

공공 CCTV의 공간 분포 특성과 가시 커버리지에 기반한 최적 입지

이건학*

The Characteristics of Spatial Distribution and Visible Coverage based Optimal Locations of Public CCTVs

Gunhak Lee*

요약 : 본 연구는 방법, 교통 관리, 시설 관리, 재해재난 모니터링 등 다양한 공공 목적에 폭넓게 활용되고 있는 공공 CCTV의 효율적인 배치에 대해 논의하고 있다. 최근 많은 지자체들이 지역의 공공 감시 시스템을 구축하기 위해 공공 CCTV 설치를 점차 확대하고 있지만, CCTV의 제한된 지리적 커버리지와 비싼 설치 비용으로 인해 계획적 측면에서 보다 효율적인 CCTV 설치에 대한 고민이 필요한 시점이다. 특히, 포괄적인 공공 목적에 부합하는 실제 수요를 만족시킬 수 있는 CCTV 공간 입지는 공공 감시 시스템의 성공을 위한 매우 중요한 의사 결정이다. 이러한 맥락에서 본 연구는 전국 공공 CCTV의 공간 분포 특성을 살펴보고, 대구광역시를 사례로 공공 CCTV의 실제 수요를 고려한 최적 입지 대안들을 실증적으로 보여주고자 한다. 이를 위해 이동통신 데이터에 기반한 시간대별 현주인구를 공공 CCTV의 잠재적 수요로 이용하였고, 도시 경관의 입체기하학적 특성을 고려하여 CCTV의 가시 커버리지를 극대화하는 공간 최적화 모델을 적용하였다. 최적화 수행 결과, 각 시간대별로 CCTV 설치 개수에 따라 최대 수요를 커버하는 CCTV 최적 입지안을 도출하였다. 각 시간대별 최적해는 해당 시간대별 수요 분포가 집중하는 곳을 중심으로 입지하고 있으며 모든 시간대에서 공통적으로 선택된 핵심 지점들이 도출되었다. 본 연구는 공공 CCTV의 공간 분포 특성을 이해하는데 도움을 줄 것으로 기대하며, 도시 내 범용적 감시 시스템을 구축하고자 하는 지자체에게 매우 유용한 방법론적 가이드라인을 제공해줄 수 있을 것이다.

주요어 : 공공 CCTV, 가시성 분석, 공간 최적화, 커버리지 모델, 현주인구(현재인구), GIS

Abstract : This research addresses an efficient placement of public CCTVs which have been broadly used for various public purposes such as social security, traffic management, facility management, and natural disaster monitoring. Although many local governments are expanding the equipment of public CCTVs to build their own public surveillance system, from a planning perspective, more efficient deployment of CCTVs is necessary due to the limited geographic coverage and high installation cost of the CCTV. In particular, decisions on spatial locations of CCTVs that meet actual demand for comprehensive purposes are key to the success of public surveillance systems. In this regard, this study looks over characteristics of spatial distributions of public CCTVs nationwide and attempts to suggest optimal locations of public CCTVs in Daegu metropolitan area by taking into account actual demands. To do this, we utilized de facto populations with different time periods based on mobile telecommunication data as potential demands for the public CCTV. Also, spatial optimization models maximizing visible coverages of CCTVs were applied by considering solid geometric characteristics of urban landscape. As a result of the optimization, we presented the optimal solutions of CCTVs for each time period such that maximize the visible coverage of demands given the number of CCTVs required. Optimal sites are usually located at highly densified areas of de facto population for each

이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2015S1A5A8011620)

* 서울대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Seoul National University), gunhlee@snu.ac.kr

time period and more critical locations selected in every time period are also found. This study is expected to help understand spatial characteristics of existing public CCTVs and to provide a useful methodological guideline for local governments that wish to establish a multi-purpose public surveillance system in an urban area.

Key Words : public CCTV, visibility analysis, spatial optimization, coverage model, de facto population, GIS

1. 문제 제기 및 연구 목적

최근 도시 내 주거지역, 상업지역 등 주요 인구 밀집지역이나 활동 지역에 방범용 공공 CCTV의 설치와 활용이 크게 증가하고 있다. 우리나라의 경우 2002년 서울시 강남구를 시작으로 2015년 기준 34만 여개의 방범용 공공 CCTV가 전국에 설치되어 있다. 미국, 영국과 같은 해외 선진국 역시 CCTV의 설치가 지속적으로 증가하는 추세이다(USA Today, 2007). 이는 사생활 침해나 인권 등 사회적 논란이 될 수 있는 감시 카메라의 부정적 기능에도 불구하고 세계적으로 증가하고 있는 국지적 테러와 범죄사회적 감시 장치로서의 효용성이 보다 인정받고 있기 때문이다. 특히, 범죄를 유발시킬 수 있는 주변의 물리적 환경이나 상황을 개선함으로써 범죄의 기회를 줄일 수 있다는 환경범죄학(environmental criminology)이나 상황적 범죄 예방 이론(situational crime prevention theory)은 CCTV와 같은 방범 및 감시 모니터링을 위한 인위적 감시 도시의 확대를 이론적으로 지지해 주고 있다. 대개 범죄는 임의적이지 않고 특정 지역에 집중하여 발생하는 특성이 있는데 범죄의 이러한 공간 패턴은 범죄자의 개인 특성보다 지역의 인구, 사회, 경제적 환경이나 공간 특성에 크게 영향을 받을 수 있기 때문이다(이건학 등, 2016). 실제로 CCTV와 같은 감시 시스템은 범죄에 대한 수사 및 사후 검거의 근거 자료로 활용되거나, 부족한 경찰력을 보충하면서 범죄자로 하여금 감시 시스템이 작동하고 있음을 인식시켜 범죄 행위를 위축시키거나 기회를 감소시키는 효과가 있다고 알려져 있다(곽봉금, 2005; 이상원, 2009; 이승재·강석진, 2012; Brown, 1995; Short and Ditton, 1995; Skinn, 1998).

효과적인 범죄 감시 도구로써 CCTV의 주된 활용은 최근 들어 교통 관리, 시설 관리, 재난 모니터링, 일상 생활 모니터링 등 보다 다양한 공공 영역으로 확대되고 있다(Harris et al., 1998). 실제로 많은 지자체가 공공 CCTV를 지역 관리를 위한 주요 자원 요소로 인식하고 있으며, 더불어 공공 감시 네트워크 구축을 위한 지역 예산을 확충하거나 추가 배치 계획을 추진 중에 있다(연합뉴스, 2018; 뉴스1, 2018). 하지만 대부분의 감시 카메라 센서는 제한된 감시 영역을 가지고 있고 대체로 짧은 거리에서만 사물과 사람을 식별할 수 있기 때문에 CCTV 네트워크를 통해서 특정 지역을 모두 커버하기 위해서는 고비용의 예산이 요구된다. 하지만 지자체의 비용적 부담에도 불구하고 이러한 감시 도구의 효율적 배치에 대한 고민은 매우 미비한 실정이다. 감시 센서의 제한적인 시각적 식별 기능과 지자체의 제한된 인프라 예산을 고려할 때, 실제적인 수요를 가장 효과적으로 만족시킬 수 있는 입지 결정은 CCTV를 통한 공공 감시 시스템 운영에 있어 매우 중요한 의사결정이 될 수 있다. 예컨대, 특정 지역에 동일한 개수의 CCTV가 설치되어 있다 하더라도 이들의 입지에 따라 효용성이 다를 수 있으며(허선영·문태현, 2015), CCTV 목적에 따라서도 수요 대상이 달라 동일한 공간 배치라 하더라도 실효성이 다르며(Hörster and Lienhart, 2006), 감시 기능의 강화나 네트워크 안정성을 위한 인위적 중복 배치 등이 고려될 수도 있다(Murray et al., 2007). CCTV 설치와 관련하여 지자체마다 별도의 운영 지침이나 규정이 마련되어 있기도 하지만 대체로 CCTV의 입지적 기준과 관련한 배치 방법에 대해서는 명확한 가이드라인이 없는 실정이다. 대개 기존의 범죄 데이터의 분석이나 전문가의 의견, 지역 주민의 요청에 따라 무계획적으로 설치되는 경우가 많아 CCTV 입지를 체

계적으로 평가하는 경우가 많지 않다(이승재·강석진, 2012; 이민정·김영호, 2013). 다행히 최근 CCTV의 효율적 공간 배치에 관한 여러 공간 분석적 연구들이 조금씩 수행되고 있으며, GIS, 공간 통계, 공간 최적화 등 다양한 공간 분석 기법을 활용하여 CCTV 배치에 대해 논의하고 있다. 하지만 이러한 연구들은 범죄 감시를 위한 방법용 CCTV에 초점을 맞추어 기존 범죄 자료를 토대로 범죄 핫스팟이나 범죄 취약 지역에 대한 보완적 배치에만 집중하고 있다. 나아가 다양한 CCTV 제원이나 많은 고층 건물이 분포하는 도시경관에 따른 가시 영역의 제한 등 CCTV의 실제 가시성(visibility)에 대한 기술 및 환경적 특성은 반영하지 못하고 있다. 따라서 최근 지역 시설과 치안 환경 관리 도구로서의 CCTV의 폭넓은 활용성을 감안하면, 보다 포괄적인 공공 서비스의 잠재적 수요를 고려할 필요가 있으며, CCTV의 가시성에 직접 영향을 미칠 수 있는 도시 환경 요인을 고려한 실제적인 입지 대안을 도출해야 할 것이다.

이러한 맥락에서 본 연구는 다양한 목적의 공공 CCTV에 적합한 실제 수요를 고려하여 가시성에 기반한 최적화된 CCTV 입지 대안을 보여주고자 한다. 이를 위해 먼저 기존에 구축되어 있는 CCTV의 공간 분포 특성을 살펴보고, 이후 GIS 가시성 분석(visibility analysis)과 공간 최적화(spatial optimization) 방법을 이용하여 사례 지역에 가장 효율적인 CCTV 입지 대안을 제시할 것이다.

2. 관련 연구 동향

CCTV와 관련한 기존의 연구들은 대체로 CCTV 설치와 관련한 당위성이나 효용성, 활용 방안 등에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 실제 입지와 공간 분포에 대한 실증적 연구는 그리 많지 않다. 2010년대 이후에서야 CCTV 도입이 확대되면서 입지와 공간 분포에 관한 일부 연구들이 소개되고 있다. CCTV 입지에 관한 국내 연구들은 크게 CCTV의 공간 분포에 대한 분석과 효율적 배치에 대한 연구로 진행되고 있다.

CCTV 공간 분포에 대한 연구로 먼저 이민정·김영호(2013)는 방법용 CCTV가 양적으로 증가하고 있지만, 설치 지역의 특성을 고려한 미시적 연구는 부족하다고 지적하면서 지역의 인문·사회·환경적 특성에 따라 방법용 CCTV 분포가 유의미한 차이가 있음을 보여주고 있다. 허선영·문태현(2015) 역시 사례 지역에 설치된 CCTV의 분포를 범죄 발생과 연관시켜 분석함으로써 범죄 취약 지역과 CCTV 위치와의 공간적 불일치가 있음을 보여주고 있다. 이와 유사하게 장환영 등(2014)은 범죄 취약 지역과 도시민의 일상활동패턴에 따른 인구 집중 지역의 분포에 초점을 맞춰 CCTV 입지의 문제점과 개선 방안을 제시하고 있다. 이들 연구는 특히 이동통신 데이터를 사용함으로써 사람들의 거주와 일상활동 분포를 CCTV 입지에 고려하고 있다는 점에서 주목할 만하다.

