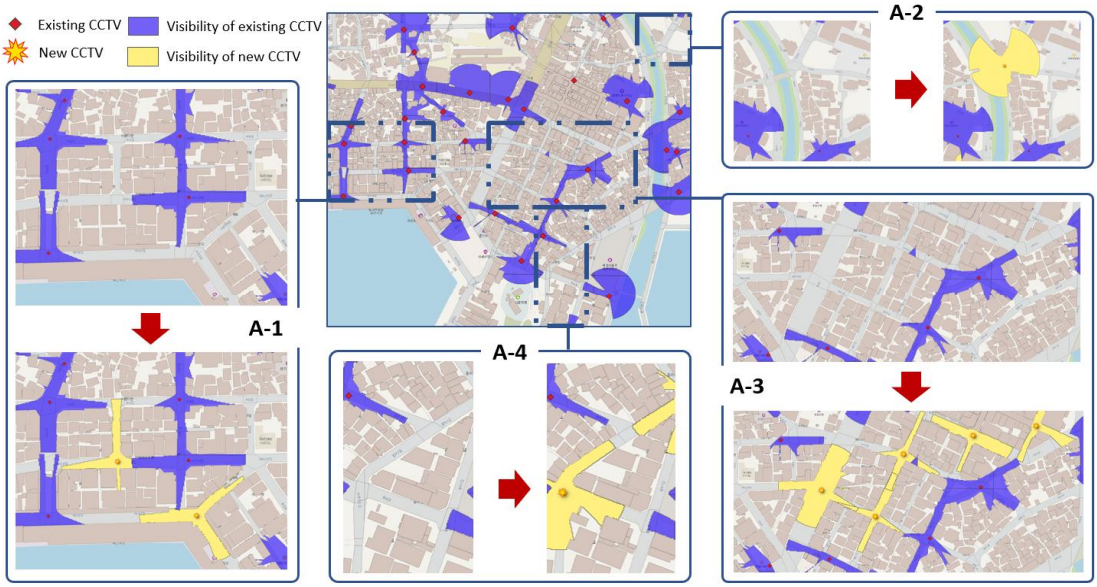

FIGURE 7. Location of new CCTV and surveillance areas

범죄 및 감시 취약지역을 선정하였다. 그림 5의 B)는 그 결과를 나타내며, 연구 대상지에는 총 4개의 범죄 및 감시 취약지구가 확인된다.

다음으로 범죄 및 감시 취약지구 중 범죄취약지수와 감시취약지수가 모두 중앙값 이상인 그리드를 검토하였다. 그 결과, CCTV 설치 최우선 구역은 35곳이다. 구체적으로는 그림 5의 A지역에 18개, B지역에 7개, C지역에 3개, D지역에 6개의 그리드가 CCTV 설치 최우선 구역으로 분석되었다(그림 6 참조).

CCTV 설치 최우선 구역이 12개로 가장 밀집되어 있는 A지구를 대상으로 CCTV 위치 결정 프로세스를 진행하였다. 현재 A지구 CCTV 설치 최우선 구역에는 총 10개의 CCTV가 설치되어 있으나 도로 면적 대비 감시면적은 43.25%로 미흡한 편이다.

교차로를 중심으로 CCTV 신규 설치 후보지를 생성하고, 기존 CCTV에 후보지별 CCTV를 더하여 가시권 분석을 진행하였다. 후보지 중 기존의 CCTV와 중복 감시를 최소화하면서 총 감시면적을 최대화할 수 있는 지점을 탐색하였다. 그 결과 A지구 CCTV 설치 최우선 구역에는 총 10개의 CCTV 추가 설치될 경우 감시가 원활히 이루어질 것으로 분석된다(그림 7 참조). 추가 설치시 그리드별 감시면적이 기존에 비해 평균 2배 가량 증가하여, 도로 면적 대비 감시면적 평균 83.73%에 달하여 효율성을 최대화할 수 있다.

결 론

CCTV는 국내외 대표적인 범죄예방 및 사후처리 수단으로 활용되고 있으며 지능형 CCTV 개발 등 기기 자체의 성능을 향상시키려는 시도가 이루어지고 있으나, 근본적으로 위치 결정에 대한 연구는 부족한 상황이다. 제한된 예산으로 범죄예방효과를 극대화하기 위해서는 도시의 사회적, 공간적 환경을 고려한 CCTV 설치위치 결정이 필요하다.

본 연구는 도시공간빅데이터 기반의 과학적 입지 결정 프로세스를 마련하기 위해 Ministry of the Interior and Safety(2016)의 범죄 및 취약지수 개념을 기반으로, CCTV 우선설치지수를 업그레이드하였다. 범죄 및 CCTV 자료, 다양한 도시 공간 자료를 활용하여 공간분석, 통계

분석기법 등을 기반으로 한 다층적 분석을 진행하였다. 먼저 사회 및 공간 환경을 반영한 도시공간빅데이터를 변수로 구축하여 머신러닝 방식으로 범죄발생건수를 예측하였으며, 이를 바탕으로 도시공간 특성 및 범죄다발지역의 위치가 반영된 범죄취약지수를 개발하였다. 또한 Viewshed 기능을 활용하여 감시 가능지역 및 감시 불가지역이 정확하게 파악 가능한 감시취약지수를 개발하였다. 최종적으로는 전문가 설문조사 결과를 바탕으로 결정된 두 지수의 가중치를 반영하여 보다 합리적인 지표를 개발하였다.

