



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

박사학위 논문

통신망을 고려한 도시방범 CCTV
위치선정 문제

- 범죄 예방 및 대응력을 중심으로 -

City Surveillance CCTV Location
Selection Problem Considering
Communication Network

- Focusing on Crime Prevention and
Response Capabilities -

2023년 12월

승실대학교 대학원

프로젝트경영학과

오 정 은

박사학위 논문

통신망을 고려한 도시방범 CCTV
위치선정 문제

- 범죄 예방 및 대응력을 중심으로 -

City Surveillance CCTV Location
Selection Problem Considering
Communication Network

- Focusing on Crime Prevention and
Response Capabilities -

2023년 12월

승실대학교 대학원

프로젝트경영학과

오 정 은

박사학위 논문

통신망을 고려한 도시방범 CCTV
위치선정 문제

- 범죄 예방 및 대응력을 중심으로 -

지도교수 안 태 호


이 논문을 박사학위 논문으로 제출함

2023년 12월

승실대학교 대학원

프로젝트경영학과


오 정 은 의 박 사 학 위 논 문 을 인 준 함

심 사 위 원 장 김 상 모 

심 사 위 원 신 조 청 

심 사 위 원 박 공 우 

심 사 위 원 박 희 준 

심 사 위 원 안 태 호 

2023년 12월

숭실대학교 대학원

감사의 글

시간의 흐름이 정말 빠르다고 생각되는 것은 제가 무엇인가에 집중하고 있을 때가 아닌가 생각합니다. 지금이 그렇습니다. 지금까지 논문을 준비하며 애들과 많은 시간을 보내주지 못하고 회사 일도 많이 집중하지는 못했지만, 시간은 여지없이 빠르게 흘러 한해의 끝인 12월에 있습니다. 그리고 부족하지만, 어느덧 논문의 끝자락에 왔습니다. 연구실 불을 끄실 날 없이 매일 연구하시느라 바쁘신 시간에도 제 주제에 관심과 함께 지도를 이끌어 주신 안태호 교수님께 진심 감사의 인사를 드립니다. 교수님께서 많이 배웠다고 이야기하지 말라고 종종 농담처럼 말씀하셨습니다, 정말 많은 것들을 배우고 깨달음을 얻어가는 시간들이었기에 많은 배움이 있었고 감사한 시간이었다고 말씀드리고 싶습니다.

박사 공부를 시작할 때 돌아가신 아버님, 그리고 논문 준비 중에 돌아가신 어머님께 아들이 인생 잘 살 수 있게 키워주시고 지켜봐 주심에 감사드리며 하늘에서도 기뻐하실거라 생각합니다. 그 외에도 신혼과 연구에 바쁜 시간 속에서도 제 부족한 논문 검토에 시간을 내어준 백인섭 박사님, 그리고 제가 박사 공부를 시작할 수 있게 도와주신 이현주 박사님께도 감사드립니다. 제가 일 걱정 없이 공부할 수 있게 도와주고 참아준 저희 직원들과 제가 논문을 준비할 때 연구소 업무가 바쁨에도 코드구현에 시간을 함께해준 변석규에게 고마움을 표합니다. 그 외에 제가 박사 공부를 할 수 있게 도와주신 주변의 많은 분들께 감사드립니다. 제가 일하고 공부에 집중할 수 있게 늘 옆에서 지켜봐주고 응원해준 제 집사람과 아이들에게 정말 고마움을 표하며 앞으로도 지속되는 시간에 노력과 감사한 마음으로 함께 하겠습니다.

2023년 12월

목 차

국문초록	vii
영문초록	ix
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	4
1.3 연구의 구성	5
제 2 장 이론적 배경	7
2.1 도시방법 CCTV	7
2.2 휴리스틱 기법	13
2.2.1 탐욕 알고리즘과 매트로이트 구조	15
2.2.2 적응형 이웃 검색 알고리즘	16
2.2.3 타부 탐색 알고리즘	18
2.2.4 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘	18
2.3 페널티와 가중치 기법	20
제 3 장 문제의 모형	21
3.1 문제의 개요	21
3.2 문제의 가정	23
3.3 문제의 수식화	24

제 4 장 알고리즘	29
4.1 해의 영역	30
4.2 알고리즘 약술	31
4.2.1 최초의 초기해 생성	32
4.2.2 개선규칙들	33
4.2.2.1 규칙 1. 미선택 CCTV 후보지의 선정	33
4.2.2.2 규칙 2. 선정 CCTV 후보지의 배제	34
4.2.2.3 규칙 3. 선정 CCTV 후보지의 설치 구성 변경	35
4.2.2.4 규칙 4. 두 개의 선정 CCTV 후보지의 설치 구성 변경	36
4.2.2.5 규칙 5. 하나의 선정 CCTV 후보지의 설치 구성과 다른 하나의 선정 CCTV 후보지의 연결 거점통신망 변경	37
4.2.2.6 규칙 6. 선정 CCTV 후보지 배제와 미선택 후보지 선정	38
4.2.2.7 규칙 7. 지역 편차 페널티감소	39
 제 5 장 모의실험 결과	 41
5.1 모의실험 조건설정	42
5.1.1 모의데이터 생성 기본구성	43
5.1.2 모의데이터 생성과 내용	45
5.2 모의실험 결과	48
5.2.1 모의실험 1의 결과	48
5.2.2 모의실험 2의 결과	51
5.2.3 모의실험 3의 결과	53
5.2.4 모의실험 4의 결과	55
5.2.5 모의실험 5의 결과	57
5.2.6 모의실험 6의 결과	60

5.3 모의실험 결과 요약	61
제 6 장 결 론	66
6.1 연구의 결과	67
6.2 연구의 시사점	67
6.3 연구의 한계 및 향후 연구 과제	68
참고문헌	71

표 목 차

[표 2-1] 사회의 가장 큰 불안 요인(통계청)	7
[표 2-2] 2008~2022 공공기관 CCTV 설치 및 운영 대수(통계청)	8
[표 2-3] 방법용 CCTV 설치 전·후 범죄 감소 효과(조영진 외, 2019)	9
[표 2-4] Simulated Annealing Algorithm in Pseudo-code	19
[표 5-1] 모의실험 1의 데이터 생성규칙	43
[표 5-2] 모의실험 1의 카메라 구성별 비용 및 통신량 생성규칙	44
[표 5-3] 모의실험 1의 범죄유형 관련 데이터 생성규칙	44
[표 5-4] 모의실험 2 데이터 생성규칙	46
[표 5-5] 모의실험 2의 카메라 구성별 비용 및 통신량 생성규칙	47
[표 5-6] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4	49
[표 5-7] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6	49
[표 5-8] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9	50
[표 5-9] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4	51
[표 5-10] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6	52
[표 5-11] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9	52
[표 5-12] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4	53
[표 5-13] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6	54
[표 5-14] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9	54
[표 5-15] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4	55
[표 5-16] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6	56
[표 5-17] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9	56
[표 5-18] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4	57
[표 5-19] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6	58

[표 5-20] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9	58
[표 5-21] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4	59
[표 5-22] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6	60
[표 5-23] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9	60

그 림 목 차

[그림 1-1] 연도별 CCTV 설치 수와 범죄량(이야기연구소, 2021)	3
[그림 2-1] CCTV와 범죄 발생 관계 트렌드(허선영 & 문태현, 2015) ...	11
[그림 2-2] 도시방범 CCTV 선정 절차 및 형태 예시	12
[그림 2-3] 의정부시 도시방범 CCTV와 범죄대응 사례(김지훈, 2023) ..	13
[그림 5-1] 모의실험 1 제안 휴리스틱의 해 탐색 그래프 유형	51
[그림 5-2] 무작위 탐색 연산 1500초에서의 해 탐색 그래프 유형	62
[그림 5-3] 제안 휴리스틱에 의한 최적해 탐색 그래프 유형	63
[그림 5-4] 무작위 탐색에 의한 해 제시 그래프 유형	64
[그림 5-5] 제안 휴리스틱의 근사해 값에 의한 결과 예시	65

국문초록

통신망을 고려한 도시방범 CCTV

위치선정 문제

- 범죄 예방 및 대응력을 중심으로 -

오정은

프로젝트경영학과

승실대학교 대학원

UN의 자료에 따르면 세계의 인구는 2020년 기준 도시지역에 55%가 살고 있으며, 그 수치는 2050년 68%까지 증가할 것으로 예측되었다 (Habitat, 2020). 이러한 지속적인 도시화는 인구밀집도의 증가를 가져왔으며, 이와 함께 도시범죄도 증가하였다. 그로 인해 도시범죄를 예방하고 대응하기 위해 다양한 방법들이 시도되고 있으며, 그 방법의 하나로 우리나라의 경우 과거 U-City 사업추진과 함께 발전한 정보통신망을 이용하여 범죄의 예방과 대응을 위해 도시의 공공영역을 중심으로 도시방범을 위한 CCTV를 설치하고 있으며, 그 수가 빠르게 증가하였다. 최근 도시방범 CCTV의 설치가 범죄 예방 및 대응에 효과적인 수단으로 공감대 형성되고 있으며, 그로 인해 정부와 지자체는 빠른 속도로 도시방범 CCTV 설치를 확대하고 있다.

범죄 예방과 대응력을 최대화하고 지역 간 불균형의 최소화를 고려한 공공영역의 도시방범 CCTV 위치선정문제는 설치 예산과 통신용량에 대

한 제약으로 인해 설치 지역, 설치 카메라의 종류, 연결되는 거점통신망 선택을 최적화해야 할 필요가 있다.

이에 본 연구는 한정된 예산과 통신망의 용량에 대한 제약이 있는 경우, 범죄 예방과 대응력을 최대화하고 지역 간 설치 불균형 최소화할 수 있는 모델을 작성하고, 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)을 기반으로 하여 개선규칙들을 적용한 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘을 제안하였으며, 모의실험의 결과를 통해 제안된 알고리즘의 유효성을 입증하였다.

따라서 본 연구는 예산과 통신량의 제한이 고려된 도시방범 CCTV 위치의 선정에 있어서, 위치별 범죄 예방과 대응력의 합을 최대화하고 지역 간 설치 불균형을 최소화할 수 있는 과학적 의사결정 모델을 제시하였다는 점에 그 의의가 있다.

ABSTRACT

City Surveillance CCTV Location Selection Problem Considering Communication Network

– Focusing on Crime Prevention and
Response Capabilities –

OH, JUNG-EUN

Department of Project Management
Graduate School of Soongsil University

The world is rapidly urbanizing alongside population growth. Various methods are being attempted to prevent and respond to urban crime, Which is increasing with the population density in urban areas. In the case of our country. We are utilizing the information and communication networks that have developed along with the past U-City project to prevent and respond to crimes. We are installing CCTV for urban surveillance in public areas of the city and actively responding to it. And their numbers are increasing rapidly. Urban surveillance CCTV has garnered public support as an effective means of crime prevention and response. Prompting the government and

local authorities to expand the installation of urban surveillance CCTV at a rapid pace. However, there is controversy regarding the suitability of the locations for installing urban surveillance CCTV. This is because in many cases, the selection process relies more on public complaints and qualitative factors rather than scientific decision-making. The issue of selecting the location for urban surveillance CCTV in public areas, considering crime prevention and response capabilities and minimizing regional imbalances, is an important issue that requires scientific decision-making. Taking into account budget constraints and the limitations of the expanding communication networks. Therefore, this study proposes a method to find the optimal solution by applying heuristic algorithms based on greedy rules to determine which locations in candidate sites. What camera configurations, and which hub networks to connect to considering the limited budget and the capacity constraints of the communication network, in order to maximize crime prevention and response capabilities and minimize installation imbalances between regions.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대사회는 산업화와 더불어 전 세계의 인구가 도시를 중심으로 지속적으로 성장하고 있다. UN의 자료에 따르면 1950년대 전 세계 인구의 29%, 2020년 55%이었던 도시인구의 비율이 2050년에는 약 68%로 점차 증가할 것이라 한다(송미경, 2015; Habitat, 2020). 우리나라의 경우 국토교통부와 한국국토정보공사의 2022년 자료에 따르면, 도시지역에 거주하는 인구는 약 91.9%(4729만 명)이고, 비 도시지역에 거주하는 인구는 414만 명 정도로 8.1 %에 해당한다. 이렇게 도시의 인구를 점차 증가시키고, 도시의 크기 또한 점점 커지게 만들고, 도시의 복잡도 또한 증가시키는 도시화 현상은 주택문제, 교통문제, 환경문제 등과 같은 복잡한 도시문제들을 함께 증가시킬 수밖에 없다.

도시화 현상에 따른 중요한 도시문제 중 하나는 인구밀집도 증가에 따라 도시범죄 발생 또한 증가한다는 것이다. 도시화 현상의 하나인 단위지역에 대한 인구밀집도의 증가는 강력범죄의 발생 건수를 더불어 증가시킨다(기정훈, 2015). 더불어, 도시화로 인한 범죄의 증가는 범죄의 예방과 사후대응에 대한 필요성 역시 증가시킬 수밖에 없다.

임형백(2010)의 연구에 따르면, 대한민국의 경우 급격한 산업화 과정에 따른 급속한 도시화로 인해 다양한 도시 불경제(Urban Diseconomies) 현상을 경험하였고, 이로 인해 범죄의 발생 및 유형에 있어서 갈수록 심각한 문제를 드러내고 있다. 도시·지역 계획적 관점에서의 도시범죄 발생 요인은 유대감의 약화, 익명성의 강화, 경제적 불평등의 강화, 범죄의 학습, 이탈 지역의 탄생의 5가지로 볼 수 있으며, 그 대응 방법으로 범죄 프로그램의 시행, 범죄 예방 디자인, 도시환경의 개선, 환경설계를 통한

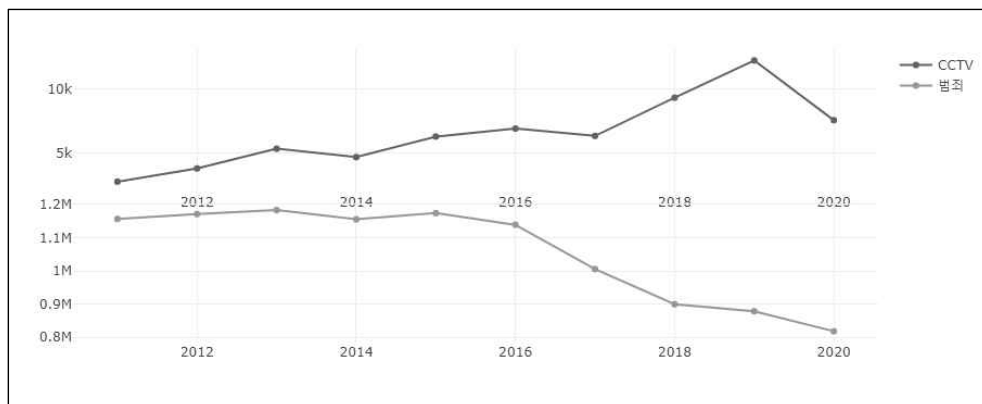
범죄 예방(CPTED) 등이 있다고 한다.