한편, CCTV의 실제 공간 배치에 관한 연구들은 대개 범죄 예방과 감시를 위한 목적으로 범죄 데이터에 기반하여 범죄 다발 지역이나 취약 지역에 대한 감시 환경 개선에 초점을 맞추고 있다. 예를 들어, 김동문·박재국(2010)은 범죄 통계와 GIS를 접목하여 범죄 취약 지역을 도출하고, 이를 감시하기 위한 CCTV의 적절한 설치 대수를 제시하고 있다. 범죄 발생 자료에 근거하여 범죄 취약지를 살펴보고, CCTV 커버리지 분석을 통해 감시가 필요한 공간과 필요한 CCTV의 개수를 정량적으로 제시하고 있다는 점에서 의의가 있지만 CCTV의 구체적인 입지에 대한 논의가 없다는 점에서 한계를 가진다. 이와 유사하게 최재필 등(2006)은 범죄 발생률과 주변 공간 환경과의 상관성 분석을 토대로 장소 특성에 따라 차등화된 CCTV의 설치 대수를 제안하고 있다. 특히, 도로별로 범죄 발생 등급을 부여함으로써 범죄 발생 정도에 따른 감시 체계의 차별적인 구성이 필요함을 주장하였다. 강석진(2010) 역시 여러 사회·공간·물리적 요인을 고려하여 도로별 범죄 위험도를 평가한 후 CCTV의 설치 우선 순위를 논의하였다. 이승재·강석진(2012)도 앞선 연구들과 유사하게 도로를 중심으로 범죄 위험성을 평가하고 있지만, 도로망 구조를 조금 더 엄밀하게 정형화하여 CCTV 배치 방법을 제시하고 있다. 이러한 연구들은 GIS나 공간 분석 방법을 이용하여 보

다 과학적이고 객관적인 CCTV 공간 배치 방법과 대안을 논의하고 있다는 점에서 의의가 있지만, 실제로 특정 목적(예컨대, CCTV의 감시 커버리지 최대화)을 달성하는데 최적화된 공간 대안을 보여주지 못하고 있다. 이러한 측면에서 이민정·김영호(2014)의 연구는 공간 최적화 모델을 명시적으로 활용하여 CCTV 최적 입지를 도출하고 있다는 점에서 기존의 연구와는 다소 차별성을 가진다. 하지만 이전의 연구와 마찬가지로 방법론 CCTV에 초점을 맞추어 잠재적 범죄 대상만을 고려하고 있고 단순 커버리지 모델 적용으로 도시 경관에 따른 CCTV의 실제적인 감시 영역을 제대로 반영하지 못한다는 한계가 있다.

국내 연구와 달리 해외에서는 오래 전부터 보안 모니터링, 감시 카메라 센서 배치의 효율성과 관련하여 다양한 방법론적 연구가 진행되어 왔다. CCTV 입지와 관련한 방법론은 크게 미술관 문제(art gallery problem), 커버리지 최적화 문제(coverage optimization problem), 지형 가시권 분석(terrain viewshed analysis)에 주로 기반하고 있다. Chvatal(1975)이 처음으로 소개한 미술관 문제는 여러 벽면을 가진 미술관 내부를 모두 감시할 수 있는 최소 수의 감시 센서 위치를 선정하는 문제이다. 계산 기하학, 최적화 등 수리 모델에 기초한 다양한 변형과 해결 알고리즘들이 개발되었는데 초기 미술관 문제는 무한대의 가시성을 가진 감시 센서나 시설물에 대한 논의가 주를 이루었다. 이후 보다 현실적인 측면에서 제한적인 가시 거리를 가진 시설물에 대한 입지 연구가 후속되었다(González-Banos, 2001). 이러한 미술관 문제는 감시 시설이 기능할 수 있는 영역을 기반으로 시설물에 대한 최적화라는 점에서 입지 과학이나 공간 최적화 분야의 커버리지 최적화 문제와 유사한 측면이 많다. 커버리지 최적화 문제는 제한된 서비스 영역을 가지는 특정한 시설들의 효율적인 배치와 관련된 것으로 대표적으로 셋커버링 입지 문제(Location Set Covering Problem: LSCP)(Toregas et al., 1971)와 최대커버링 입지 문제(Maximal Covering Location Problem: MCLP)(Church and ReVelle, 1974)가 있다. LSCP의 경우 모든 서비스 수요를 커버할 수 있는 최소한의 시설물을 입지시키는 문제이며, MCLP는

시설물 입지에 있어 예산과 같은 보다 현실적인 제약을 고려하여 주어진 수의 시설물로 최대의 수요를 커버하는 문제라 할 수 있다(이건학, 2013). 미술관 문제의 원형 역시 최소 수의 시설물로 특정 공간의 모든 지점을 커버할 수 있어야 한다는 점에서 LSCP와 개념적으로는 동일하다. 커버리지 최적화 문제는 공공 시설물에서부터 비즈니스 영역에 이르기까지 다양한 애플리케이션에 적용되고 있는데, CCTV 역시 카메라 시야 거리에 따른 감시 영역이 제한적이라는 점에서 감시용 카메라 입지 문제에도 폭넓게 활용되고 있다(Collins et al., 2001; Kazazakis and Argyros, 2002; Hörster and Lienhart, 2006; Morsly et al., 2012). 지형 가시권 분석 연구는 미술관 문제와 커버리지 모델을 결합한 형태로 생각할 수 있는데, Goodchild and Lee(1989)는 수치고도모델(Digital Elevation Model: DEM)과 LSCP, MCLP의 두 커버리지 모델을 결합하여 지형면에서 가시권을 최대화하는 최적화 문제를 다루었고, Eidenbenz(2002)는 무선정보통신의 송신 안테나 설치와 관련하여 미술관 문제와 가시성 분석을 결합한 최적화 문제를 다루었다. Kim et al.(2004) 역시 기존 가시권 분석은 최대 가시권을 확보하기 위한 최적 입지를 도출하지 못했다고 지적하면서 지형 요소와 근사적 휴리스틱 기법을 이용한 가시권 분석 방법을 제안하였다. 일반적으로 가시성 분석은 특정 지점의 위치와 산, 건물과 같은 주변 지형지물의 분포에 기반하여 특정 지점에서 볼 수 있는 가시 영역과 볼 수 없는 비가시 영역을 구분한다. CCTV 역시 카메라 센서가 감시할 수 있는 영역은 카메라 센서가 설치된 지표면의 고도, 센서와 지표면의 수직 거리, 센서 제원에 따른 수직·수평 시야각, 감시를 방해하는 주변의 지리적 사상들에 따라 달라지기 때문에(Murray et al., 2007), 실제 지형적 기복이나 주변 지리적 객체들의 수직적 분포에 기반한 가시성 분석은 CCTV의 실제 가시 커버리지를 평가하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 한편, 최근 가시권 분석에 기반한 CCTV 커버리지 연구는 주변 지형뿐 아니라 도시 내 복잡한 인공물에 따른 가시성 분석, 카메라 해상도, 센서 시야각 등 센서 제원에 따른 커버리지와 같은 보다 다양한 이슈들로 관심이 확

장되고 있다(Erdem and Sclaroff, 2004; Murray et al., 2007; Angella et al., 2007; Malik and Bajcsy, 2008; Yabuta and Kitazawa 2008; Rebai et al., 2016).

해외의 여러 연구들과 유사하게 본 연구는 도시 내 감시 카메라의 효율적 네트워크 구축을 위해 도시의 구조적 특성을 반영하여 가시권 분석에 기반한 공간 최적화 접근을 시도하고자 한다. 이러한 접근은 국내에서는 아직 실증적 연구 사례를 찾아 볼 수 없는 것으로 감시 카메라의 실제 감시 영역을 고려한 입지 대안을 제시할 수 있을 것으로 기대하며, 아울러 이동 통신 데이터를 이용하여 시간대별 현주인구(de facto population)를 잠재 수요로 고려함으로써 감시 카메라의 범용적 활용 목적에 부합하는 최적 대안을 보여 줄 수 있을 것이다.

3. 데이터 및 최적화 모델

본 연구는 크게 공공 CCTV의 공간 분포 특성에 대한 현황 분석과 입지 최적화로 구성된다. CCTV의 공간 분포에 대한 특성 분석은 전국을 대상으로 공공 CCTV의 설치 대수, 인구/면적당 밀집도, 토지이용 현황 등을 고찰할 것이다. 이를 위해 각 광역 지자체에서 설치·관리하는 공공 CCTV의 위치와 관련한 제원 정보를 활용하였다. 민간이나 기타 공공 기관 등에서 설치한 모든 CCTV에 대한 통합 자료는 사실상 구축되어 있지 않기 때문에 분석에서 제외하였다. 공공 CCTV의 구체적인 위치와 제원 정보는 2016년 기준, 공공데이터포털(www.data.go.kr)에서 제공하는 각 광역 지자체별 CCTV 설치 현황 자료를 활용하였다. 이 데이터에는 CCTV 설치 장소의 경위도 좌표, 설치 목적, 설치 일자, 카메라 화소, 카메라 화각 등의 정보를 포함하고 있다.

공공 CCTV 입지 최적화는 먼저 CCTV의 실제 감시 영역을 도출하기 위해 GIS의 가시성 분석을 이용하였고 이를 토대로 가시 영역에 대한 입지 최적화를 수행하였다¹⁾. GIS는 3차원 공간 객체의 기하학적 특

성을 효율적으로 다룰 수 있어 실제 도시의 입체적 특성에 따른 가시 영역을 비교적 손쉽게 도출할 수 있다. 특정 지점으로부터 가시 영역은 가시 지점(view-point)과 주변 지형지물의 수직 높이를 통해 계산할 수 있는데, 이를 위해 50미터 해상도의 수직고도모델과 2017년 행정안전부 도로명 주소 데이터의 건물 데이터를 이용하였다. 가시 지점과 주변 지형지물의 수직 높이는 지표면의 해발고도에 CCTV가 설치되는 수직 높이와 건물 높이를 각각 합산한 값으로 정의하였다. 한편, CCTV의 종류는 카메라 센서와 관련한 제원뿐 아니라, 설치 목적, 실내/실외용, 줌 기능 유무, 방향 조정 방식, 주야간 감시 유무, 가격 등 여러 기준에 따라 다양하게 분류할 수 있는데 본 연구의 목적과 실제로 이미 운영되고 있는 공공 CCTV의 일반적인 특성을 고려하여 좌우 수평 움직임과 상하 수직 움직임이 가능한 실외용 스피드 돔 카메라²⁾의 입지를 가정하였다.

공공 CCTV 최적화 모델로는 CCTV의 감시 범위가 특정 거리에 제한적이라는 측면에서 LSCP, MCLP와 같은 전형적인 커버리지 모델을 활용하였다. LSCP는 완전한 감시 커버리지 네트워크 구축을 고려할 때의 최적 입지 대안을 살펴보기 위함이며, MCLP는 고비용 설비에 따른 예산상의 제약이 발생할 수 있는 현실적인 조건을 고려한 입지 대안을 보여주기 위함이다. 하지만 이러한 표준 커버리지 모델은 시설물로부터 직선 거리에 기반한 커버리지만 평가하기 때문에 지형 기복과 실제 분포하는 건물들의 수직 높이에 따른 가시 커버리지(visible coverage)를 도출할 수 없다. 따라서 특정 입지 후보지의 가시권을 평가할 수 있는 새로운 결정 변수(decision variable)를 추가하였고 GIS 가시권 분석을 통해 결정 변수의 값을 사전에 도출하였다. 다음은 공공 CCTV 최적화 모델을 공식화하기 위한 패러미터와 결정 변수를 보여주고 있다.

I : 함역된 수요 지점 셋(i 로 인덱싱)

J : CCTV 입지를 위한 후보지 셋(j 로 인덱싱)

p_i : 수요 지점 i 의 현주인구

d_{ij} : 수요 지점 i 와 CCTV 입지 후보지 j 와의 거리

D_i : CCTV의 식별 가능한 최대 감시 거리

$C_i = \{j | d_{ij} \leq D_c \text{ and } v_{ij} = 1\}$: 수요 지점 i 를 커버할 수 있는 모든 CCTV 후보지 셋

x_j : CCTV가 j 에 입지하면 1, 그렇지 않다면 0

y_i : 수요 지점 i 가 CCTV의 가시 영역에 있으면 1, 그렇지 않다면 0

v_{ij} : j 에 위치한 CCTV가 수요 지점 i 를 감시할 수 있다면 1, 그렇지 않으면 0

다음은 가시적 커버리지에 기반한 LSCP와 MCLP 모델의 선형정수계획법(integer linear programming)을 보여주고 있다.