또한 개발한 CCTV 우선설치지수를 사례지역에 시범적용하여 해당 지수의 적용 가능성을 타진하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, CCTV 가시권 분석에 Viewshed 기능을 활용함으로써 버퍼 기능 활용 시 감시면적이 실제 감시면적보다 과대 추정되었던 문제를 해결할 수 있었다. 실제 사례 지역의 상업지역은 건물밀도가 높아 감시 가능영역이 적지만 버퍼링 기능으로 가시권을 분석할 경우, 건축공간까지 모두 감시가능영역으로 포함되어 분석의 정확성이 저하될 수 있다. 하지만 Viewshed 기능으로 가시권을 분석할 경우, 지형, 건물의 높이 등을 고려하여 감시영역을 보다 정확하게 파악할 수 있다. 둘째, CCTV 우선설치지수를 적용하여 설치 위치를 결정할 경우, 감시면적을 효율적으로 개선 가능하다. 사례지역에서 CCTV 설치 최우선 구역으로 선정된 구역은 30ha 정도의 규모이며, 14대의 CCTV가 설치되어 있으나, 도로면적 대비 감시면적은 43.25%로 미흡한 상황이다. 하지만 본 연구의 CCTV 위치 결정 프로세스에 따라 신규 CCTV 10대를 추가 설치할 경우, 도로면적 대비 감시면적은 83.73%로 증가하였다. 따라서, CCTV 우선설치지수는 스마트안전도시 조성을 위한 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것이다.

이상으로 본 연구는 범죄취약지수 및 감시취약지수를 산출하여 CCTV 우선설치지수를 개발하였다. CCTV 우선설치지수는 CCTV 최적 입지 결정을 위한 지표로 활용될 수 있을 것이며, 범죄 및 감시 취약지역 분석 결과는 경찰의 순찰 경로 개선 등에 활용될 수 있을 것이다. 또한 범죄발생 지역 및 해당 지역의 공간적 특성 파악은 시민들의 안전한 생활을 위한 효과적인 도시설계 방법 마련에 활용 가능할 것이다.

다만 본 연구에서 개발한 지표를 범용적으로 활용하기 위해서는 범죄취약지수 산출 과정에서 범죄발생예측 모델의 일반화 성능을 향상시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 S시 데이터만을 활용하여 해당 지역의 범죄발생 및 공간적 특성을 잘 학습할 수 있는 모델을 구축하였으나 해당 모델을 전국적으로 확대 적용하기 위해서는 다른 지역의 데이터도 적절히 추가 투입하여 모델을 구축하여야 할 것이다. 또한 해당 지수를 적용하여 CCTV 입지를 결정할 경우의 감시 개선 정도에 대한 추가적인 검증이 필요하다. 본 연구에서는 사례지역에서 범죄 및 감시가 취약하여 감시 환경 개선이 시급하다고 판단되는 일부 지역만을 대상으로 CCTV 설치 위치 결정 프로세스를 진행해보았으나, 사례지역 전체에 해당 프로세스를 적용하여 감시 효율이 일반적으로 어느정도 개선되는지 해당 지표의 활용성에 대한 추가 검토가 필요하다. KAGIS

REFERENCES

Arif Pribadi , Fachrul Kurniawan, Mochamad Hariadi, Supeno Mardi Susiki Nugroho. 2017. Urban Distribution CCTV for Smart City Using Decision Tree Methods. Intelligent Technology and Its Applications. 21-24.

Choi, J.H., OK, S.Y. and Y.J. Park. 2023. Recommendation of CCTV Priority Installation Areas Using Visible Area and Public Data. JOURNAL OF KOREA MULTIMEDIA SOCIETY 26(2):157-165 (최재혁, 옥수열, 박영진. 2023. 공공데이터와 CCTV 가시영역을 활용한 CCTV 우선 설치구역 추천. 한국멀티미디어학회. 26(2): 157-165).

Choi, J.H. 2018. The Data-based Prediction of Police Calls Using Machine Learning.. The Korea Journal of BigData 3(2):101-112 (최재훈. 2018. 기계학습을 활용한 데이터 기반 경찰신고건수 예측. 한국빅데이터학회. 3(2):101-112).

https://www.comparitech.com/vpn-privacy/the-worlds-most-surveilled-cities/. (Accessed march 4, 2024) Comparitech. 2021. Surveillance camera statistics: which cities have the most CCTV camera?

Do, I.R. and C.W. Pyo. 2010. The Developmental Research for 'A Model of CCTV System for City Crime Prevention' with CPTED Principle and GIS Application. Journal of Community Safety and Security by Environmental Design 1(1):85-102 (도인록, 표창원. 2010. CPTED 원리 기반, GIS활용 '도시범죄예방 CCTV 시스템' 구축 모델 개발 연구. 한국셉테드학회 1(1):85-102).