이러한 도시범죄 예방방법 중 환경설계를 통한 범죄 예방 관점을 살펴 보면, Newman(1973)은 ‘방어공간(Defensible Space)’의 개념에서 범죄 발생 가능성이 큰 지역에 대해 강화된 감시 시스템의 도입을 주장하였고, LaVigne(1994)은 범죄 예방을 위한 환경조성의 필요성 중 하나로 CCTV의 설치를 주장하였다.

이처럼 CCTV는 도시범죄의 예방과 사후대응에 사용할 수 있는 중요한 도구의 하나로 볼 수 있다. 본 연구에서는 도시에서 발생하는 범죄에 대한 예방과 대응에 대한 것을 도시방범(City Crime Prevention)이라 하고, 본 연구에서는 이를 목적으로 도시의 공공영역인 골목길, 공원, 도로 등에 도시통신망에 연결되어 구조물 형태로 설치되는 CCTV를 ‘도시방범 CCTV’라 한다. 도시방범 CCTV는 도시통신망에 연결되어 도시 관제센터로 영상을 전송하게 되고 범죄 예방 및 대응에 활용된다. 즉, 도시방범 CCTV는 도시의 공공영역에서 발생하는 범죄 예방과 대응의 수단 중 하나이다. 또한, 제4차 산업혁명의 중심인 정보통신기술의 발달은 도시방범 CCTV를 도시 곳곳에 설치할 수 있게 하여 범죄대응을 위한 대표적인 방법의 하나로 만들고 있으며, 도시방범 CCTV 설치의 지속적인 확대로 이어지고 있다.

세계적으로도 우리나라는 도시에 통신망이 잘 구축되어 있고 도시 공공영역에 폴(Pole) 형태의 도시방범 CCTV 시스템이 잘 구축된 나라이다. 정부와 지방자치단체별로 도시 통합관제센터를 만들고 도시범죄에 대응하는 수준은 세계적으로도 높은 수준이다. 우리나라는 2007년부터 U-City 사업을 추진하면서 통신망 등의 기반시설이 도시 곳곳에 구축되었고 도시방범 CCTV들이 본격적으로 구축되기 시작하였다. 2008년 3월 U-City 법이 제정되고 2017년 3월 스마트 도시법이 개정되면서 체계화

가 되기 시작하였다. 이러한 정부 정책의 영향으로 세계적으로 우수한 도시방범 CCTV와 통합관제센터 시스템이 구축되었다. 중앙정부의 지원과 지자체의 예산을 투입하여 U-통합관제센터 구축사업을 하면서 도시에 방범 CCTV를 비롯한 도시 통합관제센터들이 구축되었다. 도시범죄에 대한 대안으로 도시방범 CCTV가 급속히 증가하였으며, 지금도 지속적으로 증가하고 있다. 현재는 범죄가 발생하면 각 지자체에 구축이 되어있는 통합관제센터에서 영상분석을 통한 빠른 범죄대응이 이루어지도록 지원하고 있다. 이에 도시방범 CCTV의 위치 적정성에 관한 것은 범죄대응에 있어 중요한 문제이고 관련 기관에서도 연구들이 많이 진행되고 있다.



[그림 1-1] 연도별 CCTV 설치 수와 범죄량(이야기연구소, 2021)

[그림 1-1]은 2011년부터 2020년까지 연도별 CCTV의 설치 수와 범죄양에 관한 개략적인 통계를 보여준다. 전국 CCTV 표준데이터와 대검찰청범죄 발생 지역 데이터에 따르면, CCTV를 설치하는 목적으로는 생활방범이 31,612로 전체의 64.2%를 차지하며 가장 많았으며, 그 뒤로 어린이 보호 목적이 6,244로 12.7%를 차지했으며 그 뒤로 다목적 3,762로

7.64%, 시설물 관리가 2,073으로 4.21%로 나타났다고 한다(이야기연구소, 2021).

공공시설물로서 한정된 예산과 통신망의 자원을 고려했을 때, 도시방범 CCTV의 설치 후보지 중 예산과 통신망을 고려하여 적정위치에 적정 구성을 선정하는 것은 중요한 문제이다. 따라서 우리나라의 경우 도시방범 CCTV가 공공시설물로의 객관성과 효율성을 유지하기 위해서는 보다 객관적인 관점에서의 위치선정이 필요하다.

본 연구에서는 도시에서 발생하는 범죄에 대한 예방과 대응을 위해 설치하는 방범용 CCTV의 위치선정 시 통신망과 예산의 제약사항을 고려하고 지역 불균형을 반영하여 어떤 지역에 어떤 구성의 CCTV를 어떤 거점통신망에 연결할 것인가를 결정하는 문제이다. 이는 도시방범 CCTV 후보지가 증가할수록 선택을 위한 경우의 수가 급속히 증가하는 NP-Hard 문제로 휴리스틱 기법 중 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)을 이용하여 최적해(Optimal Solution)를 찾고 지역 편차에 대한 페널티와 후보지에서 통신망 간 연결에 대한 비용 페널티를 반영하여 해(Solution)를 찾고자 한다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 도시방범 CCTV의 위치선정 시 위치에 대한 범죄 예방과 대응력 합계의 최대화와 지역 불균형의 최소화를 하는 다목적계획 문제이며, 도시방범 CCTV의 후보지 중 예산과 통신망의 자원제약 하에서 어느 지역에 어떤 구성의 CCTV 카메라를 구성하고 어떤 거점통신연결망에 연결할 것인가를 결정하는 문제이다.

따라서, 이 문제를 해결하기 위해, (1) CCTV의 후보지와 CCTV 카메라를 구성 및 연결되는 거점통신망을 의사결정변수로 하여, 도시방범

CCTV의 위치선정에 대한 범죄 예방과 대응력의 합을 최대화하는 수학적 모델을 만든다. (2) 수학적 모델의 해결을 위한 알고리즘을 제안한 후, (3) 제안 알고리즘의 실험을 위해 프로그래밍하고, (4) 데이터셋을 생성한 후 모의실험을 통해 알고리즘이 유효하다는 것을 검증한다.

본 연구의 모델은 CCTV 구성에 따른 선택 위치별 발생 트래픽(발생 통신량)과 비용에 대한 제약조건을 고려하고, 지역 불균형을 반영한다. 후보지 중 선택지에 대한 지역별 불균형반영은 지역 간 편차를 고려하기 위해 페널티 계수를 적용한다. 각 후보위치에 대한 범죄 예방과 대응력의 합을 최대로 하기 위하여 지역 후보 중 CCTV 구성을 결정하고 어떤 거점통신망에 연결할 것인지를 결정한다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)을 기반으로 하는 개선 휴리스틱 알고리즘이며, 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)을 응용하여 전역 탐색에 관한 부분을 개선하고, 지역 탐색(Local Search)은 가변 이웃 탐색(Variable Neighborhood Search) 기법을 적용한다. 알고리즘의 검증에 위해 Microsoft 사의 Visual Basic Application을 이용하여 데이터셋 생성규칙에 따라 실험을 위한 모의 데이터셋을 생성하고, Visual Studio의 C#을 이용하여 모형에 대한 알고리즘을 코드로 구현한다. 마지막으로 모의실험을 통해 무작위 탐색의 방법과 개선규칙을 적용한 방법을 비교하여 구현된 코드를 통해 알고리즘의 안정성과 유용성을 확인한다.

1.3 연구의 구성

본 연구는 총 6장으로 구성한다. 제1장에서는 연구의 배경 및 목적, 연구 내용 및 방법, 연구 구성을 서술하였다. 제2장에서는 본 연구와 관련된 이론적 배경을 살펴보았다. 제3장에서는 본 연구의 문제에 대한 수학적

적 모형을 제시하였다. 제4장에서는 제시된 수학적 모형에 대한 알고리즘과 개선규칙들을 약술하였다. 제5장에서는 제시된 모형에 대한 알고리즘을 프로그램으로 코드 구현하고, 모의 데이터셋을 통한 모의실험 결과를 기술하였다. 제6장에서는 모의실험의 결과를 중심으로 연구의 결과를 기술하고, 본 연구의 시사점과 그 한계 및 향후 연구에 대한 방향을 제안하였다.

제 2 장 이론적 배경

본 연구는 도시방범 CCTV의 위치선정에 따른 범죄 대응력 합계의 최대화 문제이다. 따라서 도시방범 CCTV에 관한 문헌연구, 알고리즘을 통한 도시방범 CCTV의 적정한 선정 위치의 탐색을 위한 휴리스틱 알고리즘, 페널티와 가중치 기법에 관하여 선행연구를 하였다.

2.1 도시방범 CCTV

[표 2-1]은 2년마다 발표되는 통계청 「사회조사」 자료에서 사회의 가장 큰 불안 요인에 관하여 정리한 것으로, 범죄 발생에 대한 불안감은 2016년과 2018년에 1위, 2020년과 2022년에 3위로 2019년에 발생한 코로나바이러스감염증-19 팬데믹으로 인한 신종질병에 관한 불안을 제외하면 사회의 가장 큰 불안 요인임을 알 수 있다.

[표 2-1] 사회의 가장 큰 불안 요인(통계청)

항목	2016년	2018년	2020년	2022년
국가안보	19.3	18.6	11.3	14.5
자연재해	3.0	6.6	3.3	4.0
환경오염	5.8	13.5	6.6	8.4
인재	6.5	9.2	5.6	8.0
경제적위험	15.5	12.8	14.9	13.3
자원(에너지) 고갈	0.4	-	-	-
도덕성 부족	9.5	9.5	7.4	9.6
신종질병	4.9	2.9	32.8	21.0
범죄발생	29.7	20.6	13.2	13.9
빈부격차로인한 계층갈등	5.3	6.0	4.8	7.0
기타	0.1	0.1	0.1	0.2
합계	100.0	100.0	100.0	100.0

정부는 국민의 범죄 불안감 해소를 위해 2005년 경찰청의 ‘범죄 예방을 위한 설계지침’을 시작으로 범죄 예방 환경설계(Crime Prevention Through Environmental Design, CPTED)를 본격적으로 도입하였으며, 방법 CCTV, 보안등, 비상벨, 반사경, 벽화(담장 도색), 미러시트 등 다양한 범죄 예방 환경조성 시설·기법들을 사업 대상지에 적용하고 있다.

이러한 범죄 예방 환경조성 시설·기법들 중 방법 CCTV의 설치 및 운영 대수는 매년 가파른 속도로 증가하고 있다.

[표 2-2] 2008~2022 공공기관 CCTV 설치 및 운영 대수(통계청)

구 분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
총 CCTV 설치(대)	157,197	241,415	309,227	364,302	461,746
전년 대비증가(대)	57,240	84,170	67,812	55,075	97,444
전년 대비증감비(%)	57.3	53.6	28.1	17.8	26.7
구 분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
총 CCTV 설치(대)	565,723	655,030	739,232	845,136	954,261
전년 대비증가(대)	103,977	89,307	84,202	105,904	109,125
전년 대비증감비(%)	22.5	15.8	12.9	14.3	12.9
구 분	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년
총 CCTV 설치(대)	1,032,879	1,148,770	1,336,653	1,458,465	1,607,388
전년 대비증가(대)	78,618	115,891	187,883	121,812	148,923
전년 대비증감비(%)	8.2	11.2	16.4	9.1	10.2

[표 2-2]는 2008년부터 2022년까지 공공기관 CCTV 설치 및 운영 대수의 증가에 대한 통계청 자료이며, 이는 공공기관 CCTV의 수가 2022년에 2008년 대비 약 10배가 넘게 증가하였음을 보여준다.

일반적인 도시방범 CCTV의 형태는 공공영역인 골목길이나 도로 등에 폴(Pole) 형태로 설치되고 그 폴에 회전형 카메라와 고정형 카메라들이 설치되며, 지자체 단위의 광 자가 통신망에 연결되어 지자체의 도시 통합관제센터로 카메라 영상이 전송된다. 도시 통합관제센터에서는 수도권의 경우 적게는 1,000대에서 많게는 10,000대가 넘는 카메라를 24시간 관제요원들이 관제하고 있다. 도시 내 각종 범죄 발생 시 경찰들은 해당 관제센터로 방문하여 영상분석을 통한 빠른 범죄대응이 가능하다. 중앙 정부와 지자체의 범죄대응을 위한 정책에 힘입어 우리나라는 행정안전부의 2021년 기준으로 220여개 지자체에 도시 통합관제센터가 구축되어 있다.

[표 2-3] 방범용 CCTV 설치 전·후 범죄 감소 효과(조영진 외, 2019)

구분	연도	평균	t(p<0.01)
5대범죄(야간)	2016년	41.64	5.736
	2018년	36.95	
절도(야간)	2016년	14.49	4.807
	2018년	12.51	
폭력(야간)	2016년	24.86	4.787
	2018년	22.38	

2020년 1월 9일 경찰청과 국무총리실 산하 건축 도시공간 연구소의 공동 보도자료 연구 결과에서는 범죄 예방시설물인 CCTV가 범죄예방효과에 어떤 결과가 있는지를 연구 검증하여 발표하기도 하였다. [표 2-3]은 조영진 외(2019)의 연구에서 방범용 CCTV(가로용 방범 카메라)의 설치 전·후 범죄 감소 효과의 검증에 t-Test를 수행한 결과이다. 이 연구는 서울시를 대상으로 하였으며, 방범용 CCTV의 설치가 거시적 공간 차원

에서 범죄 감소에 유의미한 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다. 특히 주간보다는 야간에 발생한 범죄 감소에 더 뚜렷한 영향을 미친 것으로 연구되었다(조영진 외, 2019).

국·내외적으로 공공성격의 방법 CCTV에 관해 진행된 연구를 크게 분류하면 범죄예방효과, 비용 효과성, CCTV 위치 적정성 등으로 구분된다(강용길 & 엄운호 2020).