LSCP 목적함수: 최소화 $Z = \sum_{j \in J} x_j$

제약조건식:

$$1) \sum_{j \in C_i} x_j \geq 1, \forall i \in I$$

$$2) x_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J$$

MCLP 목적함수: 최대화 $Z = \sum_{i \in I} \rho_i y_i$

제약조건식:

$$3) \sum_{j \in C_i} x_j \geq y_i, \forall i \in I$$

$$4) \sum_{j \in J} x_j = p$$

$$5) x_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J$$

$$6) y_i \in \{0, 1\}, \forall i \in I$$

LSCP 목적함수는 입지할 CCTV의 총 개수(개념적으로 총 설치 비용)를 최소화시키는 것임에 반해, MCLP 목적함수는 가중된 총 수요를 최대화시키는 것이 입지 목적임을 말해주고 있다. 제약조건식 1)은 LSCP의 주요 제약식으로 모든 수요 지점에 대해 적어도 하나의 CCTV가 감시할 수 있도록 하여 지역의 완전한 가시 커버리지를 보장해 준다. 반면 MCLP 모델의 경우 제약조건식 4)를 통해 CCTV의 개수를 제한함으로써 주어진 개수의 시설물로 최대한 많은 지역 수요를 커버할 수 있는 보다 현실적인 최적해를 도출한다. 제약조건식 2), 5), 6)은 결정 변수가 0과 1의 바이너리 정수만을 갖도록 제한하고 있다.

4. 공공 CCTV의 공간 분포 특성

공공데이터포털의 전국CCTV표준데이터³⁾에 따르면 2016년 기준, 전국에 구축된 공공 CCTV는 총 약 12만 6천여개가 설치 운영되고 있으며⁴⁾, 각 시도별로 살펴보면(표 1), 경기도, 서울이 각각 2만 여대 이상으로 가장 많고, 다음으로 대구, 경상도 지역이 각각 1만 여대의 공공 CCTV가 설치되어 있다. 제주도를 제외하면 대전과 광주가 가장 적은 수의 공공 CCTV를 운영하고 있다. 인구를 기준으로 살펴보면 인구 10,000명당 평균 24.59개가 설치되어 있고, 대구, 울산, 충청도, 경상도만 전국 평균을 상회하고 있으며, 나머지 시도는 전국 평균에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이 중, 대구는 인구당 설치 대수가 약 50대로 가장 많으며 그 뒤로 경북, 경남, 강원, 충북, 충남 등이 30여대로 비슷한 수준을 보이고 있으며, 다음으로 서울, 경기, 부산, 인천이 20여대 안팎으로 유사한 설치 수준을 보이고 있다. 한편, 광주를 비롯한 전라도와 제주도는 다른 시도에 비해 상대적으로 설치 대수가 낮은 것으로 나타났다. 대체로 공공 CCTV의 절대 대수는 각 시도의 인구 규모와는 크게 상관이 없는 것으로 나타나는데, 경기도의 경우 가장 많은 CCTV가 설치되어 있지만 인구 규모를 고려했을 때는 오히려 평균 이하의 설치율을 보여주고 있으며, 대구의 경우는 인구 규모에 비해 매우 높은 인구당 CCTV 설치 집중도를 보여주고 있다. 한편, 지역의 물리적 커버리지를 고려했을 때에는 1㎢당 평균 1대의 CCTV가 설치되어 있는 것으로 나타났으며, 대체로 인구 밀도가 높은 광역시들이 다른 도 지자체에 비해 많은 CCTV가 설치되어 있어 CCTV 설치 대수는 인구 규모보다는 인구 밀도와 다소 상관이 있는 것으로 보인다. 이 중 대구는 인구 밀도가 유사한 광역시(인천, 광주, 대구)에 비해 월등히 많은 3배 이상의 CCTV가 설치되어 있고, 인구 밀도가 높은 부산에 비해서도 많은 CCTV가 설치되어 있어 보다 촘촘한 CCTV 네트워크를 토대로 감시 카메라의 사회적 활용 가능성이 높을 것으로 예상된다.

한편, 작은 면적에 보다 많은 인구가 밀집해 있는 7

표 1. 시도별 공공 CCTV 분포 현황

시도	인구 (2015년 기준, 명)	면적(km ²)	1km ² 당 인구밀도 (명)	CCTV 대수 (개)	1만명당 CCTV 대수(개)	1km ² 당 CCTV 대수(개)
서울	10,022,181	605.22	16,559.57	24,450	24.40	40.40
부산	3,513,777	769.96	4,563.58	6,415	18.26	8.33
대구	2,487,829	883.56	2,815.69	12,389	49.80	14.02
인천	2,925,815	1,047.51	2,793.11	5,330	18.22	5.09
광주	1,472,199	501.18	2,937.47	1,975	13.42	3.94
대전	1,518,775	538.99	2,817.82	2,834	18.66	5.26
울산	1,173,534	1,060.96	1,106.11	3,425	29.19	3.23
경기	12,522,606	10,175.14	1,230.71	26,691	21.31	2.62
강원	1,549,507	16,874.32	91.83	4,851	31.31	0.29
충남	2,077,649	8,213.98	252.94	6,233	30.00	0.76
충북	1,794,836	7,872.28	227.99	5,670	31.59	0.72
전남	1,908,996	12,312.74	155.04	3,238	16.96	0.26
전북	1,869,711	8,067.25	231.77	3,170	16.95	0.39
경남	3,364,702	10,568.84	318.36	10,631	31.60	1.01
경북	2,702,826	19,029.81	142.03	8,709	32.22	0.46
제주	624,395	1,849.36	337.63	694	11.11	0.38
계	51,529,338	100,371.10	513.39	126,705	24.59	1.26

대 광역시의 자치구별 CCTV 현황을 살펴보면 지역별 CCTV 분포에 있어 미시적 차이를 보다 분명하게 볼 수 있다. 7대 광역시의 행정자치구별 CCTV 현황 자료⁹⁾를 살펴보면(표 2), CCTV가 가장 많이 설치된 상위 5개 자치구는 서울 관악구, 울산 남구, 서울 서초구, 강남구, 중구이며, 하위 5개 자치구는 대전 서구, 인천 용진군, 강화군, 부산 서구, 사하구의 순서로 나타났다. 서울과 울산의 업무, 상업, 주거의 핵심 기능 지역을 중심으로 많은 CCTV가 설치되어 있음을 알 수 있으며, 상대적으로 CCTV가 적게 설치된 지역은 대체로 도시 내에서 지리적으로 외곽에 위치하고 현대적 도시 중심성보다 근대적 역사성과 산업 특성이 높은 지역들로 보인다. 다만 대전 서구의 경우, 정부청사를 비롯하여 시청, 법원 등 공공 기관이 밀집한 대전의 행정 중심지임에도 불구하고 공공 CCTV가 상대적으로 적게 설치되어 있는 특성을 보이고 있다. 인구당 집중도에서는 서울의 중구와 울산의 남구는 CCTV의 절대 대수뿐 아니라 인구에 있어서도 밀집도가 높은 지역으로 나타났고, 인구당 CCTV의 집중

도는 인구의 분포와 지역의 기능적 특성을 반영하는 것으로 보이며, 상주인구가 적으면서 방범, 시설, 교통 등에 대한 관리와 모니터링의 필요성이 높은 도심 지역들은 인구 대비 집중도가 현저히 높은 것으로 나타났다. 이와 유사하게 부산 중구 역시 구도심으로 거주 인구에 비해 CCTV가 많이 설치되어 있는 지역으로 나타났다. 인천 용진군은 절대 대수는 적지만 높은 인구당 CCTV 밀집도를 보이는데 여러 섬과 산들이 많아 거주 인구가 많지 않은 지리적 특성이 반영되어 있다고 볼 수 있다. 대구 남구 역시 앞산, 대덕산성, 미군부대 등 지역의 지리적, 도시공간적 특성이 반영되어 상대적으로 적은 거주 인구에 비해 CCTV가 많이 설치되어 있는 지역으로 나타났다. 한편, 인구당 집중도가 낮은 지역은 대전 서구와 부산의 자치구들로 나타났고, 면적당 CCTV의 집중도가 높은 곳은 서울, 부산, 울산의 도심 지역들이며, 인천, 울산, 대구의 외곽 지역은 넓은 면적에 비해 적은 수의 CCTV가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 종합하면, 거주 인구는 적지만 유동 인구가 많아 도시 활동 감시의 필요

성이 높은 대도시 도심 지역은 CCTV가 많이 설치되어 있으며, 대체로 집약된 토지이용으로 면적당 집중도가 높고 실제로 상주하는 인구가 적어 인구 집중도 역시 높은 것으로 나타났다. 또한 거주 인구가 많은 도시 주거 지역 역시 인구 수에 따라 CCTV가 많이 설치되어 있지만 상대적으로 인구가 많아 인구당 집중도는 낮으며, 우리나라의 밀집된 주거 패턴을 반영하듯 면적당 집중도는 높게 나타나고 있다. 반면, 대도시 외곽 지역은 대체로 넓은 면적을 차지하고 있지만 거주 인구가 적어 CCTV의 수요가 낮은 것으로 보이며 따라서 실제 CCTV의 설치 대수는 적고 면적당 집중도도 낮게 나타나고 있다. 하지만 인구 집중도는 적은 거주 인구로 인해 비교적 높게 나타나고 있다.

다음으로 환경부 중분류 토지피복도(2009년)를 연계하여 7대 광역시에 설치된 CCTV의 토지이용별 현황을 살펴보았다. 7대 광역시 모두 70% 이상의 CCTV가 상업, 공업, 주거 지역 등의 시가화된 지역에 설치되어 있으며, 농업 지역이나 도시 개발이 되지 않은 나지, 초지, 습지 등은 CCTV 설치가 미비한 것으로 나타났다(표 3). CCTV 설치가 적은 곳 중에서도 부산이나 인천과 같은 일부 지자체는 다른 도시들에 비해 산림 지역에 대한 감시 활동이 비교적 높은 것으로 나타났다.

시가화 지역에 대한 세부 분류를 살펴보면(그림 1), 대부분의 광역시가 교통, 주거, 상업 지역에 가장 많

은 CCTV가 설치되어 있어 일반적으로 인식되는 것처럼 CCTV를 통한 방법이나 교통 목적용 감시 활동이 가장 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 각 도시마다 일정한 정도의 공공 시설에 대한 감시 활동도 이루어지고 있어 다양해지고 있는 CCTV의 활용성을 확인할 수 있는 반면, 공업 지역이나 위락시설 지역은 상대적으로 감시 체계가 소홀한 것으로 나타났다. 지역별로 부산, 대구, 대전, 울산의 경우 교통 관련 감시 활동이 가장 많고, 서울이나 인천, 광주, 대구의 경우 주거 지역에 대한 집중이 높은 것으로 나타났다. 다만, 서울의 경우 주거 지역의 CCTV가 다음으로 많이 설치되어 있는 교통 지역에 비해 두 배가 넘는 압도적인 집중도를 보이고 있다는 것이 특징적이다. 대체로 교통, 주거 지역 다음으로 상업 지역에 CCTV가 많이 설치되어 있지만 대구, 광주, 울산의 경우 상업 지역이 각 지역에서 두 번째로 많은 CCTV 집중 지역으로 나타났다.