Eric, L. Piza. 2018. The crime prevention effect of CCTV in public places: a propensity score analysis. Journal of Crime and Justice. 41(1):14-30.

Julien Kritter, Mathieu Brevilliers, Julien Lepagnot, Lhassane Idoumghar. 2020. On the use of human-assisted optimisation for the optimal camera placement problem and the surveillance of urban events. Decision and Information Technologies. 1000-1005.

Kwak, M.S., Kwon, J.J. and H.G. Sung. 2017. Impact of Urban Physical Environment on Crime Incidence by its type and time. Journal of Korea Planning Association 52(4):225-236 (곽명신, 권정주, 성현곤. 2017. 도시의 물리적환경이 범죄유형별 발생 시점별 범죄발생에 미치는 영향. 대한국토도시계획학회 52(4):225-236).

Kim, D.M. and J.K. Park. 2010. A Selection of Artificial Surveillance Zone through the Spatial Features Analysis of Crime Occurrence Place. Spatial Information Research 18(3):83-90 (김동문, 박재국. 2010. 범죄발생지점의 공간적 특성분석을 통한 인위적 감시지역의 선정. 대한공간정보학회 18(3):83-90).

Kim, H.L., Heo. S.Y. and T.H. Moon. 2023. Analysis of Crime Prevention Effects of CCTV Installation. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 26(4):188-199 (김혜림, 허선영, 문태헌. 2023. CCTV 설치로 인한 도시공간 범죄예방효과 분석. 한국지리정보학회 26(4):188-199).

Lee, S.J. 2016. A study on quantitative evaluation on surveillance performance by arrangement of CCTV cameras in an underground parking lot. M.S. Thesis, Univ. of SUNGKYUNKWAN, Seoul, Korea. pp.1-131 (이상조. 2016. 지하주차장 CCTV 카메라 설치방법에 따른 정량적 감시성능 평가에 관한 연구. 성균관대학교 대학원 석사학위논문. 1-131).

Lee, S.J. and S.J. Kang. 2012. A Study on the Methodology of Positioning Security CCTV Cameras in Urban Residential District through Using Space Syntas. Journal of the Architectural Institute of Korea 28(9):55-62 (이승재, 강석진. 2012. 공간구문론을 이용한 도시 주거지 방범용 CCTV 배치 방법에 관한 연구. 대한건축학회 28(9):55-62).

Lee, J.Y. K. Kim. 2014. Building Urban Safety Networks Considering the Spatial Characteristics of Crime Incidents. KRIHS POLICY BRIEF 468:1-6 (이재용, 김걸.

2014. 범죄발생의 공간특성을 고려한 도시안전망 구축방안. 국토정책 Brief 468:1-6).

Ministry of the Interior and Safety, National Information Society Agency. 2016. Manual for Standard Analysis Models of Public Big Data in the CCTV Field. p.1-122 (행정안전부, 한국정보화진흥원. 2016. 공공빅데이터 표준분석모델 매뉴얼 CCTV 분야. 1-122쪽).

Moon, G.S., Kim, K.S. and Y.J. Choung. 2020. Land Cover Classification Based on High Resolution KOMPSAT-3 Statellite Imagery Using Deep Neural Network Model. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 23(3): 252-262 (문갑수, 김경섭, 정윤재. 2020. 심층신경망 모델을 이용한 고해상도 KOMPSAT-3 위성영상 기반 토지피복분류. 한국지리정보학회 23(3):252-262).

Moon, Y.S. 2017. A Study on the Installation of CCTV for Crime Prevention-Focused on Busan Metropolitan City. The Korean Journal of Local Government Studies 20(4):115-140 (문유석. 2017. 방범용 CCTV 설치 방안에 관한 연구: 부산시를 중심으로. 지방정부연구 20(4):115-140).

Park. J.W. and S.H. Lee, 2016. Optimal Location Allocation of CCTV Using 3D Simulation. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 19(4):92-105 (박정우, 이성호. 2016. 3차원 시뮬레이션을 활용한 CCTV 최적 입지선정. 한국지리정보학회 19(4):92-105).

Rye, J.D., Park, S.M., Park, S.H., Kwon, C.W. and I.S. Yun, 2018. A Study for Development of Expressway Traffic Accident Prediction Model Using Deep Learning. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems 17(4):14-25 (류종득, 박상민, 박성호, 권철우, 윤일수. 2018. 딥 러닝을 이용한 고속도로 교통사고 건수 예측모형 개발에 관한 연구. 한국ITS학회 7(4):14-25).

https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2855. (Accessed march 12, 2014) Statistics. 2022. Installation and Operation of CCTV in Public Institutions.

Xincong, Yang., Heng, Li., Ting, Huang., Ximei, Zhai. and Wang, Fenglai. 2018. Computer-Aided Optimization of Surveillance Cameras Placement on Construction Sites. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 33:1110-1126.