Farrington et al.(2007)은 CCTV의 범죄 억제 효과분석에 관하여 연구하였으며, Caplan et al.(2011)은 CCTV의 감시 영역 내 범죄 억제 효과에 관하여 연구하였다. Lim & Wilcox(2017)은 CCTV의 범죄 감소 효과가 범죄의 유형과 시간에 영향이 있는가에 관하여 연구하였으며, Ratcliffe & Groff(2019)는 CCTV의 설치 영역별 범죄 감소 효과에 관하여 연구하였다. 국내연구로 박은형 & 정지수(2014)는 CCTV의 범죄 감소 효과를 지역유형별과 범죄유형별로 연구하였으며, 박철현 & 최수형(2013)은 강남구 논현1동에 CCTV 설치 전·후의 범죄 변화를 분석하였으며, 해당 구역 및 인근 지역 범죄 감소에 효과를 확인하였다. 단순 범죄 건수 비교에서 해당 구역인 논현1동의 경우 강도 65%, 절도 36%, 폭행 36%의 감소 효과를 보였으며, 인근 지역도 강도 38%, 절도 24%, 폭행 5%의 감소 효과를 보였다. 정진성 & 황의갑(2012)은 천안 아산 지역을 대상으로 CCTV가 재산범죄에 미치는 영향을 연구하였으며, 유의미한 감소 효과가 있음을 나타내었다. Jang et al.(2018)은 서울 동작구를 대상으로 공공 방범용 CCTV의 범죄 감소 효과를 분석하였으며, 그 결과 CCTV 감시 면적 비율이 높을수록 절도가 감소한다는 결과를 보였다. 박현호 외(2011)는 광명시를 대상으로 CCTV의 설치 효과를 분석. 실험구역의 강·절도 범죄가 47.4%가 감소함을 나타내었으며, 강석진 외(2009)는 CCTV 설치 전·후의 범죄 불안감 감소 효과를 분석하여 범죄

예방효과가 존재함을 나타내었다.

허선영 & 문태현(2015)의 연구에 따르면 범죄 예방을 위한 CCTV 위치 적절성 및 효과성은 CCTV의 위치에 따라 결정적 효과가 좌우된다고 하였다. Clarke(1997)는 잠재적 범죄자가 범행기회를 감소시키는 역할을 한다고 하였다. 공공영역에서의 CCTV 설치 효과에 대해서는 최근 많은 문헌에서도 언급하고 있고, 김영현(2020)의 스마트시티 통합플랫폼 성과 연구에서도 CCTV가 스마트시티의 범죄대응에 있어 주요 역할을 하는 사례들을 언급하였다. 이는 도시방범 CCTV의 설치 위치가 중요한 기본적인 역할을 하고 있다고 할 수 있을 것이다.

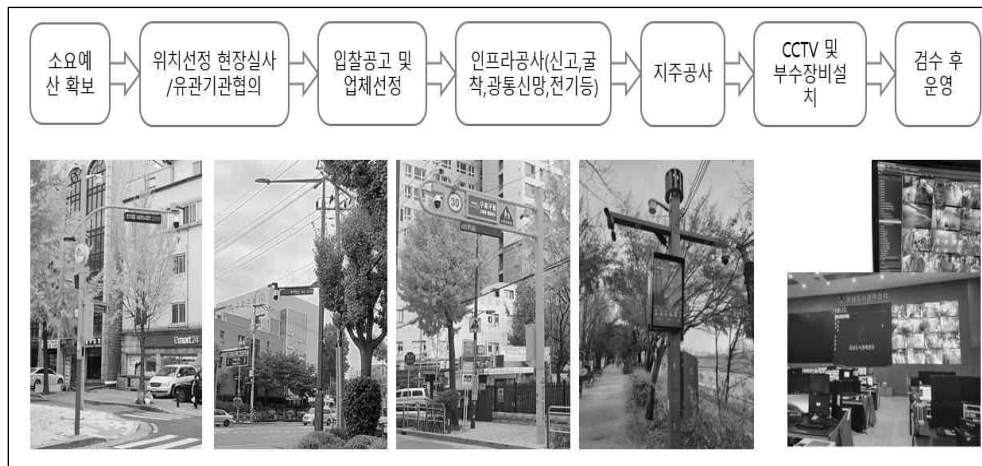
[그림 2-1]과 같이 CCTV와 범죄 발생 관계는 CCTV의 증가에 따라 범죄가 감소하는 결과를 보인다(허선영 & 문태현, 2015).



[그림 2-1] CCTV와 범죄 발생 관계(허선영 & 문태현, 2015)

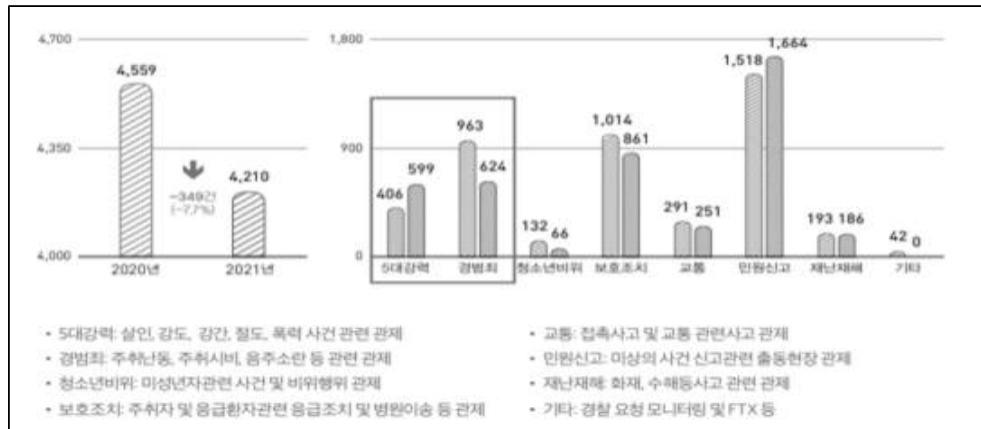
도시화에 따른 범죄에 대한 예방과 대응에 효과를 보이는 방법용 CCTV의 위치선정은 중요한 문제이다. 공공시설물인 방범 CCTV의 설치 민원요구는 국내의 경우 2003년 강남에 설치 이후 개인정보보호 관련 문제의 논란이 있었으나 지금은 급속히 설치가 증가하고 있으며, 설치요구 관련 예산도 급속히 증가하고 있다. 중복투자 방지와 효과의 극대화

를 위해 통신망과 비용의 제한적인 요소를 갖는 공공시설물로써 설치 위치 선정 문제는 합리적인 의사결정이 필요하다.



[그림 2-2] 도시방법 CCTV 선정 절차 및 형태 예시

공공시설물인 도시방법 CCTV의 형태와 설치 위치 선택과정을 살펴보면 [그림 2-2]와 같은 과정을 거쳐 결정되기 때문에 일단 설치가 되고 난 후에는 위치에 대한 오류나 위치 적정성이 낮아도 쉽게 변경하기가 힘든 반면에 설치 비용과 범죄 예방 및 대응에 대한 기회손실 위험은 큰 편이다. 따라서, 설치 위치를 결정하기 전에 후보지에 관해 본 연구의 목적함수 값인 위치별 범죄 예방 및 대응력의 전체합을 최대한 하면서 지역 불균형 최소화에 대한 문제와 제약사항으로 주어진 예산과 거점통신망의 용량을 고려한 선택 위치 결정과 구성은 사전 제시 모형에 의한 실험을 통하여 결정하는 것이 합리적인 의사결정이라 할 수 있을 것이다. 여전히 증가하는 범죄에 대응하기 위한 도시방법 CCTV의 설치 위치가 필요한 지역에 적절하게 설치되고 있는가에 대한 문제는 확인되지 않고 있으며, 방법용 CCTV의 입지를 제안하는 연구 또한 미비한 실정임을 지적하고 있다(이민정 & 김영호, 2014).



[그림 2-3] 의정부시 도시방범 CCTV와 범죄대응 사례(김지훈, 2023)

[그림 2-5]는 도시방범 CCTV가 범죄 예방 및 대응에 대한 기여도를 시각화한 예로 의정부시의 경우 방범용 CCTV 설치 최적지 선정을 위한 빅데이터 분석으로 위치선정을 하고 사례 발표하였다(김지훈, 2023).

2.2 휴리스틱 기법

본 연구는 도시방범 CCTV 위치선정에 대해 위치별 범죄 예방과 대응력의 전체 합을 최대로 하고 지역 불균형 최소화의 합을 최대화하는 다목적 계획법의 문제로 도시방범 CCTV의 후보지에서 지역에 도시방범 CCTV 구성과 거점통신망 연결에 관한 결정에 따라 목적함수의 값이 달라진다. 통신망의 가용량과 예산의 제약하에 후보지의 수가 많아질수록 도시방범 CCTV 설치 위치 선택을 위한 목적함수 값을 최대화하기 위해 CCTV 구성과 연결 거점통신망의 연결을 결정하는 의사결정의 경우의 수가 급격히 상승하게 되는 NP-Hard Class 문제로 분류된다.

NP-Hard Class의 문제의 경우 해(Solution) 영역의 크기가 커지면 모든

해 영역을 탐색하는 소요시간이 급증하게 되어 비교적 짧은 시간 내에 우수한 해를 찾을 수 있는 휴리스틱 기법을 사용하는 것이 현실적이다(Ahn & Erenguc, 1998).

실세계의 많은 문제가 Maximal Covering 문제로 표현될 수 있는데 대표적인 응용문제로 승무 일정계획문제와 위치선정 문제를 들수있다(황준하, 2006). 위치선정 문제는 자원제약하에서 최대한 많은 서비스를 제공할 수 있는 본 연구의 범죄 예방 및 대응력의 합을 최대로 하는 CCTV 구성으로 선정하는 문제는 실세계 문제에 있어서 행과 열의 수가 방대하고 본 연구처럼 후보지가 1000개만 되어도 제약조건 하에서 설치 위치 탐색은 실세계 문제에서 탐색 경우의 수가 무한대로 수렴하여 최적해를 찾는 것은 사실상 불가능하다.

안태호(1998)의 연구에 적용된 휴리스틱 기법은 이웃해 탐색 기법(Neighborhood-search Algorithm)으로 이 알고리즘은 임의의 가능 해로부터 이웃에 더 나은 해를 탐색하는 과정을 반복하여 개선하는 방법으로 더이상 개선되지 않을 때 종료한다(Taha, 2011).

휴리스틱 기법 관련 연구로 Kolisch & Drexler(1997)가 제시한 단일 단계 탐색을 적용한 지역탐색 방법, 안태호(1998)의 자원의 가용량이 시간에 따라 변하는 경우. Lova et al.(2006)이 제안한 다중 경로 휴리스틱 기법이 있다.

본 연구에서는 휴리스틱 기법의 하나인 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)을 이용하여 초기해(Feasible Solution)를 구축하고, 이웃해 탐색(Variable Neighborhood Search) 기법과 개선규칙들을 이용한 알고리즘인 휴리스틱 기법을 사용하여 해(Solution)를 개선해 나가는 방법을 사용한다.

2.2.1 탐욕 알고리즘과 매트로이드 구조

탐욕 알고리즘은 최적해(Optimal Solution)를 구하는 데 사용되는 근사적인 방법으로, 여러 경우 중 하나를 결정해야 할 때마다 그 순간에 최적이라고 생각되는 것을 선택해 최종적인 해답에 도달한다(Lancichinetti & Fortunato, 2009).

따라서, 결정 시점에서는 최적이지만 최종 해가 전역(Global) 최적이라는 보장이 없다. 그러나 탐욕 알고리즘은 대부분의 경우에 계산 속도가 빠르기 때문에 실용적으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 탐욕(Greedy)의 알고리즘으로 최선의 초기해를 탐색하며, 통신량과 예산의 제약사항과 지역분배에 대한 페널티 및 범주의 분류에 따른 가중치를 고려하여 최적의 도시방법 CCTV의 위치선정에 대한 근사해를 찾으려 한다.

관련 논문을 살펴보면 Chen et al.(2021)은 분산 환경에서 전통적인 블로킹 플로우샵 스케줄링 문제를 일반화한 분산 블로킹 플로우샵 스케줄링 문제(DBFSP)의 연구에서 6개의 건설적 휴리스틱과 반복 탐욕(IG) 알고리즘이 Makespan을 최소화하기 위해 제안하였다. Li & Lim(2018)의 연구에서는 효율적이고 안전한 재고와 물류 시스템에서의 매일 상점별 재고의 보유 단위(SKU)에 대한 수요 예측에 Greedy Aggregation Decomposition 휴리스틱 기법이 제안되었다. Ballestin & Leus(2009)의 연구에서는 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure(GRASP)의 적용된 버전이 제안되었다. GRASP는 탐욕적인 임의의 해의 연속적인 구성과 그에 따른 반복적인 개선으로 구성된다. 탐욕적인 임의의 해는 솔루션 세트에 요소를 추가하여 생성되며 요소 목록은 달성할 솔루션의 품질에 따라 탐욕 함수에 의해 순위가 지정된다(Li et al., 2022).

매트로이드 구조(Matroid Structure)란 독립성을 가지는 부분 집합들을 모아놓은 집합이라 할 수 있다. 매트로이드 구조에 대해서 탐욕 알고리

즘은 언제나 최적해를 찾아낼 수 있다. 그러나 매트로이드 구조가 탐욕 알고리즘을 사용하는 모든 경우를 해결하지는 못한다. 따라서, 어떤 문제의 공간이 매트로이드 구조를 이루는 경우 탐욕 알고리즘이 최적해를 도출해낼 수 있지만, 탐욕 알고리즘이 최적해를 도출할 수 있는 모든 문제가 매트로이드 구조인 것은 아니다.