일반적으로 CCTV 유형에 대한 법적인 기준이나 정의는 없으며, 관리 기관에 따라 나름의 목적에 따른 유형으로 구분하여 관리하고 있다(양문승·윤경희, 2014). 방범용, 교통흐름조사용, 교통법규위반 단속용, 쓰레기 무단투기단속용, 공공 장소 감시 등 다양한 목적에 따라 CCTV의 기능과 역할이 상이하지만 본 연구에서는 지자체별로 공통적인 범주라 할 수 있는 방법, 생활, 교통, 시설관리, 재난, 다목적으로

표 2. CCTV 설치 상하위 5개 자치구(7대 광역시)

순위	CCTV 대수(개)				1만명당 CCTV 대수(개)				1km ² 당 CCTV 대수(개)			
	상위	대수	하위	대수	상위	대수	하위	대수	상위	대수	하위	대수
1	서울 관악	1,912	대전 서구	36	서울 중구	80.8	대전 서구	0.7	서울 중구	102.0	인천 강화군	0.3
2	울산 남구	1,790	인천 용진군	94	울산 남구	52.1	부산 사하	3.9	부산 중구	67.8	대전 서구	0.4
3	서울 서초	1,449	인천 강화군	128	인천 용진군	44.8	부산 남구	5.1	서울 관악	64.7	인천 용진군	0.5
4	서울 강남	1,339	부산 서구	131	대구 남구	43.5	부산 연제	7.3	부산 수영	50.6	울산 울주군	0.6
5	서울 중구	1,016	부산 사하	132	부산 중구	41.9	부산 동래	8.6	울산 남구	49.6	대구 달성군	0.8

표 3. 7대 광역시 토지이용별 CCTV 설치 현황

지역	토지이용별 CCTV 비율(%)						
	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	초지	나지	습지	수계
서울	90.69	0.47	2.42	3.17	2.82	0.07	0.37
부산	77.57	1.62	9.10	6.66	4.33	0.14	0.58
대구	83.02	1.68	1.32	7.80	5.60	0.32	0.26
인천	84.02	3.06	3.69	6.94	1.96	0.31	0.02
광주	83.29	3.65	1.57	7.29	3.44	0.51	0.25
대전	79.70	4.49	2.00	7.15	6.54	0.06	0.06
울산	72.66	2.24	2.53	11.40	10.25	0.35	0.56

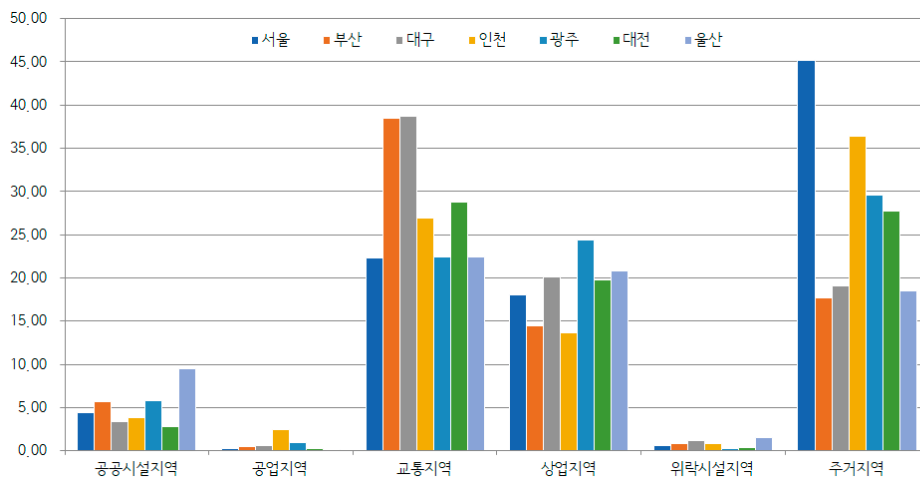


그림 1. 시가화 지역 내 세부 토지이용별 CCTV 설치 현황

설치 목적을 구분하여 살펴보았다. 방법에는 공원, 차량, 생활방법 등의 범죄와 관련된 감시 목적을 포함하고 있으며, 생활은 쓰레기 무단투기, 어린이 보호, 학교 주변 환경 감시 등이 포함되며, 교통은 주정차 단속, 주차장 관리, 교통정보수집 및 단속의 목적을 포함한다. 재난은 산사태, 침수 등 재난 및 재해 감시용 CCTV를 포함하며, 다목적에는 이 외 모든 목적의 CCTV를 포함한다. 7대 광역시 자치구별 CCTV 현황 자료에 따르면, 방법용 CCTV가 전체의 58%로 가장 많이 설치되어 있으며, 다음으로 생활용, 다목적용, 교통용 CCTV가 각각 17%, 13%, 9%를 차지하고 있다. 이는 앞서 토지이용별 CCTV 설치 현황에서 시가화된 지역, 특히 주거, 교통, 상업 지역에 집중되어 있

는 CCTV 분포 특성과도 일맥상통하는 바를 할 수 있다. 한편, 시설 관리나 재난과 같은 CCTV 용도는 상대적으로 매우 낮아 다목적 CCTV의 활용성이 높아지고 있음에도 불구하고 범죄나 치안과 관련한 투자에 집중하여 시설이나 재난 모니터링에 대해서는 활용성이 여전히 낮음을 알 수 있다. 이러한 설치 목적별 비율은 7대 광역시 모두 유사한 패턴을 보이고 있지만, 인천이나 울산의 경우 방법용 CCTV가 전체의 각각 81%, 86%로 방법 목적의 단일 용도 CCTV가 압도적인 다수를 보이고 있으며, 부산의 경우 방법용보다는 다목적용 CCTV가 보다 많이 설치되어 있는 특징을 보이고 있다.

공공 CCTV의 제원별 특성을 살펴보면, 50만에서

부터 200만 이상의 다양한 화소수를 가진 카메라가 설치되어 있다. 카메라 해상도는 감시 거리에 영향을 줄 수 있으며, 높은 화소수의 카메라일수록 먼 거리의 사물을 식별할 수 있다. 대체로 50만 미만, 100~150만, 200만 이상 화소의 카메라에 집중되어 있는데 200만 이상 화소를 가진 카메라가 전체의 50% 이상을 차지하고 있다. 이러한 제원의 차이는 각 카메라가 설치된 해당 연도의 기술적 수준에 의존할 것으로 보이며, 현재는 200만 이상의 고해상도 카메라가 주를 이루는 것을 알 수 있다. 시야각의 경우 자료 누락을 제외하고는 거의 대부분이 전방향 360도를 촬영할 수 있는 CCTV가 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

5. 공공 CCTV 입지 최적화

1) 현행 CCTV 분포와 가시 커버리지

여기에서는 인구가 많은 대도시권 중 공공 CCTV의 사회적 활용성이 높은 지역을 선정하여 공공 CCTV 설치 현황을 보다 미시적으로 검토하여 효율적인 CCTV의 최적 입지 대안을 제시하고자 한다. 공공 CCTV 공간 분포 현황에서 알 수 있듯이 여러 광역시들 중 공공 CCTV의 사회적 활용성이 높은 도시로 대구를 들 수 있다. 대구는 인구 밀도가 유사한 다른 광역시에 비해 보다 많은 공공 CCTV를 운영하고

있어 CCTV 공간 대안에 대한 실질적인 수요가 높을 것으로 생각된다. 한편, 최근 공공 CCTV가 여러 목적과 다양한 수요를 고려하여 설치 운영되고 있다는 점을 감안할 때, 지역의 현주인구(또는 현재인구) 데이터의 사용가능성 역시 매우 중요할 수 있다. 왜냐하면 지역의 현주인구는 주민등록상의 상주인구뿐 아니라 시간별 유동인구 분포를 보여주고 있어 특정 시간, 특정 지역의 실제적인 현재 수요를 가장 잘 반영할 수 있기 때문이다. 최근 이동통신 데이터를 활용한 현주인구 관련 연구들이 조금씩 소개되고 있는데(김감영·이건학, 2016; 이건학·김감영, 2016), 이러한 데이터의 이용가능성 측면에서도 대구는 적절한 사례 지역이 될 수 있다. 대구를 사례 지역으로 선정하였지만 CCTV의 지리적 커버리지 스케일상 대구 전역에 대한 공간 대안을 모색하는 것은 연산 측면에서 비효율적이며, 시간대별 현실 수요와 가시성을 고려한 입지 모델링 방법 및 과정이 본 연구의 중요한 부분이기 때문에 보다 미시적 스케일의 모델링 공간을 별도로 선정하였다. 모델링 공간은 대구에서 범죄 건수가 가장 많으면서 CCTV 설치가 취약한 지역을 고려하였다. <표 4>는 대구의 자치구별 CCTV 설치 및 범죄 발생 현황을 보여주고 있다. CCTV 설치 대수는 달서구, 북구가 가장 높은 자치구로 나타나고 있지만 인구와 면적이 다른 자치구에 비해 대체로 크기 때문에 인구당, 면적당 집중도는 오히려 낮은 자치구에 속한다. 그렇지만 5대 범죄를 비롯한 전체 범죄 발생은 자치구 중 가장 높은 편이라 할 수 있다. 이러한 지역

표 4. 대구시 자치구별 CCTV 설치와 범죄 건수 현황

자치구	인구 (명)	면적 (km ²)	CCTV 대수 (개)	CCTV 대수 (개/만명)	CCTV 대수 (개/km ²)	범죄건수 (건)	5대범죄건수 (건)
중구	80,928	7.06	324	40.04	45.89	9,521	2,561
동구	349,728	182.19	687	19.64	3.77	14,147	2,830
서구	206,028	17.33	421	20.43	24.29	10,844	2,305
남구	160,852	17.43	700	43.52	40.16	8,021	1,795
북구	443,119	94.07	873	19.70	9.28	16,950	3,161
수성구	451,786	76.46	733	16.22	9.59	15,171	2,802
달서구	602,641	62.34	911	15.12	14.61	24,380	4,976
달성군	192,747	426.68	353	18.31	0.83	6,240	968

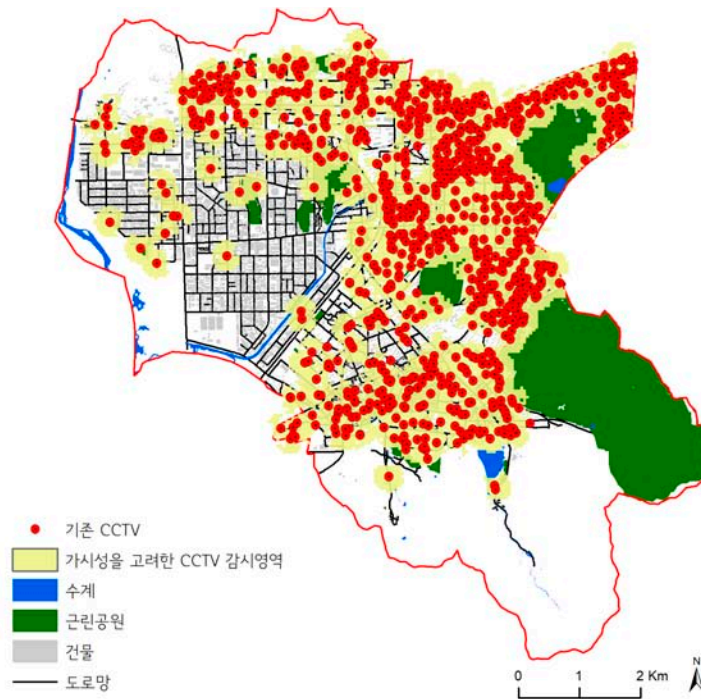


그림 2. 대구시 달서구의 CCTV 분포와 가시 커버리지

특성을 감안하여 본 연구에서는 2016년 기준, 범죄 건수가 가장 높고 실제적인 수요라 할 수 있는 인구당 CCTV 설치율이 가장 낮은 달서구를 모델링 공간으로 선정하였다.