2.2.2 적응형 이웃 검색 알고리즘

적응형 이웃 검색 알고리즘(Adaptive Neighborhood Search Algorithm)은 Ropke & Pisinger(2006)에 의해 제안되었다. 이는 알고리즘이 더 나은 솔루션을 얻을 가능성을 높이기 위해 솔루션을 파괴하고 복구할 수 있는 좋은 연산자를 자동으로 선택할 수 있도록 이웃 검색을 기반으로 연산자의 효과 측정을 증가시킨다(Zhao et al., 2023). Li et al.(2022)은 혼합 정수 선형 계획법 모델을 해결하고 차량 스케줄링 문제를 최적화하기 위해 탐욕적 무작위 적응 탐색 프로세스(마스터)와 가변 이웃 탐색(VNS)을 결합한 하이브리드 최적화 알고리즘을 제공하였다. Yu et al.(2022)는 2레벨 전기 트럭 기반의 로봇 배급 시스템을 제안하고, 그리디 경로 평가 방법과 선형 프로그래밍 기반 경로 평가 방법을 설계하고, 대규모 사례 해결을 위한 적응형 대규모 이웃 검색 알고리즘을 제안하였다. Ostermeier et al.(2022)는 트럭-로봇 시스템의 라스트 마일의 배포 시간 창을 비용 최적으로 라우팅하는 방법을 제안하고, 이웃 검색과 비용별 우선순위 규칙의 조합을 기반으로 하는 솔루션 알고리즘을 제안하였다. 동시에 이 방법은 무인 차량의 조정 하위 문제를 해결하기 위한 두 가지 옵션을 제공하고 평가한다. Li et al.(2020)은 이동 위성 위치를 찾는 데 사용되는 이진 변수와 시간 제약에 대한 연속 변수를 도입하여 새로운 모델을 공식화했다. 트럭-UAV 결합 항공기의 배포 경로를 최적

화하는 문제를 해결하기 위해 적응형 대규모 이웃 검색 휴리스틱 방법도 제안되었다. Chenet et al.(2021a)은 고전적인 VRP의 변형으로 시간 창과 배분 로봇(VRPTWDR)을 사용한 차량 경로 문제를 제안하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구자는 적응형 대규모 커뮤니티 검색 휴리스틱 알고리즘도 설계하였다. Guo et al.(2022)은 새로운 유통 모델을 구축하고 자율주행차의 자체 유통을 기존 유통 링에 통합하고 링 지점으로 구성된 복잡한 네트워크를 형성하였다. 동시에, 병합 휴리스틱과 분할 휴리스틱을 결합한 모델을 해결하여 최적의 솔루션 생성을 촉진하기 위해 개선된 적응형 대규모 이웃 검색(ALNS, Adaptive Large Neighborhood Search) 알고리즘이 설계되었다. Wang et al.(2021)은 ALNS 알고리즘을 설계하고 많은 실험적 비교 및 분석을 수행하였다. 연구 결과에 따르면 ALNS 알고리즘은 실행 시간 측면에서 Gurobi에 비해 동일하거나 더 나은 결과를 갖는 명백한 이점이 있는 것으로 나타났다.

이웃해 탐색 기법의 가장 기본적인 형태는 탐색 시 좋으면 진행하는 형태의 언덕 오르기(Hill-Climbing Search)와 단순 언덕 오르기 탐색(Simple Hill-Climbing Search)이 있으며, 언덕 오르기 탐색의 한계를 극복하기 위한 탐색 기법으로 타부 탐색과 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)이 가장 널리 사용되고 있다(황준하, 2006).

언덕 오르기 탐색(Hill-Climbing Search)은 하나의 이웃 구조를 사용하고 비슷하지만, 가변이웃 탐색(Variable Neighborhood Search) 기법은 여러 종류의 이웃 구조(Neighborhood Structure)를 사용하여 최적해를 찾는 방법이다. 탐욕 알고리즘 중 이웃해 탐색 기법은 이웃해들 중 더 좋은 해를 선택하는 방법에 따라서 달라지는데 현재 해에서 무작위(Random)로 이웃해를 생성한 후 현재 해보다 좋으면 업데이트하는 방법과 모든 이웃해들 중 현재해보다 가장 좋은 해를 찾아 업데이트하는 방

법이 있다. 일반적으로 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm) 탐색의 문제점은 지역 최적화로써 지역 최적해에 도달할 경우 전역적으로는 더 좋은 해가 존재하지만 이웃해들 중에서는 더 좋은 해가 존재하지 않기 때문에 알고리즘을 종료할 수 있다.

2.2.3 타부 탐색 알고리즘

타부 탐색(Tabu Search)은 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘(Simulated Annealing), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm) 등과 같이 주어진 최적화 문제를 풀기 위한 메타휴리스틱(Metaheuristic) 알고리즘이다. 시뮬레이티드 어닐링, 유전자 알고리즘과 같은 최적화 알고리즘들은 기본적으로 이웃해 탐색 기법을 기반으로 동작하기 때문에 현재 해가 개선되는 방향으로만 진행하려는 성질이 있다. 이러한 성질로 인해 시뮬레이티드 어닐링과 유전자 알고리즘은 빈번하게 지역 최적해(Local Optimum)에 수렴한다. 타부 탐색은 지역 최적점에 수렴하는 문제를 해결하기 위해 지역 최적해에 대한 정보를 저장하고, 이 정보를 기반으로 지역 최적해를 회피한다. 무선 센서 네트워크에서 센서 노드배치문제에서 장길웅(2019)의 연구에서는 네트워크의 감시영역을 최대화하기 위해 타부 서치 알고리즘을 제안 하였다.

2.2.4 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘

시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)은 지난 몇 년 동안 큰 주목을 받은 어려운 최적화 문제에 대해 좋은 해(Solution)를 얻는 방법이다. 최근의 관심은 Kirkpatrick et al.(1983)의 연구와 Cerny(1985)의 작업으로 시작되었다. 그들은 Metropolis et al.(1953)이 제안한 고체의 어닐링을 시뮬레이션하기 위한 모델을 어떻게 사용하여, 목적함수가 고체의 상

태의 에너지에 해당하는 최적화 문제에 적용할 수 있는지 보여주었다.

시물레이티드 어닐링(Simulated Annealing)은 조합최적화문제에 적용되며, 많은 조합의 문제들이 NP-Hard임을 설명한다. 시물레이티드 어닐링(SA)은 지역 최적해를 넘어 문제의 전역 최적해에 더 가깝게 접근할 수 있는데 물리적으로는 고체의 어닐링 과정과 조합 최적화 문제 사이의 유사성에서 비롯되었다. 고체의 어닐링 과정은 물질을 녹인 후 천천히 온도를 낮추어 저에너지 상태를 찾는 과정이다. 시물레이티드 어닐링 알고리즘은 마르코프 체인(Markov chain) 이론을 사용하여 모형화할 수 있으며, 이는 알고리즘의 수렴성과 관련된 이론적 결과를 제공한다. 시물레이티드 어닐링은 다양한 최적화 문제에 대해 높은 품질의 해결책을 제공할 수 있지만, 특정 알고리즘에 비해 실행시간이 길 수 있다는 것을 강조하며, Eglesse(1990)은 연구에서, 시물레이티드 어닐링(SA)을 사용할 때는 적절한 이웃 구조와 냉각 일정을 고려하여 효율적인 알고리즘을 개발하는 것이 중요하다고 강조한다.

[표 2-4] Simulated Annealing Algorithm in Pseudo-code

```
Select an initial state  $i \in S$ ;  
Select an initial temperature  $T > 0$ ;  
Set temperature change counter  $t = 0$ ;  
Repeat  
  Set repetition counter  $n = 0$ ;  
  Repeat  
    Generate state  $j$ , a neighbour of  $i$ ;  
    Calculate  $\delta = f(j) - f(i)$ ;  
    If  $\delta < 0$  then  $i := j$   
    else if  $\text{random}(0, 1) < \exp(-\delta / T)$  then  $i := j$ ;  
     $n := n + 1$ ;  
  until  $n = N(t)$ ;  
 $t := t + 1$ ;  
 $T := T(t)$ ;  
until stopping criterion true.
```

2.3 페널티와 가중치 기법

의사결정 분야 등에서 제약조건 하에서의 최적화 문제(Constrained Optimization Problem)는 일반적이다. 복잡성의 증가로 최적화 문제에 많이 사용되는 메타 휴리스틱의 알고리즘은 제약조건 처리 기술을 갖추고 있어야 한다. 페널티기법은 이러한 제약조건에서 자유로워질 수 있는 기술로써 개념적으로 단순하지만, 알고리즘의 성능 개선에 큰 영향을 준다(Datta and Deb, 2014). 페널티기법을 적용하는 방법은 다양하지만, 일반적으로 목적함수에 페널티 가중치를 나타내는 페널티 계수(Penalty Coefficient)와 사용자 정의 페널티 함수(Penalty Function)의 곱을 더하는 형태로 제약사항에 구속받지 않고 문제로 해결할 수 있게 한다(Rasheed, 1998; Barbosa & Lemonge, 2008).

Coello(2002)의 연구에서는 이용 가능한 많은 페널티기법을 Static Penalty, Dynamic Penalty, Annealing Penalty, Adaptive Penalty, Co-evolutionary Penalty, Death Penalty 등 6가지 종류로 구분하였다. 이 중 적응형 페널티(Adaptive Penalty) 기법은 탐색 프로세스에서 피드백을 이용하여 관련한 모든 매개 변수의 값의 설정을 자동으로 할 수 있어서 다양한 관점에서 연구가 진행되었고, 대부분의 페널티 함수에서 계산의 시작 부분에 몇 가지 계수 또는 상수를 지정해야 하며, 이러한 계수는 일반적으로 명확한 물리적 의미가 없으므로 경험을 통해 이러한 계수의 적절한 값을 추정하는 것은 거의 불가능하고, 방식의 대부분은 전체 계산에 걸쳐 일정한 계수를 사용한다(안정일, 2017).

제 3 장 문제의 모형

3.1 문제의 개요

본 연구는 도시방범 CCTV의 설치 위치선정에 관한 문제를 다루며, 문제의 의사결정은 CCTV의 설치 위치와 구성, 그리고 연결되는 거점통신망의 선정이다.

범죄 예방이란 ‘범죄의 실질적 수준을 감소시키거나 범죄 공포를 감소시키기 위하여 사전에 행하는 행동을 말하며, 장래에 대한 범죄의 방지’라고 정의하였다(이상원, 2005). 또한, 미래의 범죄행위로 인한 비용, 범죄의 결과, 범죄를 유발하는 요인, 범행의 기회를 조정, 중재하는 것으로 본다고 하였다(임민혁 & 홍준현, 2008). 본 연구에서 범죄 예방력이란 미래에 잠재적으로 발생할 수 있는 범죄를 사전에 억제하거나 제거하여 범죄 발생기회의 감소 빈도를 의미한다.

범죄대응이란 ‘대응’의 사전적 의미로 ‘어떤 일이나 사태에 맞추어 태도나 행동을 취함’ 말하는데 범죄대응은 발생 이후의 사건에 맞추어 취하는 태도나 행동을 의미한다. 본 연구에서는 범죄 발생 이후의 사건에 대해 도시방범 CCTV가 범죄의 중요도에 따라 각 범죄 발생 위치에서의 사후처리에 기여한 빈도수를 의미한다.

도시방범 CCTV란 범죄 예방 및 대응을 목적으로 도시 내 범죄 발생 우려가 있는 골목길, 공원길이나 놀이터 등의 공공영역에 설치되는 CCTV를 말한다. 본 연구에서 CCTV 설치 위치란 2차원 평면에서의 위치(경도와 위도 값)를 말하며, 높이는 고려되지 않는다.

도시방범 CCTV는 일반적으로 약 6M 높이의 폴(Pole) 구조물에 CCTV 카메라가 설치된다. 하나의 폴에 카메라 1대만 설치되는 경우도 있지만 여러 대의 카메라가 설치되기도 한다. 대표적인 카메라 종류로

고정형, 회전형과 고해상도 어안형을 들 수 있다. CCTV 카메라란 영상 정보를 획득하고 전송하는 장치이다. 카메라의 해상도나 초당 프레임 수가 높을수록 획득하는 영상 정보의 품질은 향상된다. 하나의 폴에 설치되는 카메라의 수가 많아지고 영상 정보의 품질을 향상시키면, 해당 CCTV 위치와 관련된 도시 방법의 예방력과 대응력은 높아지지만 통신량은 증가한다. 본 연구에서는 하나의 폴에 설치되는 카메라 종류/수와 품질의 조합을 카메라 구성이라 부른다.

CCTV에서 획득한 정보는 중앙 통신망을 통해 실시간으로 관제센터로 전송된다. 그런데 중앙 통신망은 다수의 거점통신망으로 분기되며, CCTV 등과 같은 단말 장비는 중앙 통신망에 직접 연결되지 않고 거점 통신망을 거쳐 중앙 통신망에 연결된다. 그러므로 CCTV는 사용 가능한 거점통신망 중 하나에 연결되어야 한다.

본 연구는 CCTV 설치 문제의 제약조건으로 설치 예산의 제약과 거점 통신망별 사용량의 제약을 고려한다. 카메라 구성에 따라 CCTV의 설치 비용은 결정된다. 그러므로 CCTV 설치 비용의 합계는 카메라 구성별로 설치된 CCTV의 수에 따라 결정되는데, 이 비용의 합계는 주어진 예산을 초과할 수 없다. 카메라 구성에 따라 CCTV의 정보 사용량도 결정된다. 거점 연결망마다 최대 통신용량이 정해져 있으며, 최대 통신용량 이상으로 사용하는 경우 CCTV와 관제센터 간의 정보 전달에 지장이 발생할 수도 있고 나아가 그 거점 연결망에 접속된 CCTV들에 전체 장애(Blackout)가 생길 수도 있으며 거점통신망의 상위 망인 중앙 통신망에도 장애가 유발될 수 있다. 그러므로 접속된 CCTV의 정보 통신량의 합계는 거점통신망의 최대 통신용량을 초과할 수 없다.

본 연구는 지역별 불균형을 고려하면서 도시범위 CCTV의 예방과 대응력을 최대화하는 것을 목적으로 한다. 여기서 지역별 불균형이란 지역

별 CCTV 설치에 관련된 불균형을 의미한다. 경우에 따라 지역별 CCTV 설치 대수가 중요할 수도 있고, 경우에 따라 지역별 설치 후보지 중에 설치된 CCTV의 비율이 중요할 수도 있고, CCTV 설치 비용이 중요할 수도 있다. 어떤 것이 중요한 가는 지역에 따라 달라질 수 있다. CCTV 설치 사업은 주민의 관심이 높고 민원에 영향을 많이 받는 경우가 빈번하여, 본 연구에서는 지역별 CCTV 설치 후보지 중 실제 설치되는 비율을 다룬다. 본 문제에서 지역별 불균형은 지역별 설치비율 편차의 절댓값에 지역별 가중치를 곱한 값들의 합으로 정의한다. 본 문제의 목적함수는 도시범죄 CCTV의 예방과 대응력의 최대화와 지역별 불균형의 최소화이다. 본 연구에서는 두 개의 목적함수를 하나의 목적함수로 만들기 위해 페널티(Penalty)라는 가중치를 사용하였으며, 새로운 목적함수는(위치별 범죄예방/대응력의 합계 - Penalty \times 지역별 불균형)의 최대화이다.

3.2 문제의 가정

본 문제에서 가정은 다음과 같다.

- (1) CCTV 설치 후보지의 수, N 은 사전에 알려져 있다.
- (2) 카메라 구성의 수, K 는 사전에 알려져 있다.
- (3) CCTV의 연결 거점통신망의 수, H 는 사전에 알려져 있다.
- (4) CCTV 후보지 중 설치를 하는 경우, 그 CCTV의 카메라 구성과 연결 거점통신망을 결정하여야 한다.
- (5) CCTV 후보지 중 설치를 하는 경우, 그 CCTV의 선택 가능한 카메라 구성 중 오직 하나의 구성만을 선택하여야 한다.
- (6) CCTV 후보지 중 설치를 하는 경우, 그 CCTV의 연결 가능한 거점통신망 중 오직 하나의 거점통신망을 선택하여야 한다.

- (7) 예방과 대응력은 CCTV 위치와 카메라 구성으로 결정된다. 범죄 빈도가 높은 위치에 고해상/고품질 구성이면 예방과 대응력은 커지고, 범죄 빈도가 낮은 위치에 저해상/저품질 구성이면 예방과 대응력은 낮아진다.
- (8) CCTV 위치와 카메라 구성의 조합별로 예방과 대응력은 사전에 알려져 있다.
- (9) CCTV의 설치 비용과 통신량은 구성에 의해 결정된다. CCTV 설치 비용은 위치에도 영향을 받으나, 그 영향의 정도가 미미하여 본 모형에서는 무시한다.
- (10) 카메라 구성에 따른 CCTV 설치 비용과 통신사용량은 사전 알려져 있다.
- (11) 거점통신망의 사용량은 연결된 CCTV의 구성들에 의해 결정된다.
- (12) 거점통신망의 최대 통신용량은 거점통신망마다 다를 수 있으며, 최대 통신용량은 사전에 알려져 있다.
- (13) 거점통신망의 사용량은 최대 통신용량을 초과할 수 없다.
- (14) CCTV 설치 대상 지역은 D 개의 하위 지역으로 나누어진다.
- (15) 불균형에 관한 지역별 가중치는 사전에 알려져 있다.
- (16) 불균형으로 인한 페널티 계수는 사전에 알려져 있다.

3.3 문제의 수식화

본 연구의 수학적 모형은 다음과 같다.

$$Max \sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^K PR_{ijk} \times x_{ijk} - Pen_c \times \sum_{i=1}^{N_D} \left(w_i \times \left| \frac{n_i}{N_i} - \frac{\sum_{l=1}^{N_D} n_l}{N} \right| \right) \quad [1]$$

Subject to

$$x_{ijk} = \begin{cases} \text{지역 } i \text{에 후보지 } j \text{에 구성 } k \text{로 CCTV 설치하면} & 1 \\ \text{아니면} & 0 \end{cases}, \quad \forall ij k \quad [2]$$

$$y_{ijh} = \begin{cases} \text{지역 } i \text{에 후보지 } j \text{의 CCTV가 거점 } h \text{에 연결되면} & 1 \\ \text{아니면} & 0 \end{cases}, \quad \forall ij h \quad [3]$$

$$N = \sum_{i=1}^{N_D} N_i \quad [4]$$

$$n_i = \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \quad \forall i \quad [5]$$

$$w_i = \frac{N_i}{N}, \quad \forall i \quad [6]$$

$$\sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^K c_k \times x_{ijk} \leq B \quad [7]$$

$$Trfc_{ij} = \sum_{k=1}^K t_k \times x_{ijk}, \quad \forall ij \quad [8]$$

$$\sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_i} Trfc_{ij} \times y_{ijh} \leq Trfc_{-} C_h, \quad \forall h \quad [9]$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq 1 \quad \forall ij \quad [10]$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} - \sum_{h=1}^H y_{ijh} = 0, \quad \forall ij \quad [11]$$

Where,

N_D : CCTV를 설치하려는 행정구역(District)의 수

N_i : i 번째 행정구역에 설치 후보 CCTV의 수

N : 전체 설치 후보 CCTV의 수; N_i 의 합이다.

K : 카메라 구성의 수

H : 거점통신망의 수; 모든 CCTV는 거점통신망 중 하나와 연

결되어야 한다.

- i 행정구역을 나타내는 인덱스, $i = 1, 2, \dots, N_D$
- j : 해당 행정구역에서 CCTV 설치 후보지(이하 후보지)를 나타내는 인덱스; 예를 들어 $i=3$ 이고 $j=2$ 이면, 세 번째 행정구역에서 2번째 CCTV 후보지를 의미한다.
- k : 카메라 구성을 나타내는 인덱스, $k = 1, 2, \dots, K$
- h : 거점통신망을 나타내는 인덱스, $h = 1, 2, \dots, H$
- PR_{ijk} : i 번째 행정구역의 j 번째 후보지에 k 번째 구성으로 CCTV를 설치할 때의 범죠폐방 대응효과
- c_k : 카메라 구성 k 의 설치 비용
- t_k : 카메라 구성 k 를 설치할 때 발생하는 트래픽
- $Trfc_C_h$: h 번째 거점통신망의 최대 통신용량
- x_{ijk} : i 번째 행정구역의 j 번째 후보지에 k 번째 구성의 CCTV 설치 여부를 나타내는 0-1 변수; 설치하면 1, 아니면 0이다.
- y_{ijh} : i 번째 행정구역의 j 번째 후보지에 설치된 CCTV가 h 번째 거점통신망에 연결되었는지를 나타내는 0-1 변수; 연결되면 1, 아니면 0이다.
- B : CCTV 설치 예산 한도
- Pen_c : (설치 비율의) 편차 절대 값의 합계에 적용되는 페널티 계수
- w_i : 지역별 가중치를 나타낸다. 전체 CCTV 설치 후보지의 수 중에 i 번째 지역의 설치 후보지의 수가 차지하는 비율이다.

식 [2]는 x_{ijk} 가 0-1 변수로서, ij 후보지에서 카메라 구성 k 로 설치 여부를 나타낸다. 식 [3]은 y_{ijh} 가 0-1 변수로서, ij 후보지에서 CCTV가 어느 거점통신망에 연결되는지를 나타낸다. h 번째 거점통신망에 연결되면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖게 된다. 식 [4]는 전체 설치 후보 CCTV의 수 N 은 각 행정지역별 설치 후보 CCTV의 수 N_i 의 합임을 나타낸다. 식 [5]에서 n_i 는 지역 i 에서 설치된 CCTV의 수를 나타낸다. 식 [6]에서 w_i 는 지역 i 의 가중치를 의미한다. 본 연구에서는 w_i 를 전체 설치 후보지 수에서 해당 지역의 설치 후보지의 수가 차지하는 비율로 보았다. 식 [7]에서 c_k 는 k 번째 구성의 CCTV 설치 비용을 나타낸다. 후보지 ij 에서 CCTV 설치 비용은 설치 여부와 설치되는 카메라 구성에 따라 달라진다. 식 [7]은 설치 비용의 합계는 예산을 초과할 수 없음을 나타낸다. 설치되는 카메라 구성에 따라 통신 트래픽의 발생량이 결정된다. 식 [8]은 후보지 ij 에서 발생하는 통신 트래픽 $Trfc_{ij}$ 은 해당 후보지에 설치되는 카메라 구성에 따라 결정됨을 보여준다. 각 거점통신망의 트래픽 부하는 그 거점통신망에 연결된 CCTV의 카메라 구성에 따라 결정된다. 거점통신망 h 의 트래픽 부하량은 $\sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_i} Trfc_{ij} \times y_{ijh}$ 이 된다. 식 [9]는 각 거점통신망의 트래픽 부하량은 그 거점통신망의 최대 용량을 초과할 수 없음을 나타낸다.

후보지에 CCTV가 설치되지 않는다면 어떤 카메라 구성도 선택되지 않아야 하며, 설치된다면 선택 가능한 카메라 구성 중 하나의 구성만 선택되어야 한다. CCTV가 설치되지 않는다면 $\sum_{k=1}^K x_{ijk}$ 은 0의 값을, 설치된다면 1의 값을 갖게 되며, 식 [10]은 이를 나타내고 있다. ij 후보지의 CCTV가 설치된다면 오직 하나의 거점통신망과도 연결되어야 하고, 설

치되지 않는다면 어떤 거점통신망과도 연결되어서는 안된다. 이를 수식으로 표현하면 식 [11]이 된다.

식[1]에서 $\sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^K PR_{ijk} \times x_{ijk}$ 은 설치 CCTV의 범죄 예방력 및 대응력의 합계를 의미한다. 식[1]에서 $\frac{n_i}{N_i}$ 은 지역 i 에서 CCTV 설치비율

을, $\frac{\sum_{l=1}^{N_D} n_l}{N}$ 은 전 지역의 CCTV 설치 비율(설치비율의 평균)을 나타낸다.

$\left| \frac{n_i}{N_i} - \frac{\sum_{l=1}^{N_D} n_l}{N} \right|$ 는 지역 i 의 설치비율의 편차 절대값을, $w_i \times \left| \frac{n_i}{N_i} - \frac{\sum_{l=1}^{N_D} n_l}{N} \right|$

는 지역 i 의 설치비율의 편차 절대값에 지역 i 의 가중치를 곱한 값을 의

미한다. $\sum_{i=1}^{N_D} \left(w_i \times \left| \frac{n_i}{N_i} - \frac{\sum_{l=1}^{N_D} n_l}{N} \right| \right)$ 는 지역별 가중치를 반영한 설치 편차 절

대값의 합계가 된다. 그러므로 식 [1]은 본 연구의 목적함수가 설치 CCTV의 범죄 예방대응력의 합계에서 지역별 중요도를 고려한 설치 편차의 페널티를 제한 값의 최대화임을 보여준다.

제 4 장 알고리즘

본 연구는 도시방범 CCTV의 설치 위치, 카메라 구성과 거점통신망을 결정하는 문제를 다룬다. 본 문제는 제약조건으로 가용한 예산과 거점통신망의 최대 통신량과 지역별 불균형 최소화를 위한 설치비용을 고려한다. 목적함수는 두 개의 값으로 이루어진다. 첫 번째 값은 위치별 CCTV의 범죄 예방력과 대응력의 전체 합계다. 두 번째 값은 지역별 CCTV 설치비용의 편차에 관한 값이다. (1) 지역마다 설치비용이 전체 설치비용의 평균에서 벗어난 정도를 구한다. 이는 (지역 설치비용 - 설치비용의 평균)은 설치비용의 편차이며, 음(-)의 편차를 없애기 위해 설치비용의 편차 절댓값을 사용한다. (2) 설치 편차 절댓값은 클수록 부정적이므로, (1)에서 구한 값에 단위 페널티를 곱해 준다. (3) 지역별 중요도가 다를 수 있으므로, (2)에서 구한 값에 가중치를 곱해준다. 목적함수에서 두 번째 값은 (지역별 편차 절댓값 \times 단위 페널티 \times 가중치)들의 합계로서, 지역 불균형 페널티라 부르자. 본 연구의 목적함수는 설치된 CCTV의 범죄 예방력과 대응력의 합계에서 지역 불균형 페널티를 제한 값의 최대화이다.

본 연구에서 다루는 문제는 설치 후보지의 수, 카메라 구성의 수 그리고 거점 연결망의 수가 증가하면, 가능한 수열의 수는 기하급수적으로 증가한다. 후보지의 수가 N , 구성의 수가 K , 거점 연결망의 수가 H 라 하자. 이 경우, 후보지마다 선택 가능한 구성과 거점 연결망의 조합은 (설치하지 않는 경우 + 구성 수 \times 거점 연결망의 수) = $(1 + K \times H)$ 가 되며, N 개의 후보지를 대상으로 하면 총 가능한 경우의 수는 $(1 + K \times H)^N$ 가 된다. 예를 들어, $N = 100$, $K=3$, $H=5$ 인 경우 총 가능한 설치 경우의 수는 2.58×10^{120} 이다.

연구에서 제안하는 알고리즘은 개선 휴리스틱 알고리즘이다.

휴리스틱 알고리즘은 문제 해결을 위해 근사적인 해(Solution)를 찾는 방법이다. 반복적인 시도를 통해 최적해에 가까운 솔루션을 결정하는 것이다. 본 문제에서는 후보지가 1000개일 경우 후보지 중에서 예산과 거점통신망 용량의 제약을 고려하고 범죄 예방과 대응을 최대화 하며 지역 불균형을 최소화하는 도시방법 CCTV의 위치와 구성을 결정하여야 하는 경우의 수는 무한대에 수렴하기 때문에 정확한 해(Solution)를 구하기가 어렵다. 따라서 주어진 시간 내에 합리적으로 최적에 가까운 해(Solution)를 찾는 방법으로 휴리스틱 알고리즘을 사용한다.

휴리스틱 알고리즘 기법 중 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)을 기반으로 하여 부분 교환을 통한 전역 탐색 기법을 적용하고 지역탐색(Local Search)은 이웃 탐색(Variable Neighbor Search) 기법을 기반으로 개선 규칙을 적용하였다. 지역 간 설치 불균형 문제를 고려하여 지역 간 편차에 따른 페널티(Penalty)를 적용하였다.

도시방법 CCTV의 위치선정문제는 위치별 범죄 예방과 대응력의 합을 최대화하기 위한 설치 후보지에서 선택된 위치, CCTV 구성과 연결 가용 거점통신망을 결정하는 문제로 후보지가 증가할수록 해(Solution) 탐색을 위한 해 영역에 대한 탐색 경우의 수가 급격히 증가하는 NP-Hard 문제로 분류된다. 의사결정에 필요한 최적해를 휴리스틱 기법 중 탐욕(Greedy) 알고리즘과 개선규칙을 적용한 이웃 탐색 알고리즘으로 근사해를 찾는 개선 휴리스틱 기법을 제시한다.

4.1 해의 영역

본 문제에서 의사결정변수는 CCTV 후보지별로 x_{ijk} 와 y_{ijh} 이다. 여기

서 x_{ijk} 는 CCTV의 설치 구성을, 그리고 y_{ijh} 는 연결 거점통신망을 나타내는 0-1 변수들이다. 후보지의 수 = 10, CCTV의 종류 = 3, 거점통신망의 수 = 4라면, (x_{ijk}, y_{ijh}) 의 경우의 수는 다음과 같다. ij 별로 설치하는 경우와 설치하지 않는 경우이다. 설치한다면, 경우의 수는 (CCTV 종류) \times (거점의 수) = $3 \times 4 = 12$ 이다. 그러므로 ij 별 가능한 경우의 수는 = (설치하지 않는 경우 = 1) + (종류의 수 \times 거점의 수 = KH) = $1 + KH$ 이며, $N = 10$ 이면 총 가능한 경우의 수 = $(1 + KH)^N = 13^{10} = 137,858,491,849$ 이다.