〈그림 2〉는 2016년 현재 달서구에 설치되어 있는 공공 CCTV 분포를 보여주고 있다. 총 911개의 공공 CCTV가 운영 중이며, 전반적으로 주거, 상업 건물이 많이 분포하는 도시화 지역에 두루 설치되어 있지만, 성서 산업단지 주변과 달서구 외곽 경계에 해당하는 남북쪽의 산지나 근린 공원 지역에는 CCTV 설치가 미비한 것으로 나타나고 있다. 이러한 CCTV 분포에 최근 또는 당분간은 지속적으로 도입될 것으로 예상되는 210만 화소의 360도 전방향에 대한 감시가 가능한 스피드 돔 형태의 카메라를 가정하면 CCTV 카메라로부터 대략 250미터 반경의 커버리지 분포를 추정할 수 있다. 하지만 실제 도시 공간은 서로 다른 높이의 수많은 건물이 분포하고 있으며, 이들의 기하학적 배치로 인해 특정 CCTV 위치에서 실제 감시가 가능한, 즉 가시성을 고려한 감시 영역(가시 커버

리지)은 다르게 나타날 수 있다. 이러한 가시 커버리지의 계산은 해당 지역의 표면 높이, 공간 객체의 높이, 관측 지점의 위치 등 다양한 3차원 패라미터를 통한 매우 복잡한 연산을 요구하는데, 다행히 공간 객체의 기하를 효과적으로 다룰 수 있는 GIS를 통해 비교적 손쉽게 도출해 낼 수 있다. 현행 CCTV의 가시성을 고려한 실제 감시 영역을 도출하기 위해 먼저 도시 건물들의 기하학적 특성을 고도 데이터, 건물 데이터를 이용하여 계산하였고, 이를 현행 CCTV의 수평 및 수직 위치와 함께 GIS의 가시성 분석 툴에 적용하였다. 또한 스피드 돔 CCTV의 식별 가능한 최대 감시 거리는 수평 및 수직 이동 범위와 CCTV 센서의 해상도에 의존적인데 본 연구에서는 전방위를 볼 수 있는 360도 수평 회전과 하향 카메라에 초점을 맞춰 15(상향)~-90도(하향)의 수직 회전이 가능한 210만 화소(full-HD급)의 카메라를 가정하였다(예, SONY SNC-RH164, HIKVISION DS-2AE4223TI-D). 이 경우 대체로 카메라로부터 250미터 반경 범위가 식별 가능한 가시 영역으로 알려져 있으며, 연구에 따라

서는 50미터에서 200미터 등 다양한 카메라 해상도를 가정하기도 한다(박동균·박성수, 2005; 김동문·박재국, 2010; 이민정·김영호, 2014; 허선영·문태현, 2015).

2) 수요 분포와 입지 후보지의 공간적 재현

공간 최적화 모델링을 수행하기 위해서는 먼저 공공 CCTV의 공간 수요와 입지 후보지에 대한 공간적 재현을 정의하는 것이 중요하다(이건학, 2012; 이진학·김감영, 2013). CCTV의 공간 수요는 방법뿐 아니라 시설물 관리, 인구 동태 파악, 행정 서비스 등 지역의 포괄적 목적을 위해 이동통신 데이터에 기반한 현주인구로 정의하였다. A 이동통신사는 ‘서비스 인구’라는 명칭으로 통신 트래픽에 기반하여 추정된 현주인구를 월별, 시간대별, 연령별, 성별로 구분하여 제공하고 있다⁶⁾. 제공되는 최소 공간 단위는 50×50m 그리드 셀이며, 행정동, 행정구의 행정 구역으로도 합역하여 제공하고 있다. 본 연구에서는 셀 단위의 시간대별 서비스인구(2015년 6월 기준)를 6시간

간격, 4개의 시간대별 평균 서비스인구로 재계산하였다. 각 시간대는 오전(06시~12시), 오후(12~18), 밤(18~24), 심야(24~06)로 구분할 수 있으며, 더불어 일 전체에 대한 일평균 현주인구도 별도로 계산하였다. <그림 3>은 달서구의 일평균 및 시간대별 현주인구 분포를 보여주고 있다. 일평균 현주인구 분포를 살펴보면 산지를 제외한 대부분의 인구 거주 및 활동지에는 현주인구가 분포하고 있으며, 특히 지하철과 고속도로 축을 따르는 집중적인 분포가 두드러진다. 구체적으로 대구지하철 2호선(강창역, 계명대역, 성서산업단지역, 이곡역, 용산역), 대구지하철 1호선(대곡역, 진천역, 월배역, 상인역), 중부내륙고속도로가 이에 해당한다. 이들 축을 중심으로 강창역/계명대성서캠퍼스/이곡2동/신당동, 장기동/본리동/월성2동/월성1동, 진천동/상인2동/도원동 주변의 공간 클러스터가 시각적으로 확인된다.

한편, 시간대별로 현주인구 분포의 전반적인 패턴(그림 4)은 크게 차이가 나지 않으며 대체로 분포 범위에서의 확장이나 축소가 관측된다. 그럼에도 오전·오후의 현주인구와 밤·심야의 현주인구는 어느

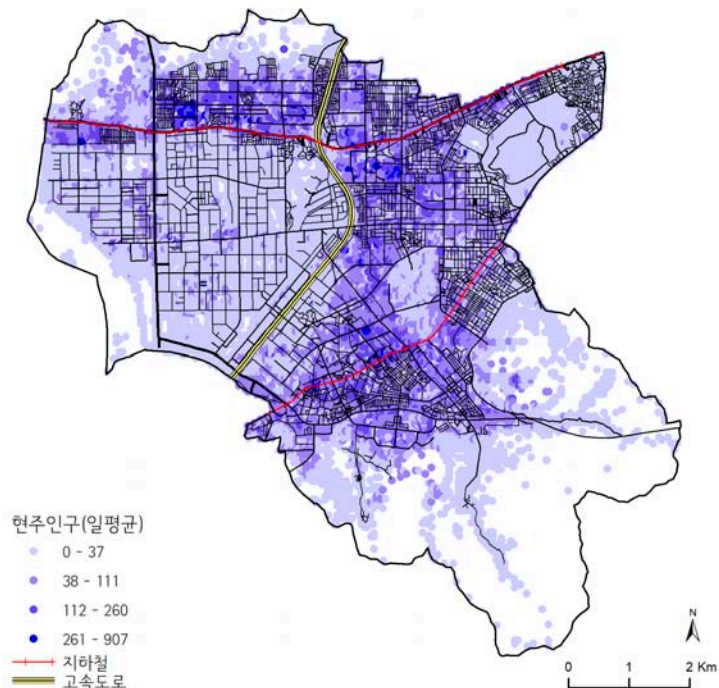


그림 3. 대구시 달서구의 현주인구 분포(일평균)

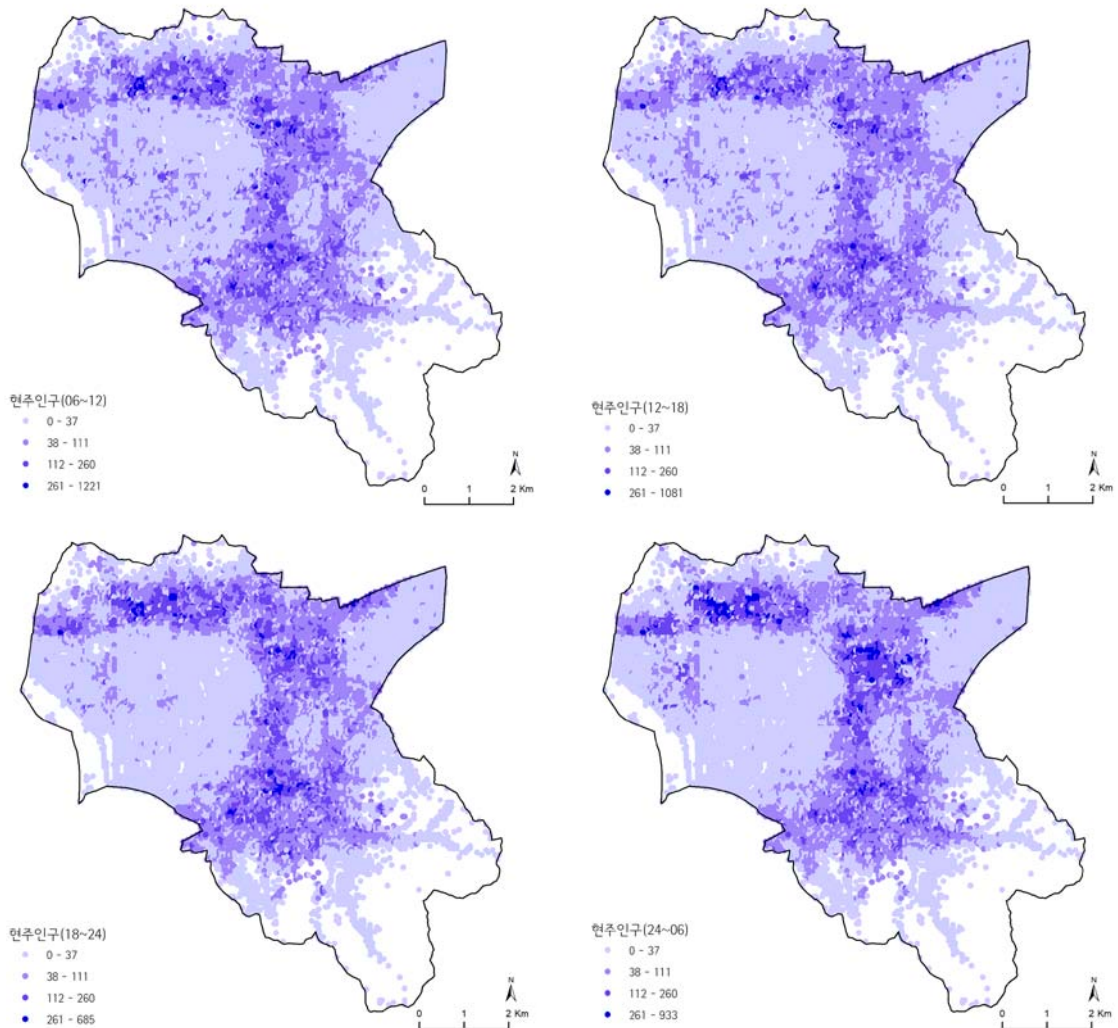


그림 4. 대구시 달서구의 시간대별 현주인구 분포

정도 대별되는 특징을 보이고 있는데, 오전·오후 현주인구보다 밤이나 심야 현주인구가 특정 지역의 집중성이 높게 나타나고 있다. 이는 오전·오후 인구의 유동성이 상대적으로 높고, 밤이나 심야 현주인구는 특정 거주 지역이나 상업 지역과 같은 고정된 위치에서의 지속성 있는 분포가 특징적임을 보여주고 있다.

대체로 현주인구가 많이 분포하고 있는 지역은 이미 설치되어 있는 CCTV에 의해 많이 커버되고 있지만(그림 5의 좌측 지도), 성서 산업단지 일대(중부내륙고속도로와 대구지하철 2호선이 둘러싸고 있는 달서구 내 북서쪽)와 같이 CCTV 취약 지역들도 여전

히 많이 존재하고 있다(전체 수요의 약 40%). 본 연구에서는 분석의 효율성을 꾀하기 위해 기존 CCTV의 커버리지 영역에 이미 속해 있는 현주인구 지역들을 제외한 지역만을 신규 CCTV 설치를 위한 수요 대상으로 고려하였다. 이 지역에 해당하는 현주인구 그리드 셀의 센트로이드를 수요 지점으로 정의하였는데, 총 6,576개의 수요 지점이 도출되었다. 한편, 신규 CCTV를 입지시키기 위한 후보지를 결정하기 위해 먼저 250미터 간격의 그리드를 생성함으로써 무한한 모델링 공간을 유한 개수의 공간으로 변환하였다. 이는 공간 최적화 모델링에서 흔히 사용하는 공

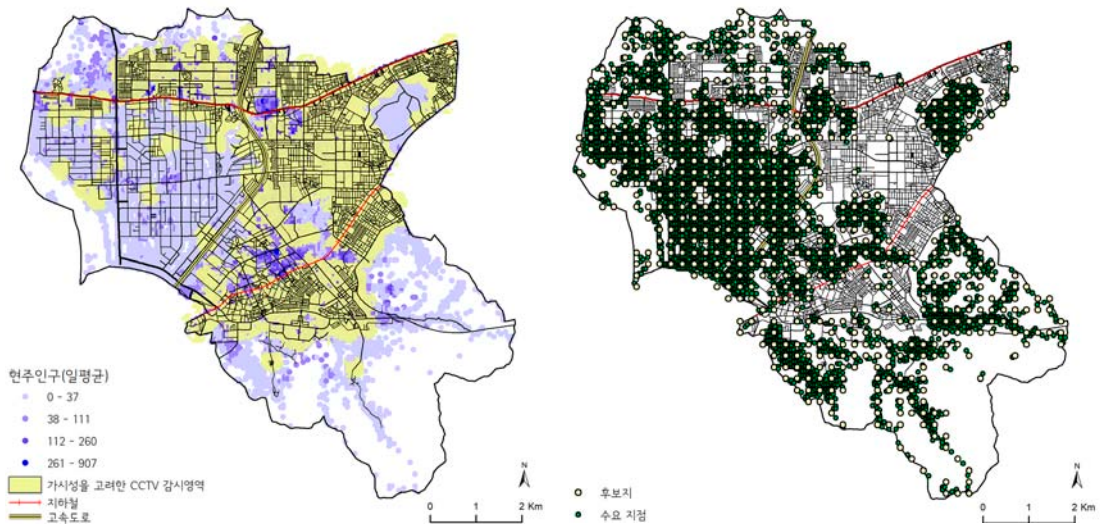


그림 5. 기존 CCTV의 가시 커버리지와 신규 입지 후보지 및 수요지 분포

간의 이산화(discretization) 방법으로 최적화를 위한 연산량과 연산 시간을 절약하도록 해준다(Murray et al., 2007). 마지막으로 이렇게 생성된 그리드 셀과 기존 수요지를 중첩하여 교차되는 셀의 센트로이드를 최종적인 입지 후보지로 선정하였다⁷⁾. 총 702개의 입지 후보지가 생성되었고, 가시성 분석을 수행하여 각 수요 지점에 대한 가시성 여부를 별도의 관계 테이블로 저장하였다. 이 테이블은 커버리지 최적화 모델을 구현할 때 중요한 사전 정보로 활용된다. 이 과정에서 총 6,576개의 수요 지점 중, 어떤 입지 후보지의 잠재적 가시 영역에도 속할 수 없는 842개 지점을 제외한 5,734개가 최종 수요지로 선정되었다. <그림 5>는 기존 CCTV의 가시 커버리지 영역과 최종 수요 지점 및 입지 후보지 분포를 보여주고 있다.

이렇게 정의된 수요지와 입지 후보지를 토대로 공공 CCTV 입지를 위한 최적화를 수행하였다. 앞서 논의한 두 가지 커버리지 최적화 모델을 적용하였다. 먼저 최소의 비용으로 모든 수요 지점이 최소한 하나의 CCTV 감시 영역으로 커버될 수 있는 LSCP의 최적해를 도출하였고, 이후 현실적인 제약을 고려하여 정해진 개수의 CCTV로 최대의 수요지를 커버할 수 있는 MCLP 모델의 최적해를 도출하였다. 이때 일평균과 4개 시간대별 수요 분포를 모두 고려하였으며, CCTV

의 신규 설치 개수를 10개 간격으로 300개까지 가변적으로 적용함으로써 다양한 예산 상황을 반영할 수 있는 여러 최적해를 도출하였다.

3) 입지 최적화 결과

<그림 6>은 LSCP 모델에 따른 CCTV 최적 입지를 보여주고 있다. 총 367개의 후보지가 선택되었으며 이는 제한적인 가시 영역을 가진 CCTV 신규 입지에 있어 가장 최저 개수로 모든 수요 지점이 커버될 수 있는 최적 대안이라 할 수 있다. LSCP 최적해는 최소의 비용으로 모든 수요 지점을 감시할 수 있다는 점에서 공공의 관점에서 매우 유용한 대안이 될 수 있지만, 현실에서는 이러한 틈새 없는 공공 네트워크의 구축은 사실상 매우 어렵다. CCTV 장비와 설치 업체 등에 따라 다르지만 대체로 카메라, 폴과 암(설치 기둥), 함체(통신 및 부속 장비) 등을 포함한 하나의 CCTV 셋의 설치에 수백만원 이상의 고비용이 소요된다. 따라서 해당 지역의 모든 수요를 커버하려면 단순 계산으로도 수십억의 예산이 필요함을 알 수 있다. 이러한 현실적 제약을 감안할 때 보다 효과적인 대안은 비용 또는 예산 범위를 고려하여 다양한 최적해를 탐색할 수 있는 MCLP 접근이라 할 수 있다.

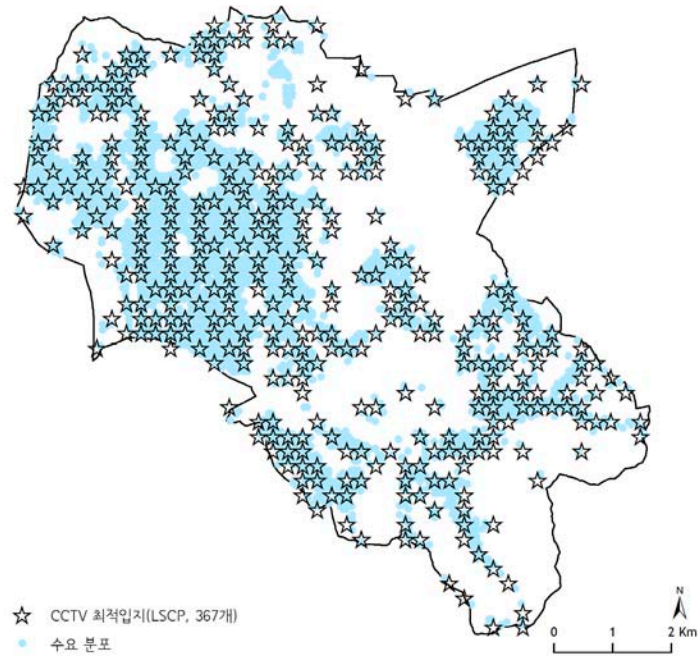


그림 6. LSCP 모델에 따른 CCTV 최적 입지

〈그림 7〉은 일평균과 시간대별 수요 분포에 따른 MCLP의 최적해 계산 결과를 보여주고 있다. 수요 인구에 대한 커버리지 패턴은 시간대별로 거의 유사한데 전체적으로 CCTV의 신규 설치 개수를 늘릴수록 전체 수요의 커버리지는 높아지고 있다. 신규 CCTV를 10개 설치할 경우 시간대에 따라서 대략 23~27% 정도의 커버리지 범위를 보이며 일평균 24.5%의 수요를 감시할 수 있다. 40개를 설치할 경우 모든 시간대에서 50% 이상의 수요를 커버할 수 있으며, 140개를 설치할 경우 모든 시간대에서 90% 이상의 수요를 가시적으로 커버할 수 있게 된다. 이는 시설물에 투입되는 비용과 서비스 커버리지 사이에 상충 관계(tradeoff)가 있음을 보여주는데, 단위 비용에 따른 한계 커버리지(marginal coverage)는 시설물의 수가 증가할수록 점차 줄어들고 있다. 다시 말해, 90% 커버리지 이상의 완전한 커버리지를 위해서는 90% 커버리지에 필요한 시설물, 예를 들어 140개의 두배 이상에 해당하는 300개 이상의 신규 설치가 필요하다. 한가지 흥미로운 점은 완전한 가시 커버리지를 위해 필요한 CCTV 개수는 시간대별로 상이한 값을 보이

고 있는데 오전(357개), 오후(350개)가 밤과 심야 시간대(모두 340개)에 비해 보다 많은 CCTV 설치가 요구된다(일평균 수요는 348개). 이는 시간대에 따른 전체 수요량이 다르기 때문이다.

한편, 시간대별 커버리지와 일평균 수요 분포에 따른 커버리지를 비교해서 살펴보면(그림 8)⁸⁾, 아침 시간대를 제외한 나머지 시간대는 같은 수의 CCTV로 일평균 커버리지 보다 높은 커버리지 비율을 보이고 있다. 이 중 오후 시간대는 일평균과 거의 유사한 커

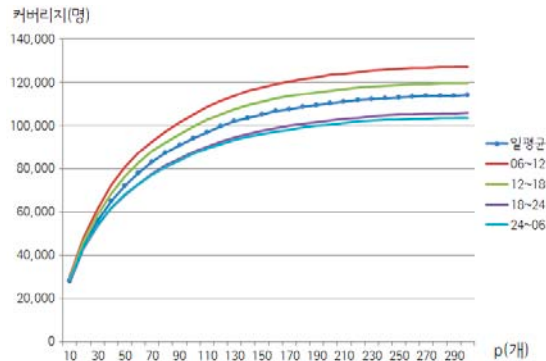


그림 7. CCTV 설치 개수에 따른 시간대별 커버리지 비율

버리지 비율 패턴을 보이고 있다. 대체로 50~60개의 CCTV를 설치할 때 일평균 수요 분포와는 상이한 커버리지 패턴, 즉, 밤과 심야 시간대는 일평균보다 높은 커버리지, 오전 시간대는 일평균보다 낮은 커버리지를 보인다. 이러한 패턴은 시설물의 수를 늘릴수록 점차 시간대별로 유사해지다가 150개 이상부터는 거의 일평균의 커버리지 패턴과 같은 형태로 수렴함을 알 수 있다.

위에서 살펴본 것처럼 모든 시간대에 대해서 CCTV 설치 개수에 따른 커버리지는 대체로 유사한 패턴을

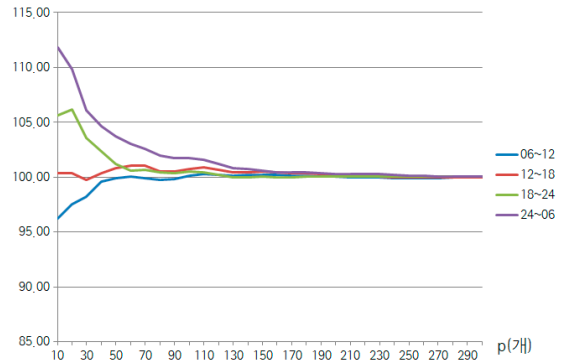


그림 8. 일평균 수요 대비 시간대별 커버리지 비율

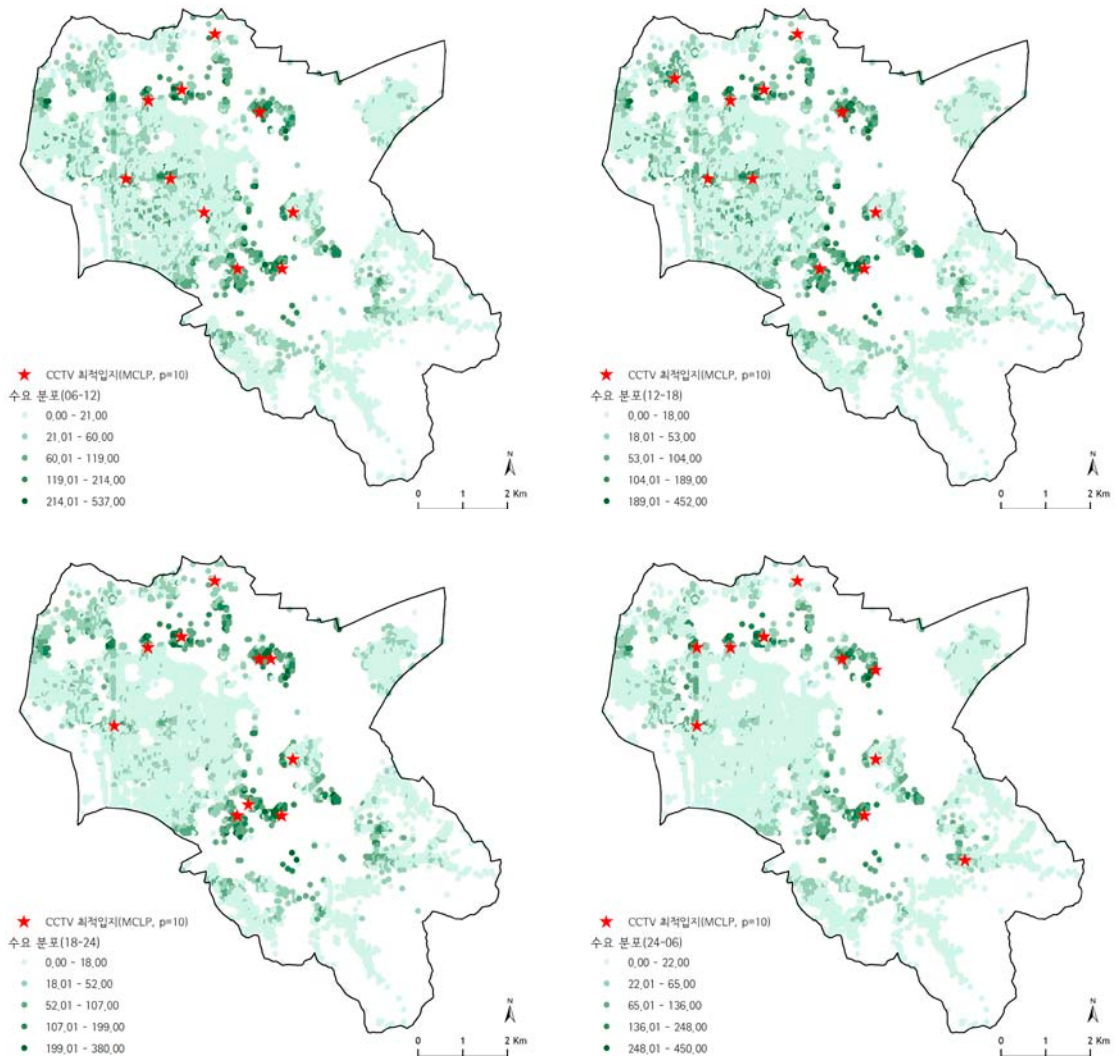


그림 9. MCLP 모델에 따른 시간대별 CCTV 최적 입지($p=10$)

보이고 있지만, 시간대별 수요 분포의 차이로 인해 실제 시설물의 최적 입지는 다소 차이가 날 것으로 예상된다. 이를 보다 구체적으로 확인하기 위해 같은 수의 시설물을 입지시킬 때 시간대별 최적 입지 분포를 비교하여 살펴보았다. 일평균의 커버리지 비율과 차이가 많이 나는 시설물의 개수인 10개(약 25%대 커버리지)의 시간대별 최적 입지를 살펴보고, 커버리지가 유사해지는 150개(약 92%대 커버리지)의 입지를 추가로 살펴보았다.