4.2 알고리즘 약술

본 논문에서 제시하는 휴리스틱 기법은 아래와 같이 약술될 수 있다.

- Step 1. 최초의 초기해 생성; Goto Step 2.
- Step 2. 개선규칙들의 적용
 - 2.1 해를 향상시키기 위한 개선규칙들의 적용
 - 2.2 If 2.1에서 해가 개선되었으면,
 - Goto Step 2.2
 - Else (2.1에서 더 이상 해가 개선되지 않았으면)
 - Goto Step 3
- Step 3. If 미리 설정한 연산 시간이 초과되었으면
 - 지금까지 발견된 가장 좋은 해를 휴리스틱의 해로 제시; 종료한다.
 - Else 새로운 초기해를 생성한다; Goto Step 2.

4.2.1 최초의 초기해 생성

최초의 초기해는 범죄 예방과 대응력이 큰 후보지 순으로 선정한다.

Step 1. 배정 우선순위 결정

각 후보의 PR(범죄예방과 대응력)이 큰값 순으로 정렬을 한다.

배정 우선순위는 PR 의 내림차순이다.

Step 2. 배정 우선순위에 따라 배정 시도

For CCTV 후보지 = 우선순위 가장 높음 to 가장 낮음

For 구성 = 가장 높음 To 가장 낮음

(구성에 따라) 예산, 트래픽이 초과 안 되면,

배정한다. 다음 번 CCTV 후보지를 탐색한다.

배정되지 않았으면, 다음 번 CCTV 후보지를 탐색한다.

Step 3. 현재 배정된 후보지를 배정하여 목적함수 값을 구한다.

3.1 선정된 후보지들의 PR 합계를 구한다.

3.2 (지역별 설치비율의 편차 절대값) \times 지역별 가중치의
합계에 $Penalty$ 를 곱한 값을 구한다.

여기서 n_i : 지역 i 에 설치 선정된 CCTV의 수

N_i : 지역 i 의 CCTV 후보지의 수

N : 전체지역의 CCTV 후보지의 수

$$3.2.1 \text{ 지역 } i \text{의 가중치 } w_i = \frac{N_i}{N}$$

$$3.2.2 \text{ 지역 } i \text{의 설치비율} = \frac{n_i}{N_i}$$

3.3.3 지역 i 의 설치비율 편차 절대값

$$= \text{abs}(\frac{n_i}{N_i} - \frac{N_i}{N})$$

4.2.2 개선규칙들

본 연구에서 의사결정은 CCTV 후보지의 선정 여부, 선정 시 설치 구성과 연결 거점통신망의 결정이다.

목적함수는 선정된 CCTV 후보지의 범죄 예방과 대응력의 합계에서 지역별 설치비용의 편차 절댓값에 관한 가중 페널티의 합계를 제한 값이다. 범죄 예방과 대응력은 선정된 후보지의 CCTV 설치 구성에 의해 결정되고, 지역별 설치비용은 선정 CCTV 후보지의 소속 지역에 선정되는가에 따라 결정된다. 두 종류의 제약조건이 부과된다. 첫 번째는 예산에 관한 제약으로, 선정 후보지의 설치 구성과 어느 거점통신망 연결되는가에 따라 결정된다. 두 번째는 거점통신망의 용량에 관한 제약으로, 해당 통신망에 어떤 후보지의 CCTV가 어느 구성으로 설치되는가에 따라 결정된다. 다음 소개되는 개선규칙들의 효율적인 설명을 위해, 목적함수나 제약조건에 있는 각종 합계를 아래와 같이 표현한다.

[PR] = 선정된 CCTV 후보지의 예방과 대응력의 합계

[PEN] = 지역별 설치비용의 편차 절댓값에 관한 가중 페널티의 합계

[C_Type] = 선정 CCTV 후보지의 설치 구성에 따른 비용의 합계

[h_T] = h번째 거점통신망에 연결된 트래픽의 합계

아래 소개되는 개선규칙들을 변경되는 의사결정변수 측면에서 분류하면 다음과 같다.

4.2.2.1 규칙 1. 미선정 CCTV 후보지의 선정

선정되지 않은 CCTV 후보지를 하나 선택하여 배정해 본다.

이 후보지를 ij 라 하자. ij 가 종류 k , 거점통신망 h 에 연결된다면 목적

함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

[PR] PR_{ijk} 만큼 증가한다.

[PEN] i 가 평균보다 설치비율이 높은 곳이면 증가하고,
평균보다 낮은 곳이면 감소한다. 정확한 값은 다시
계산해 봐야 한다.

[C_Type] c_k 만큼 증가

[h_T] t_k 만큼 증가

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type] $\leq B$ 이면 예산 제약을 충족한다.

[h_T] $\leq Trfc_C_h$ 이면 거점통신망의 최대 용량 제약을 충족한다.

위의 3가지를 모두 충족한다면, $x_{ijk} = 1$, $y_{ijh} = 1$ 로 설정한다. (후보지
 ij 를 설치 구성 k , 연결 거점통신망 h 로 결정하여 설치 선정한다.)

4.2.2.2 규칙 2. 선정 CCTV 후보지의 배제

선정된 CCTV 후보지를 하나 선택하여 선정에서 배제해 본다.

이 후보지를 ij 라 하자. ij 가 종류 k , 거점통신망 h 에 연결된다면 목적
함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

[PR] PR_{ijk} 만큼 감소한다.

[PEN] i 가 평균보다 설치비율이 높은 곳이면 감소하고,
평균보다 낮은 곳이면 증가한다. 정확한 값은 다시
계산해 봐야 한다.

[C_Type] c_k 만큼 감소

[h_T] t_k 만큼 감소

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type]이 감소하였으므로, 예산 제약은 항상 충족된다.

[h_T]이 감소하였으므로, 거점통신망의 최대 용량 제약은 항상 충족한다.

제약조건들은 항상 충족되므로, 배제로 인한 [PEN]의 감소분이 c_k 보다 크다면, $x_{ijk} = 0$, $y_{ijh} = 0$ 으로 설정한다. (후보지 ij 를 선정에서 미선정으로 변경한다.)

4.2.2.3 규칙 3. 선정 CCTV 후보지의 설치 구성 변경

선정된 CCTV 후보지를 하나 선택하여 선정에서 설치 구성을 변경해본다.

이 후보지를 ij 라 하자. ij 가 종류 k , 거점통신망 h 라 하자. 이때 설치 구성을 k 에서 \bar{k} 로 변경한다면 목적함수와 제약식에 관련된 항계들은 다음과 같이 변경된다.

[PR] $(PR_{ij\bar{k}} - PR_{ijk})$ 만큼 증가

[PEN] 설치 지역 i 는 동일하므로, 변경 없다.

[C_Type] $c_{\bar{k}} - c_k$ 만큼 증가

[h_T] $t_{\bar{k}} - t_k$ 만큼 증가

목적함수 값의 변화량은 $(PR_{ij\bar{k}} - PR_{ijk})$ 이다. 이 값이 0보다 크면,

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type] ≤ B이면, 예산 제약은 충족된다.

[h_T] ≤ Trfc_C_h이면, 거점통신망의 최대 용량 제약은 충족된다.

위의 3가지 조건이 모두 충족되면, 후보지 ij 의 설치 CCTV 종류는 k 에서 \bar{k} 로 변경한다. $x_{ijk} = 0$, $x_{ij\bar{k}} = 1$

4.2.2.4 규칙 4. 두 개의 선정 CCTV 후보지의 설치 구성 변경

선정된 CCTV 후보지를 두 개를 선택하여 설치 구성을 변경해 본다.
이 후보지를 ij_1 , ij_2 라 하자. 후보지 ij_1 의 설치 구성과 연결 거점통신망을 k_1 과 h_1 , 후보지 ij_2 는 k_2 과 h_2 라 하자. 이때 후보지 ij_1 의 설치 구성을 k_1 에서 \bar{k}_1 로 변경하고 후보지 ij_2 의 설치 구성을 k_2 에서 \bar{k}_2 로 변경한다면, 목적함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

[PR] $(PR_{ij\bar{k}_1} + PR_{ij\bar{k}_2}) - (PR_{ijk_1} + PR_{ijk_2})$ 만큼 증가

[PEN] 설치 지역 i 는 동일하므로, 변경 없다.

[C_Type] $(c_{\bar{k}_1} + c_{\bar{k}_2}) - (c_{k_1} + c_{k_2})$ 만큼 증가

[h_T]는 $h_1 = h_2$ 인 경우와 $h_1 \neq h_2$ 인 경우로 나누어 본다.

(1) $h_1 = h_2$ 인 경우, h_1 과 h_2 를 h 라 하자.

[h_T] $(h_{\bar{k}_1} + h_{\bar{k}_2}) - (h_{k_1} + h_{k_2})$

(2) $h_1 \neq h_2$

[h1_T] $(t_{\bar{k}_1} - t_{k_1})$ 만큼 증가

[h2_T] ($t_{\bar{k}_2} - t_{k_2}$)만큼 증가

목적함수 값의 변화량은 $(PR_{ij\bar{k}_1} + PR_{ij\bar{k}_2}) - (PR_{ijk_1} + PR_{ijk_2})$ 이다. 이 값이 0보다 크면, $[PR] - [PEN] > 0$ 이면 목적함수 값이 개선된다.

$[C_Type] \leq B$ 이면, 예산 제약은 충족된다.

(1) $h_1 = h_2$ 인 경우, $[h_T] \leq Trfc_C_h$ 이면, 거점통신망의 최대 용량 제약은 충족된다.

(2) $h_1 \neq h_2$ 인 경우, $[h1_T] \leq Trfc_C_{h_1}$ and $[h2_T] \leq Trfc_C_{h_2}$

위의 3가지 조건이 모두 충족되면, 후보지 ij_1 와 ij_2 의 설치 CCTV 종류는 k_1 에서 \bar{k}_1 로 변경하고 k_2 에서 \bar{k}_2 로 변경한다.

$x_{ijk_1} = 0$, $x_{ij\bar{k}_1} = 1$ 그리고 $x_{ijk_2} = 0$, $x_{ij\bar{k}_2} = 1$

4.2.2.5 규칙 5. 하나의 선정 CCTV 후보지의 설치 구성과 다른 하나의 선정 CCTV 후보지의 연결 거점통신망 변경

선정된 CCTV 후보지를 두 개를 선택하여 첫 번째 후보지는 설치 구성을, 두 번째 후보지는 연결 거점통신망을 변경해 본다.

이 후보지를 ij_1 , ij_2 라 하자. 후보지 ij_1 의 설치 구성과 연결 거점통신망을 k_1 과 h_1 , 후보지 ij_2 는 k_2 과 h_2 라 하자. 이때 후보지 ij_1 의 설치 구성을 k_1 에서 \bar{k}_1 로 변경하고 후보지 ij_2 의 연결 거점통신망을 h_2 에서 \bar{h}_2 로 변경한다면, 목적함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

- [PR] $(PR_{ij\bar{k}_1} - PR_{ijk_1})$ 만큼 증가
- [PEN] 설치 지역 i 는 동일하므로, 변경 없다.
- [C_Type] $c_{\bar{k}_1} - c_{k_1}$ 만큼 증가
- [h_T] $t_{\bar{k}} - t_k$ 만큼 증가

목적함수 값의 변화량은 $(PR_{ij\bar{k}} - PR_{ijk})$ 이다. 이 값이 0보다 크면,

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type] $\leq B$ 이면, 예산 제약은 충족된다.

[h_T] $\leq Trfc_C_h$ 이면, 거점통신망의 최대 용량 제약은 충족된다.

위의 3가지 조건이 모두 충족되면, 후보지 ij_1 의 설치 CCTV 종류는 k 에서 \bar{k} 로 변경한다. h 는 $(c_{\bar{h}} - c_k)$ 만큼의 증가/감소만 있다.

$$x_{ij_{1k}} = 0, \quad x_{ij_1\bar{k}} = 1$$

4.2.2.6 규칙 6. 선정 CCTV 후보지 배제와 미선정 후보지 선정

선정된 CCTV 후보지를 하나 선택하여 선정에서 배제하고, 미선정 후보지를 선정해본다.

이 후보지를 ij_- 와 ij_+ 라 하자. ij_- 가 종류 k_- , 거점통신망 h_a 에 연결되어 있고, ij_+ 가 종류 k_+ , 거점통신망 h_b 에 연결되어 있다면 목적함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

- [PR] $(PR_{ij_{+k}} - PR_{ij_{-k}})$ 만큼 증가한다.
- [PEN] i 가 평균보다 설치비율이 높은 곳이면 감소하고, 평균보

다 낮은 곳이면 증가한다. 정확한 값은 다시 계산해 봐야 한다.

[C_Type] $(c_{k_+} - c_{k_-})$ 만큼 증가

[h_T] $(t_{k_+} - t_{k_-})$ 만큼 증가

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type] < B 면, 예산 제약은 항상 충족된다.

[h_T] ≤ $Trfc_h C_h$ 이면, 거점통신망의 최대 용량 제약은 충족된다.

제약조건들은 항상 충족되므로, 선정 후보지 배제와 미선정 후보지 선정이 [PR] - [PEN] > 0이면, $x_{ijk_-} = 0$, $x_{ijk_+} = 1$ 로 설정한다. (후보지 ij 를 선정에서 미선정으로 변경한다.)

4.2.2.7 규칙 7. 지역 편차 페널티 감소

선정비율이 높은 지역에서 선정된 CCTV를 가장 낮은 PR 값 순으로 하나를 삭제하고, 선정비율이 낮은지역에 미선정 CCTV 중 PR 값이 가장 높은 순서로 CCTV 하나를 선정해본다.

이 후보지를 ij_- 와 ij_+ 라 하자. ij_- 가 종류 k_- , 거점통신망 h_a 에 연결되어 있고, ij_+ 가 종류 k_+ , 거점통신망 h_b 에 연결되어 있다면 목적함수와 제약식에 관련된 합계들은 다음과 같이 변경된다.

[PR] $(PR_{ij_+k} - PR_{ij_-k})$ 만큼 증가한다.

[PEN] i 가 평균보다 설치비율이 높은 곳이면 감소하고, 평균보

다 낮은 곳이면 증가한다.

[C_Type] $(c_{k_+} - c_{k_-})$ 만큼 증가

[h_T] $(t_{k_+} - t_{k_-})$ 만큼 증가

[PR] - [PEN] > 0이면 목적함수 값이 개선된다.

[C_Type] < B 면, 예산 제약은 항상 충족된다.

[h_T] $\leq Trfc_h C_h$ 이면, 거점통신망의 최대 용량 제약은 충족된다.