〈그림 9〉는 10개의 CCTV를 설치할 때, 시간대별 수요 분포에 따른 최적 입지해를 보여주고 있다. 각 시간대별 최적해는 해당 시간대별로 수요 분포가 집중하는 곳을 중심으로 입지하고 있어 다소 상이한 위치들이 선택되고 있음을 알 수 있다. 그러나 〈그림 10〉에서 볼 수 있는 것처럼 시간대와 상관없이 공통적으로 많이 선택된 핵심 지점들이 일부 존재함을 알 수 있다. 〈그림 10〉의 파란색 도형의 크기에 따른 숫자는 시간대별로 선택된 횟수를 의미하는데, 4개의 모든 시간대에 선택된 후보지인 경우 4로 표현되고 있다. 이에 따르면 1, 110, 126, 128, 324, 528의 후

보지는 모든 시간대에서 중요한 지점으로 선택되었음을 알 수 있다. 실제로 이러한 지점들은 일평균 수요 분포에서 최적 지점과 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 다르게 해석하면 일평균 수요가 평균적인 최적해를 이끌어 내고 있어 별도로 특정 시간대의 수요에 집중해야할 필요가 없을 경우 일평균 수요에 기반한 최적해들을 고려하는 것이 적절한 의사결정이 될 수 있다.

한편, 약 92%의 커버리지 비율을 나타내는 150개의 CCTV 입지는 거의 대부분이 3개 또는 4개의 시간대에 동일한 지점이 선택되었다(그림 11). 즉, 적은 수로 최대 커버리지를 추구해야될 상황에서는 각 시간대별 수요 분포에 따라 커버리지를 크게 높일 수 있는 서로 다른 후보지가 선택될 여지가 있지만, 입지할 시설물의 수가 늘어나고 한계 커버리지가 점차 작아지는 상황에서는 시간대별 새로운 입지 후보지가 적어지기 때문에 대체로 유사한 지점들이 중복적으로 선택되고 있다.

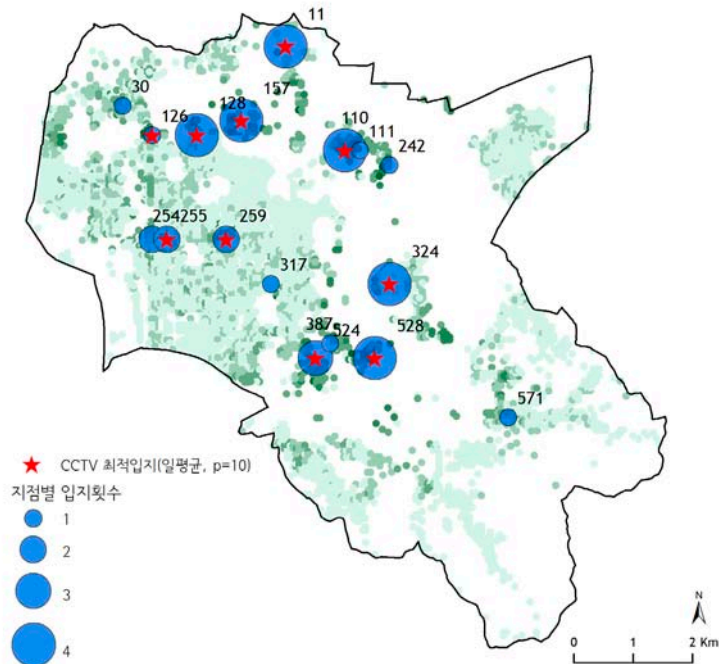


그림 10. 지점별 최적 입지 횟수($p=10$)

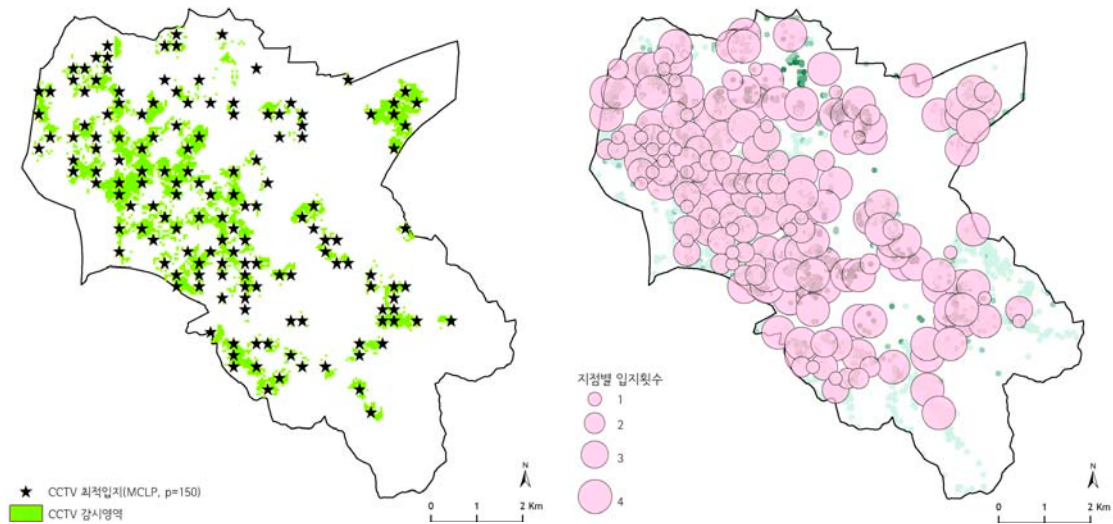


그림 11. 일평균 수요에 대한 CCTV 최적 입지와 지점별 최적 입지 횟수($p=150$)

6. 결론 및 토의

범죄 조사와 예방에 중요한 장비 시스템으로 활용되고 있는 감시용 카메라는 최근 들어 방범·치안뿐 아니라 교통 관리, 시설 관리, 재난재해 모니터링 등 지역의 다양한 공공 목적에 폭넓게 활용되고 있다. 이에 많은 지자체들이 지역의 공공 감시 시스템을 구축하기 위해 공공 CCTV 설치를 점차 확대하고 있다. 하지만 CCTV는 제한된 지리적 커버리지를 가지고 있고, 단위 설치 비용 역시 비싸기 때문에 넓은 면적의 지역을 커버하기 위해서는 엄청난 비용이 소요될 수 있다. 따라서 효율적인 CCTV 설치 계획이 반드시 필요하며 특히 공공 감시 목적에 적합한 실제적인 수요를 만족시킬 수 있는 CCTV 공간 입지는 공공 감시 시스템의 성공을 위한 매우 중요한 의사 결정이라 할 수 있다. 이러한 맥락에서 본 연구는 공공 CCTV의 공간 분포 현황을 살펴보고, 이를 토대로 다양한 목적의 CCTV에 대한 실제 수요를 고려한 CCTV 입지 대안들을 보여주고 있다. 이를 위해 특정 시간대, 특정 장소에서의 실제 인구 분포를 보여주는 현주인구를 CCTV의 잠재적 수요로 이용하였고, 도시 경관의 수직 구조적 특성을 고려하여 CCTV의 가시 커버리지

를 극대화하는 최적화 모델을 적용하였다.

공공 CCTV의 공간 분포 현황을 살펴본 결과, 경기도와 서울이 가장 많은 CCTV를 설치 운영하고 있으며, 다음으로 대구, 경상도 지역이 높은 CCTV 설치 대수를 보여주고 있다. 인구 대비로는 대구, 울산, 충청도, 경상도가 전국 평균을 상회하고 있으며, 나머지 시도는 전국 평균에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이 중, 대구는 인구 규모에 비해 다른 시도보다 월등히 높은 인구당 CCTV 설치 집중도를 보여주고 있다. 보다 미시적 공간 수준에서 CCTV 설치 현황을 살펴보면, 대체적으로 거주 인구는 적지만 유동 인구가 많은 대도시 도심 지역은 CCTV의 설치 대수가 많고, 면적당 집중도와 인구 집중도가 모두 높은 것으로 나타났고, 거주 인구가 많은 도시 주거 지역은 CCTV의 설치율과 면적당 집중도는 높지만 인구당 집중도는 낮은 특성을 보이고 있다. 반면, 대체로 넓은 면적을 점유하는 대도시 외곽 지역은 CCTV의 설치 대수는 적고 면적당 집중도도 낮지만, 인구 집중도는 적은 거주 인구로 인해 비교적 높게 나타나고 있다. 한편, 토지이용에 따라서는 교통, 주거, 상업 지역에 가장 많은 공공 CCTV가 설치되어 있으며, 공업 지역이나 위락시설 지역은 상대적으로 적은 수의 CCTV가 설치되어 있다. 목적별로는 방범용 CCTV가 가장 많이

설치되어 있으며, 다음으로 생활용, 다목적용, 교통용 순서로 설치되어 있다. 이는 시가화된 지역, 특히 주거, 교통, 상업 지역에 집중된 공공 CCTV 분포와 같은 맥락으로 이해할 수 있다.

한편, CCTV 입지 최적화를 위한 사례 지역인 대구시 달서구는 현재 900여개의 공공 CCTV가 운영 중이며, 주거, 상업 건물이 많이 분포하는 시가화 지역에 두루 설치되어 있는 반면, 성서 산업단지 주변과 달서구 외곽 경계에 해당하는 산지나 근린 공원 지역에는 공공 CCTV 설치가 미비한 것으로 나타나고 있다. 이미 설치되어 있는 공공 CCTV의 가시 커버리지에 포함된 곳들을 제외한 지역을 대상으로 최적화를 수행한 결과, 각 시간대별로 CCTV 설치 개수에 따라 최대 수요를 커버하는 CCTV 최적 입지안을 도출하였다. 10개의 신규 CCTV 입지는 약 25%의 수요를 커버할 수 있으며, 40개 추가 설치로 50% 이상의 수요를 커버할 수 있고, 해당 지역의 모든 수요를 커버하기 위해서는 총 367개의 CCTV가 필요한 것으로 나타났다. 각 시간대별 최적해의 공간 분포를 살펴보면, 해당 시간대별 수요 분포가 집중하는 곳을 중심으로 입지하고 있어 시간대별로 다소 상이한 위치들이 선택되었다. 하지만 일부 지점들은 모든 시간대에서 공통적으로 선택되어 공공 CCTV 입지를 위한 핵심 지점들임을 확인할 수 있었다. 흥미롭게도 이러한 핵심 지점들은 평균적인 수요 분포라 할 수 있는 일평균 수요 분포의 최적 지점과 거의 유사한 것으로 나타났다.