제약조건들은 항상 충족되므로, 선정 후보지 배제와 미선정 후보지 선정이 [PR] - [PEN] > 0이면, $x_{ijk_-} = 0$, $x_{ijk_+} = 1$ 로 설정한다. (후보지 ij 를 선정에서 미선정으로 변경한다.)

제 5 장 모의실험 결과

본 논문의 제안 휴리스틱 알고리즘 모형 검증을 위해 모의 데이터셋을 생성하여 실험하였다.

본 연구에서 다루는 문제는 도시 내에서 발생하는 범죄 예방 및 대응을 위한 도시방범 CCTV 위치선정을 함에 있어 거점통신망의 용량과 예산의 자원제약하에서 후보지 중 위치별 범죄 예방 및 대응력의 합을 최대로 하고 지역 간 불균형을 최소화를 목적함수로 하는 해(Solution) 영역의 탐색이다. 목적함수의 최적해는 어느 지역의 어느 위치에 어떤 CCTV 구성으로 거점통신망의 연결 경로를 선택하는가의 의사결정에 의해 목적함수의 최적해가 결정된다. 예를 들어 A 도시에 4개의 행정구역이 있고 전체 설치 후보지는 1000개소이고 거점통신망은 4개소인 경우 무작위에 의해 선정된 위치별 범죄 예방 및 대응력의 합의 최대화와 지역 간 설치 불균형 최소화의 합이 최대가 되는 목적함수의 값 보다 제안 휴리스틱에 의한 목적함수의 값이 최적해로 더 높은 값을 제시하며 더 좋은 최적해 탐색결과의 효과를 입증하기 위함이다. 제안 휴리스틱의 알고리즘 모형에 의한 결과가 거점통신망의 통신 가용량을 최대로 활용하고 제한된 예산의 범위 내에서 더 많은 곳에 더 적합한 구성으로 도시범죄 예방 및 대응을 목적으로 하는 도시방범 CCTV 위치선택의 설치문제에 대한 효과의 적정성을 검증하였다. 본 모형의 검증을 위해 도시 내 후보지 수, 도시 내 행정구역 지역 수, 거점통신망의 수, 지역 불균형 패널티 계수의 변화에 따른 목적함수 값에 대한 근사해를 살펴보았다.

알고리즘의 검증을 위한 프로그램개발은 Windows 10 Pro 운영체제 환경에서 VBA(Visual Basic Application)로 모의 실험데이터 셋을 생성하였으며, 최적해를 찾는 알고리즘은 Visual Studio의 C# 을 이용하여

구현된 프로그램으로 실험하였다. 모의실험 환경은 일반 PC의 운영체제 Windows 10 pro, 64bit로, x64 기반 프로세서 Intel(R) Core(TM) i7-9700 CPU @ 3.00 GHz 3.00GHz이고 메모리(RAM)는 32GB에서 실험하였다.

5.1 모의실험 조건설정

본 연구의 모형에 대한 알고리즘을 검증하기 위하여 데이터 생성은 MicroSoft의 Excel VBA(Visual Basic Application)를 이용하여 후보 위치별로 장소별 특이성을 반영하기 위해 난수를 적용하여 범죄유형에 가중치를 부여하고 예방과 대응에 대한 합을 PR(예방 및 대응) 값으로 생성하였다. CCTV 구성에 따라 비용과 통신사용량도 달라진다. CCTV 구성이 좋을수록 범죄 대응력은 높아지고, 낮을수록 범죄 대응력도 낮아진다. 범죄 예방 및 대응력은 후보지별로 범죄 종류(살인, 강도, 납치, 폭행, 절도 등)의 심각성에 따라 발생빈도와 범죄종류에 대한 가중치를 부여하여 위치별 특이성을 반영한 난수로 데이터를 생성하였다.

데이터셋의 생성 파일은 도시를 의미하며 기본값으로 설치 후보지 수, CCTV 구성, 거점통신망의 수와 가용 통신량, 예산을 기준으로 하였다. A도시의 후보지의 수(N)가 500일 때 후보지의 수(N)가 1,000일 때, 후보지의 수(N)가 2,000일 때 값을 살펴보았다. 또 지역의 수와의 관계를 살펴보기 위해 지역의 수(I)가 4, 지역의 수(I)가 6, 지역의 수(I)가 9일 때를 실험하였다. 통신망의 제약조건인 거점통신망의 개수 변화에 따른 값을 살펴보기 위해 거점통신망(H)이 4개소, 거점통신망(H)이 6개소, 거점통신망(H)이 9개소일 때 각각 도시문제로 10개의 데이터셋을 생성하여 무작위(Random)로 근사해를 탐색하는 경우와 개선규칙들을 적용한 제안 휴리스틱 기법 알고리즘에 의한 최적해를 비교하였다. 본 실험은 무작위

로 목적함수 값에 대한 최적해를 찾는 경우보다 개선된 규칙이 적용된 제안 휴리스틱 기법에 의해 목적함수 값의 최적해를 탐색하는 알고리즘 모형이 적정하고 효용성이 있음을 검증한다.

5.1.1 모의데이터 생성 기본구성

모의실험 1은 [표 5-1] 와 같은 데이터 생성규칙에 의해 데이터 셋을 생성하였다.

[표 5-1] 모의실험 1의 데이터 생성규칙

구분	기호	Prob-1	Prob-2
도시의 수	Data Set	10	10
후보지	N	500	500
카메라 구성	K	3	3
거점통신망의 수	H	4	4
행정구역의 수	I	4	4
예산	B	100,000	100,000
통신용량	Trfc	100	100
페널티 계수	PEN	200	200

방법용 CCTV의 위치에 대한 후보지의 수(N)가 500이고, 카메라 구성(K)는 3, 거점통신망의 수(H)는 4, 지역의 수(I)는 4로 설정하였으며, 제약조건인 예산은 100,000만 원과 거점통신망의 용량은 100Mb로 설정하여 10개의 데이터셋을 생성하였다. 지역 불균형에 대한 고려로 페널티 계수 값을 적용하였다. 지역의 수가 4이고 후보지가 500개소일 경우 각 지역당 120개소에서 160개소의 범위로 생성하였다. 후보지의 경우 난수에 의한 발생이 되며, 위치에서의 통신발생량은 구성에 따라 생성하여 실험하였다. 통신발생량은 구성에 따라 [표 5-2]에 따라 카메라의 구성을 기준으로 통신량의 가용량 변화를 반영한 것이다.

[표 5-2]는 모의실험 1의 카메라 구성에 따라 제약조건인 비용과 거점 통신망의 사용량, 위치별 PR(범죄 예방 및 대응) 값이 달라지는 것에 대한 규칙이다. 구성이 좋을수록 비용과 PR(범죄 예방과 대응력) 값은 높아지고 구성3과 같은 구성은 저비용과 대응력이 낮으나 PR 값에 유의미한 구성이 되는 것으로 하였다.

[표 5-2] 모의실험 1의 카메라 구성별 비용 및 통신량 생성규칙

구분		비용(만원)	통신량(MByte)	PR 대응
제약조건		100,000	100	
구성 1	고비용, 대응력 높음	1,000	8	90%
구성 2	중비용, 대응력 중간	700	5	70%
구성 3	저비용, 대응력 낮음	500	3	50%

[표5-3]은 모의실험 1의 PR(범죄 예방과 대응력) 데이터 생성규칙에 적용하였다. 후보지 위치별 발생 범죄에 대한 PR(범죄 예방 및 대응) 값은 범죄 종류에 따라 분류하고 범죄별 발생빈도에 따른 가중치를 부여하여 난수로 생성하였다. 후보지 위치별 카메라 구성에 따라 범죄 예방력 과 사후대응력은 예방이 30%, 대응력을 70%의 비율로 설정하여 생성된 값의 합을 PR(범죄 예방 및 대응력) 값으로 사용하였다.

일반적으로 5대 범죄(살인, 강도, 납치, 폭행, 절도 등)에 대한 분류를 하고 범죄에 대한 가중치를 반영하였다. 즉 살인사건과 같은 강력사건 1건이 절도 10건보다 중요할 수 있음을 의미한다.

범죄의 종류나 가중치는 데이터 생성 시 조정할 수 있게 하였다. Crime type 5는 살인과 같은 중범죄이고, Crime type 1은 절도와 같은 비교적 경범죄에 해당한다.

[표 5-3] 모의실험 1의 범죄유형 관련 데이터 생성규칙

Crime	LB	UB
Crime type 5	10.00	20.00
Crime type 4	5.00	10.00
Crime type 3	2.00	5.00
Crime type 2	0.50	2.00
Crime type 1	0.01	0.50

5.1.2 모의 데이터 생성과 내용

본 연구에서 사용한 문제의 데이터를 상세 소개하고 모의실험과정을 설명하고자 한다. 도시의 위치는 지도의 위도와 경도에 해당하는 2차원 값인 x값과 y 값 형태로 0~200의 범위 안에서 난수로 생성하였으며, 범위는 지역의 넓이에 따라 조정 가능하나, 본 연구에서는 동일 범위에서 생성하였다. 위치별 범죄 발생에 대한값은 범죄분류에 의한 Crime type 1, Crime type 2, Crime type 3, Crime type 4, Crime type 5의 5가지 분류형태로 나누고 Crime type 5는 살인과 같은 중범죄로 Crime type 1은 절도와 같이 살인에 비해 가중치가 낮은 형태로 각 범죄 발생빈도에 범죄의 중대함에 따라 가중치를 부여하고 위치별 발생빈도 내에서 난수로 생성하였다. 범죄 예방의 경우 30%, 범죄 사후대응의 경우 70%의 효과가 있는 것으로 하고 범죄 예방과 대응의 합을 도시방법 CCTV가 선정되었을 경우 위치에서의 효과 값으로 보았다. 도시방법 CCTV의 구성은 고해상도와 형태에 따른 회전형과 고정형 같은 다양한 종류가 있는 경우와 여러 대의 카메라로 설치조합이 구성되지만 본 연구에서는 위치별 범죄 예방과 대응의 합을 위한 카메라 조합을 3가지 형태의 구성을 기본으로 하였다. 도시방법 CCTV 구성 1, 구성 2, 구성 3으로 하고, 구성에 따라 범죄에 대한 효과를 구성1의 경우 90%, 구성 2의 경우 70% 구성 3의 경우 50%의 효과가 있다고 가정하였다. 구성1의 경우 카메라의 구성

이 수량과 품질에서 가장 높고, 비용은 1,000만 원, 통신사용량은 8MByte로 가정하였으며, 구성 2의 경우 비용은 700만 원, 통신사용량은 5MByte, 구성 3의 경우는 500만 원에 3MByte에의 범위에서 통신사용량을 가정하여 적용하였다. 지역은 생성된 도시의 형태에 따라 행정구역으로 $N \times N$ 형태의 격자로 기본은 2×2 로 4개 지역의 형태로 가정하여 생성하였다. 거점통신망의 용량은 기본 4개소의 거점에 각 100MB 값으로 가정하였으며, 예산의 한도 범위는 100,000만 원을 기본으로 하였다. 지역 간 불균형에 대한 페널티 계수는 200을 기준으로 하였다. 페널티 계수는 지역 불균형 최소화의 중요도에 따라 조정 가능하며, 페널티 계수가 작거나 없는 경우 위치별 도시방범 CCTV의 범죄 예방과 대응의 합에 대한 목적함수 값은 페널티가 없는 근사해 값에 수렴한다. 예산(B), 거점통신망(H), 위치별 도시방범 CCTV가 범죄에 대한 예방과 대응력의 합에 대한 비율과 비용, CCTV 구성에 따른 통신발생량, 지역의 수, 페널티 계수, 해 탐색 종료 조건은 파라미터로 그 값에 변화를 주어 무작위 탐색의 경우와 규칙이 있는 제안 휴리스틱 탐색에 의한 목적함수 값의 탐색시간과 최적값에 대해 비교를 하였다. 도시별 도시방범 CCTV 설치 위치선정문제는 기본 생성규칙에 의해 데이터 셋으로 가정하여 각 10개의 문제를 생성하여 실험하였다.

모의실험 2는 [표 5-4]와 같은 데이터 생성규칙에 따라 데이터셋을 생성하였다.

[표 5-4] 모의실험 2의 데이터 생성규칙

기호	값	설명
Data Set	10	모의 생성 도시 수
N	1,000	후보지의 수
K	3	구성의 수
H	4	거점통신망의 수

I	4	행정구역의 수
B	100,000	예산 (만원)
Trfc	100	거점통신망 용량(MB)
페널티	200	지역 불균형 조정계수

방법용 CCTV의 위치에 대한 후보지의 수(N)가 1,000이고, 카메라 구성(K)은 3, 거점통신망의 수(H)는 4, 지역의 수(I)는 4로 설정하였으며, 제약조건인 예산은 100,000만 원과 거점통신망의 용량은 100Mb로 설정하여 10개의 데이터셋을 생성하였다. 지역 불균형에 대한 고려로 페널티 계수 값을 적용하였다. 지역이 4구역이고 후보지가 1,000개일 경우 각 지역당 220개소에서 270개의 범위에서 분포되도록 생성하였다. 모의실험 1의 조건에서 후보지 수를 2배인 1,000으로 하여 모형 검증실험을 하였다.

[표 5-5] 모의실험 2의 카메라 구성별 비용 및 통신량 생성규칙

구분		비용(만원)	통신량(MByte)	PR 대응
제약조건		100,000	100	
구성1	고비용, 대응력 높음	1000	8	90%
구성 2	중비용, 대응력 중간	700	5	70%
구성 3	저비용, 대응력 낮음	500	3	50%

[표 5-5]는 모의실험 2의 PR(범죄 예방과 대응력) 데이터 생성규칙에 적용하였다. 범죄유형을 구분하고 위치별 발생 범죄에 대한 PR(범죄 예방 및 대응) 값을 범죄 종류와 빈도에 따른 가중치를 부여하여 난수로 생성하였다. 위치에 대한 카메라 구성에 따라 예방력 과 사후대응력은 예방이 30%, 대응력을 70%의 비율로 생성한 값의 합을 PR 값으로 사용하였다.

5.2 모의실험 결과

본 연구에서 실험에 사용된 모의 데이터셋은 연구의 문제에 대한 모형을 검증하기 위해 후보지의 수의 변화를 통한 경우의 수 증가를 통한 해 탐색시간 및 최적해 값 와 지역의 수와 거점통신망의 수를 통한 통신망 제약조건의 변화를 통한 모형의 목적 값 변화에 대한 탐색결과를 살펴보고, 무작위 탐색에 의한 해 탐색과 개선규칙을 적용한 제안 휴리스틱의 해 탐색결과를 비교하여 제안 휴리스틱의 유효성을 검증하였다.