본 연구는 공공 CCTV의 공간 분포 특성과 실태를 실증적으로 파악하는데 도움을 줄 것으로 기대하며, 공공 CCTV를 통한 도시 내 범용적 감시 시스템을 구축하고자 하는 지자체의 의사결정자에게 매우 유용한 방법론적 가이드라인을 제공할 수 있을 것이다. 또한 시간대별 현주인구 분포를 고려한 공공 CCTV의 최적화된 입지 대안들은 실질적인 현실 수요에 대한 실효성있는 공간 계획으로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구의 주요 특징 중 하나는 복잡한 도시 경관의 입체기하학적 특성을 고려하여 CCTV의 실제 가시성에 따른 커버리지 모델링이라는 점이다. 이러한 가시 커버리지를 도출하기 위한 핵심적 기능은 GIS의 가시성 분석인데, 현재 사용가능한 GIS 가시성 분석 툴

은 완전한 3차원 공간 객체가 아닌 2.5차원의 기복면을 처리하도록 디자인되어 있으며, 관측 지점의 가시성 유무에 대한 연산이 매우 제한적이라는 기능적 한계를 가지고 있다. 따라서 향후 완전한 입체적 가시성을 구현할 수 있는 GIS 소프트웨어 툴의 개발 및 연구는 가시 커버리지 최적화 모델링에 매우 중요한 기반 연구가 될 수 있을 것이다. 더불어 CCTV 커버리지 최적화뿐 아니라 다양한 공공 CCTV 네트워크 디자인 역시 후속 연구로 기대되는 바이다.

주

- 1) GIS 가시성 분석은 ESRI의 ArcGIS 10.5의 가시성 분석 툴을 이용하였고, 최적화 모델링은 IBM의 CPLEX Optimization Studio 12.8.0에 내장된 혼합정수계획법(mixed integer programming)의 분지한계(branch and bound) 알고리즘을 이용하였음.
- 2) 외형상 둥근 반구형이며 특정 방향이나 일정 방향만 감시 가능한 고정형 카메라와 달리 상하좌우로 움직이며 전방향의 지역을 폭넓게 감시할 수 있는 CCTV 유형임.
- 3) 전국 지자체에서 운영 및 관리하는 모든 CCTV의 위치 정보를 담고 있으며, 관리기관, 설치위치, 설치목적, 카메라 대수 및 화소, 설치년월 등의 항목을 표준화하여 집계함. 일부 유사 통계와 차이를 보이기도 하는데 이는 CCTV의 관리 주체, 데이터 누락 등의 여러 이유로 전국 단위의 데이터를 일괄적으로 집계하는 데에 한계가 있기 때문으로 파악됨. 예컨대, 2016년 행정자치부통계연보에는 공공기관 CCTV가 2015년 기준으로 73만 여개로 집계되어 있어 전국CCTV표준데이터와는 큰 차이를 보임. 이 자료의 경우 지자체 외 공공기관에서 운영하는 CCTV를 모두 포함하는 것으로 보임.
- 4) 전국CCTV표준데이터의 개별 조사 항목에 나와 있는 카메라 개수는 동일 지점의 다중 카메라 개수를 모두 합산한 값이지만, 여기에서 말하는 CCTV 개수는 개별 위치 좌표로 정의된 카메라 수만을 의미하며, 공간 분포 패턴이나 커버리지 분석에서는 독립적인 위치 좌표를 갖는 데이터를 사용하는 것이 보다 적절함.
- 5) 공공데이터포털에서 제공되는 전국CCTV표준데이터는 각 지자체별로 집계한 개별 데이터를 합산한 것으로 추정되지만, 각 조사 항목별로 누락 자료가 많기 때문에 이후 분석에서는 각 지자체의 집계 데이터를 직접 사용함.

- 6) A 이동통신사의 서비스인구와 데이터 특성은 김감영·이건학(2016), 이진학·김감영(2016) 참고.
- 7) 작은 그리드 간격은 입지 후보지를 늘릴 수 있는 장점이 있는 반면, 연산을 어렵게 하여 적절한 시간에 최적해를 도출하기 어렵게 할 수 있음. 이에 따라 본 연구에서는 CCTV 커버리지 반경에 해당하는 간격으로 그리드 포인트를 생성함으로써 개별 CCTV의 잠재적 커버리지가 서로 중첩되도록 하였음. 이는 후보지 셋이 정의되지 않아 특정 수요를 원천적으로 커버할 수 없는 경우를 방지하는 한편, 연산의 효율성도 함께 고려할 수 있는 절충적 접근임.
- 8) 일평균 수요 분포에 따른 커버리지 비율을 100으로 할 때 각 시간대별 상대적 커버리지 비율.

참고문헌

- 강석진, 2010, 안전한 도시관리를 위한 범죄 위험도 평가 연구, 고려대학교 박사학위논문.
- 곽봉금, 2005, 방범용 CCTV의 범죄발생 억제 효과에 관한 연구, 한국외국어대 석사학위논문.
- 금천구청, 2017, 2017년 방범용 CCTV 설치공사 시방서.
- 김감영·이건학, 2016, “이동통신 빅데이터를 이용한 현재 인구 추정과 개선 방안 연구,” 한국도시지리학회지, 19(2), 181-196.
- 김동문·박재국, 2010, “범죄발생지점의 공간적 특성분석을 통한 인위적 감시지역의 선정,” 한국지형공간정보학회지, 18(3), 83-90.
- 뉴스1, 2018, 제주도, 생활안전 사각지대 CCTV 384대 추가 설치(2018년 4월 9일).
- 박동균·박성수, 2005, “범죄예방을 위한 CCTV 운용방안 연구: Y대학교 원룸촌 사례를 중심으로,” 한국지방자치연구, 7(2), 1-23.
- 양문승·윤경희, 2014, “방범용 CCTV의 기술·운영·정책적 측면의개선방안에 관한 연구,” 한국경찰연구, 13(4), 115-140.
- 연합뉴스, 2018, ‘촛불한 안전망’...장성군 483개 전 마을 CCTV 설치(2018년 1월 23일).
- 이건학, 2012, “와이파이 기반 U-캠퍼스 구축을 위한 커버리지 분석과 최적입지 모델링,” 한국지도학회지, 12(2), 47-58.
- 이건학·김감영, 2013, “화이트 스페이스를 활용한 슈퍼 와이파이 시설의 효율적 배치를 위한 공간 입지 모델링,” 대한지리학회지, 48(2), 259-271.
- 이건학·김감영, 2016, “공간통계 기법을 이용한 현주인구 추정 모델링,” 한국지도학회지, 16(2), 71-93.
- 이건학·진찬우·김지우·김완희, 2016, “성폭력 범죄의 공간적 분포 특성에 관한 연구: 환경범죄학에 기반한 공간 분석,” 대한지리학회지, 51(6), 853-871.
- 이민정·김영호, 2013, “다수준모델(Multi-level)을 이용한 안산시 방범용 CCTV 분포의 공간적 분석,” 국토지리학회지, 46(3), 275-289.
- 이민정·김영호, 2014, “유동인구 및 인구밀도를 활용한 안산시 방범용 CCTV의 입지모델링 연구,” 국토지리학회지, 48(4), 533-546.
- 이상원, 2009, “가로 및 주택가 방범용 CCTV 설치를 위한 진단Program 개발에 관한 연구,” 한국콘텐츠학회논문지, 9(11), 325-334.
- 이승재·강석진, 2012, “공간구분론을 이용한 도시 주거지 방범용 CCTV 배치 방법에 관한 연구,” 대한건축학회, 28(9), 55-62.
- 장환영·김걸·이재용, 2014, “도시민의 일상활동 패턴에 따른 방범용 CCTV의 입지적 개선방안에 관한 연구,” 한국도시지리학회지, 17(1), 101-112.
- 최재필, 2006, 환경설계를 통한 방범계획 (CPTED) 시범 적용 연구, 경찰청.
- 허선영·문태현, 2015, “범죄예방을 위한 CCTV 위치 적절성 및 효과성 분석,” 한국지역지리학회지, 21(4), 739-750.
- Angella, F., Reithler, L. and Gallezio, F., 2007, Optimal deployment of cameras for video surveillance systems. In *Proceedings of IEEE Conference on Advanced Video and Signal based Surveillance*, 388-392.
- Brown, B., 1995, CCTV in town centres: Three case studies, *Crime Detection and Prevention Series Paper 68: Police Research Group*, Home Office Police Research Group, London.
- Church, R. L. and ReVelle, C., 1974, The maximal covering location problem, *Papers of the Regional Science Association*, 32(1), 101-118.
- Chvatal, V., 1975, A combinatorial theorem in plane geometry, *Journal of Combinatorial Theory, Series B*, 18(1), 39-41.
- Collins, R., Lipton, A., Fujiyoshi, H., and Kanade, T., 2001,

- Algorithms for cooperative multisensor surveillance, In *Proceedings of the IEEE*, 89(10), 1456-1477.
 - Eidenbenz, S., 2002, Approximation algorithms for terrain guarding, *Information Processing Letters*, 82, 99-105.
 - Erdem, U. M. and Sclaroff, S., 2004, Optimal placement of cameras in floorplan to satisfy task requirements and cost constraints, In *Proceedings of the 5th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-Classical Cameras*.
 - González-Banos, H. 2001, A randomized art-gallery algorithm for sensor placement, In *Proceedings of the 17th Annual Symposium on Computational Geometry*, 232-240.
 - Goodchild, M. F. and Lee, J., 1989, Coverage problems and visibility regions on topographic surfaces, *Annals of Operations Research*, 18, 175-186.
 - Harris, C., Jones, P., Hillier, D. and Turner, D., 1998, CCTV Surveillance Systems in Town and City Centre Management, *Property Management*, 16(3), 160-165.
 - Hörster, E. and Lienhart, R., 2006, On the optimal placement of multiple visual sensors, In *Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Video Surveillance and Sensor Networks*, 111-120.
 - Kazazakis, G. D. and Argyros, A. A., 2002, Fast positioning of limited-visibility guards for the inspection of 2D Workspaces, In *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2843-2848.
 - Kim, Y. H., Rana, S. and Wise, S., 2004, Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques, *Computers Geoscience*, 30, 1019-1032.
 - Malik, R. and Bajcsy, P., 2008, Automated placement of multiple stereo cameras. In *Proceedings of the 8th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-Classical Cameras*.
 - Morsly, Y., Aouf, N., Djouadi, M. S. and Richardson, M., 2012, Particle swarm optimization inspired probability algorithm for optimal camera network placement, *IEEE Sensors Journal*, 12(5), 1402-1412.
 - Murray, A. T., Kim, K., Davis, J. W., Machiraju, R. and Parent, R., 2007, Coverage optimization to support security monitoring, *Computers, Environment and Urban Systems*, 133-147.
 - Rebai, M., Berre, M. L., Hnaïen, F. and Snoussi, H., 2016, Exact biobjective optimization methods for camera coverage problem in three-dimensional areas, *IEEE Sensors Journal*, 16(9), 3323-3331.
 - Short, E. and Ditton, J., 1995, Does closed circuit television prevent crime?: An evaluation of the use of CCTV surveillance cameras in Airdrie town centre, *Crime and Criminal Justice Research Findings*, 8, Edinburgh: Central Research Unit, Scottish Office.
 - Skinns, D., 1998, Crime reduction, diffusion and displacement: Evaluating the effectiveness of CCTV, In Norris, C., Moran, J., and Armstrong, G. (eds.), *Surveillance, Closed Circuit Television and Social Control*, Ashgate, Aldershot, 175-188.
 - Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., and Bergman, L., 1971, The location of emergency service facilities, *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.
 - USA Today, 2007, UK privacy watchdog seeks more powers (2007년 5월 2일).
 - Yabuta, K. and Kitazawa, H., 2008, Optimum camera placement considering camera specification for security monitoring, In *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2114-2117.
- 교신: 이건학, 08826, 서울시 관악구 관악로 1, 서울대학교 지리학과(이메일: gunhlee@snu.ac.kr, 전화: 02-880-4019)
- Correspondence: Gunhak Lee, Department of Geography, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea (e-mail: gunhlee@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-4019)
- 최초투고일 2018. 5. 9
수정일 2018. 5. 25
최종접수일 2018. 5. 30