무작위 탐색에 의한 해(Solution) 탐색은 NP-Hard Class의 문제로 전체 해 영역에 대한 탐색은 불가하여 제안 휴리스틱에 의한 해 영역(Solution Space) 탐색결과에 비해 탐색시간을 길게 하여도 더 좋은 해(Best Solution)를 제시하지 못하였으며, 예산(B)과 거점통신망의 제약조건 중 하나에 의해 해 탐색에 제약을 받았다. 여러 가지의 경우를 고려하여 지역의 수와 거점통신망의 수에 변화를 주어 실험하였다.

5.2.1 모의실험 1의 결과

모의실험 1은 동일 조건의 생성규칙에 따라 10개의 문제를 생성하고 30초의 시간 내에서 무작위의 탐색과 제안 휴리스틱의 최적해를 비교하고 무작위 탐색의 경우 제안 휴리스틱의 제한시간 30초의 50배에 해당하는 1,500초의 시간을 부여하여 탐색한 결과값을 함께 살펴보았다. 모의실험 1의 결과에서는 무작위의 탐색보다 제안 휴리스틱의 제시해가 42.8%~52.3%의 더 우수한 개선율을 보이는 해를 제시하였으며, 1500초의 무작위 탐색에서 제시한 해보다도 제안 휴리스틱이 39.5%~46.8%의 개선된 최적해를 제시하였다.

[표 5-6] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	655.33	670.65	935.94	42.82%	39.56%
2	655.69	680.13	998.69	52.31%	46.84%
3	691.41	707.76	1019.68	47.48%	44.07%
4	676.91	697.29	1011.04	49.36%	45.00%
5	835.38	858.02	1201.16	43.79%	39.99%
6	689.34	718.47	1023.43	48.47%	42.45%
7	738.52	762.53	1089.07	47.47%	42.82%
8	670.96	700.19	979.71	46.02%	39.92%
9	772.09	795.21	1139.15	47.54%	43.25%
10	661.89	691.39	1006.22	52.02%	45.54%
평균	704.75	728.16	1040.41	47.73%	42.94%
최대	835.38	858.02	1201.16	52.31%	46.84%
최소	655.33	670.65	935.94	42.82%	39.56%

[표 5-7] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6

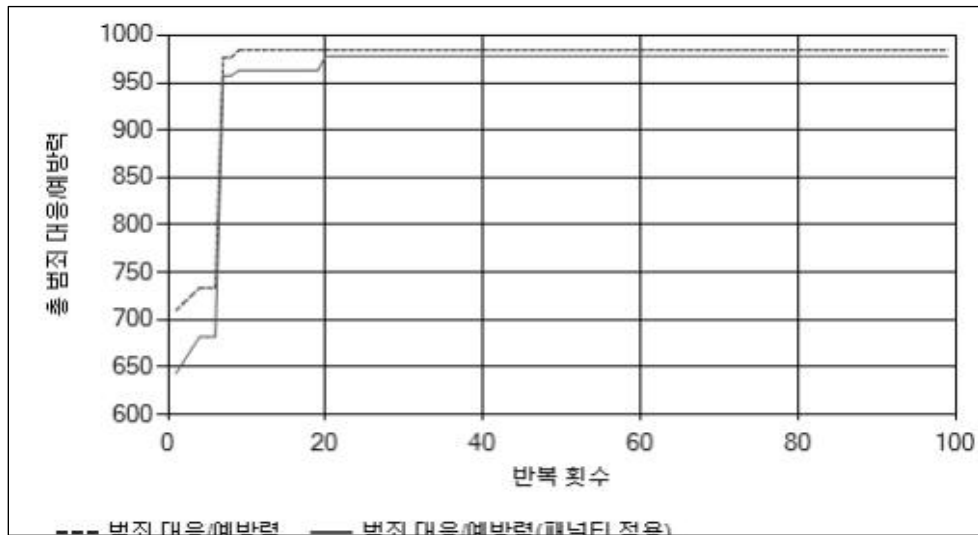
문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	650.54	672.45	950.49	46.11%	41.35%
2	651.71	676.13	988.64	51.70%	46.22%
3	676.42	709.13	1037.22	53.34%	46.27%
4	673.93	692.60	961.34	42.65%	38.80%
5	817.35	851.75	1202.25	47.09%	41.15%
6	685.57	710.18	1022.65	49.17%	44.00%
7	731.78	751.66	1079.40	47.50%	43.60%
8	660.25	691.02	989.49	49.87%	43.19%
9	771.18	795.12	1179.45	52.94%	48.34%
10	655.1	684.69	983.65	50.15%	43.66%
평균	697.383	723.47	1039.46	49.05%	43.66%
최대	817.35	851.75	1202.25	53.34%	48.34%
최소	650.54	672.45	950.49	42.65%	38.80%

[표 5-8] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	634.33	662.51	986.08	55.45%	48.84%
2	641.86	670.48	960.48	49.64%	43.25%
3	679.32	701.02	982.55	44.64%	40.16%
4	655.84	683.29	994.94	51.70%	45.61%
5	811.96	849.03	1212.39	49.32%	42.80%
6	678.75	704.31	1015.01	49.54%	44.11%
7	715.05	748.08	1066.53	49.15%	42.57%
8	659.50	685.00	976.84	48.12%	42.60%
9	754.42	786.05	1183.69	56.90%	50.59%
10	655.45	678.51	982.35	49.87%	44.78%
평균	688.65	716.83	1036.09	50.43%	44.53%
최대	811.96	849.03	1212.39	56.90%	50.59%
최소	634.33	662.51	960.48	44.64%	40.16%

모의실험 1의 결과는 [표 5-6], [표 5-7], [표 5-8]과 같다. 후보지의 수 (N)은 500, 카메라 구성의 수(K)는 3, 거점통신망의 수(H)는 4를 기준으로 데이터를 생성하여 사용하였으며, 지역 페널티 조정계수는 200으로 하였다. 제안 휴리스틱의 탐색시간 30초를 적용 시 무작위의 탐색시간 30초의 목적함수 값의 평균 704.75보다 47.73% 향상된 1040.41의 값을 얻었으며, 이 제안 휴리스틱의 결과값은 무작위로 제안 휴리스틱 연산 시간의 50배인 1500초의 연산 시간의 탐색결과값 728.16의 목적함수 값보다도 42.94% 더 좋은 개선율의 값이다. 또한, 제안 휴리스틱의 경우 무작위의 1500초의 시간보다 약 50배 이상 빠른 5초에서 17초 사이에서 결과를 얻었다.

[그림 5-1]은 모의실험 1의 제안 휴리스틱 해 탐색 예이다. 30초의 주어진 시간 내에서 초반에 빠르게 근사해에 도달하는 과정의 해 탐색 그래프이다.



[그림 5-1] 모의실험 1의 제안 휴리스틱의 해 탐색 그래프 유형

5.2.2 모의실험 2의 결과

[표 5-9] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4

문제 번호	Random 30초	Random 1,500초	제안 휴리스틱 30초	개선율	
				30초	1500초
1	1197.42	1241.36	1736.01	44.98%	39.85%
2	1029.84	1068.82	1565.45	52.01%	46.47%
3	1090.93	1131.20	1612.39	47.80%	42.54%
4	955.28	992.93	1338.18	40.08%	34.77%
5	1130.62	1170.10	1700.60	50.41%	45.34%
6	1166.24	1207.77	1715.35	47.08%	42.03%
7	1024.61	1066.23	1277.25	24.66%	19.79%
8	879.95	922.32	1240.22	40.94%	34.47%
9	1003.28	1045.66	1414.37	40.97%	35.26%
10	1199.15	1233.11	1677.92	39.93%	36.07%
평균	1067.73	1107.95	1527.77	42.89%	37.66%
최대	1199.15	1241.36	1736.01	52.01%	46.47%
최소	879.95	922.32	1240.22	24.66%	19.79%

[표 5-10] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6

문제	Random	Random	개선규칙	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	1190.41	1238.42	1758.25	47.70%	41.98%
2	1023.29	1059.32	1455.01	42.19%	37.35%
3	1082.05	1131.26	1648.96	52.39%	45.76%
4	949.28	983.63	1193.76	25.75%	21.36%
5	1122.57	1165.25	1640.30	46.12%	40.77%
6	1164.69	1205.76	1750.11	50.26%	45.15%
7	1023.31	1060.63	1427.96	39.54%	34.63%
8	878.25	914.66	1247.22	42.01%	36.36%
9	1010.68	1044.77	1449.12	43.38%	38.70%
10	1204.87	1234.99	1817.00	50.80%	47.13%
평균	1064.94	1103.87	1538.77	44.02%	38.92%
최대	1204.87	1238.42	1817	52.39%	47.13%
최소	878.25	914.66	1193.76	25.75%	21.36%

[표 5-11] 후보지 수(N) 500, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	개선규칙	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	1195.75	1222.93	1730.35	44.71%	41.49%
2	1019.59	1056.93	1544.96	51.53%	46.17%
3	1091.98	1120.30	1540.54	41.08%	37.51%
4	949.03	983.07	1386.40	46.09%	41.03%
5	1130.02	1165.67	1631.54	44.38%	39.97%
6	1174.17	1194.08	1667.88	42.05%	39.68%
7	1022.53	1048.49	1441.94	41.02%	37.53%
8	878.79	914.17	1283.04	46.00%	40.35%
9	1007.35	1034.90	1530.86	51.97%	47.92%
10	1212.66	1231.48	1802.85	48.67%	46.40%
평균	1068.187	1097.20	1556.04	45.75%	41.80%
최대	1212.66	1231.48	1802.85	51.97%	47.92%
최소	878.79	914.17	1283.04	41.02%	37.51%

모의실험 2의 결과는 [표 5-9], [표 5-10], [표 5-11]과 같다. 모의실험

2는 후보지의 수는 변화 없이 거점통신의 수 변화에 따른 결과값의 변화이다. 거점통신망의 수가 증가에 따라 제안 휴리스틱 값의 개선율에 변화를 보였다. 후보지 500에서 거점통신망의 수를 증가하는 것은 통신망의 제약조건이 완화되면서 제안 휴리스틱의 개선율이 낮아진 것은 통신망의 제약이 클 때 제안 휴리스틱의 모형은 더 좋은 근사해를 제시할 수 있는 것으로 보였다.

5.2.3 모의실험 3의 결과

[표 5-12] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	754.06	774.62	1088.42	44.34%	40.51%
2	635.26	659.31	885.38	39.37%	34.29%
3	706.62	740.51	885.10	25.26%	19.53%
4	625.35	650.40	801.14	28.11%	23.18%
5	561.97	593.05	822.86	46.42%	38.75%
6	610.43	642.47	899.18	47.30%	39.96%
7	729.41	764.70	1111.24	52.35%	45.32%
8	775.34	805.87	1099.12	41.76%	36.39%
9	824.39	858.32	1229.07	49.09%	43.19%
10	646.53	681.16	988.06	52.83%	45.06%
평균	686.94	717.04	980.96	42.68%	36.62%
최대	824.39	858.32	1229.07	52.83%	45.32%
최소	561.97	593.05	801.14	25.26%	19.53%

[표 5-13] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	755.46	775.58	912.65	20.81%	17.67%
2	622.28	659.52	984.16	58.15%	49.22%
3	703.26	730.42	888.88	26.39%	21.69%
4	631.84	651.22	965.22	52.76%	48.22%
5	567.31	595.43	830.85	46.45%	39.54%
6	601.26	634.88	946.81	57.47%	49.13%
7	723.25	749.91	1132.30	56.56%	50.99%
8	775.89	802.61	938.54	20.96%	16.94%
9	819.01	852.28	1140.83	39.29%	33.86%
10	648.69	677.65	958.63	47.78%	41.46%
평균	684.83	712.95	969.89	42.66%	36.87%
최대	819.01	852.28	1140.83	58.15%	50.99%
최소	567.31	595.43	830.85	20.81%	16.94%

[표 5-14] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	655.81	765.56	1097.79	67.39%	43.40%
2	539.02	651.68	741.93	37.64%	13.85%
3	606.12	729.52	996.67	64.43%	36.62%
4	534.15	639.47	868.28	62.55%	35.78%
5	462.97	586.28	783.13	69.15%	33.58%
6	505.98	632.05	875.69	73.07%	38.55%
7	635.10	755.90	1043.01	64.23%	37.98%
8	679.47	793.94	1131.01	66.45%	42.46%
9	724.82	840.06	1247.67	72.14%	48.52%
10	547.01	664.36	919.07	68.02%	38.34%
평균	589.05	705.88	970.43	64.51%	36.91%
최대	724.82	840.06	1247.67	73.07%	48.52%
최소	462.97	586.28	741.93	37.64%	13.85%

모의실험 3의 결과는 [표 5-12], [표 5-13], [표 5-14]와 같다. 모의실험

3은 후보지의 수를 2배로 증가시켜 후보지의 수 1,000으로 지역 수의 변화를 주며 최적해 탐색을 무작위로 하였을 때와 제안 휴리스틱으로 탐색하였을 때의 해를 살펴보았다. 무작위의 연산 시간을 1500초로 길게 하였을 때 30초의 적은 시간보다는 개선된 해를 제시하였으나, 제안 휴리스틱의 해가 평균 36.6% 더 좋은 해를 제시하였다.

5.2.4 모의실험 4의 결과

[표 5-15] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4

문 제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	987.97	1028.18	1489.67	50.78%	44.88%
2	1232.17	1274.26	1753.32	42.30%	37.60%
3	1047.33	1095.33	1508.15	44.00%	37.69%
4	1155.19	1200.78	1664.54	44.09%	38.62%
5	1046.73	1097.57	1618.43	54.62%	47.46%
6	1285.82	1341.12	1984.47	54.33%	47.97%
7	1006.93	1058.24	1572.70	56.19%	48.61%
8	871.13	922.70	1331.24	52.82%	44.28%
9	1077.77	1123.80	1537.24	42.63%	36.79%
10	1214.22	1259.75	1810.74	49.13%	43.74%
평균	1092.53	1140.17	1627.05	49.09%	42.76%
최대	1285.82	1341.12	1984.47	56.19%	48.61%
최소	871.13	922.7	1331.24	42.30%	36.79%

[표 5-16] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	987.70	1020.84	1178.67	19.33%	15.46%
2	1215.85	1262.62	1818.50	49.57%	44.03%
3	1041.12	1092.85	1496.53	43.74%	36.94%
4	1145.42	1200.91	1710.59	49.34%	42.44%
5	1039.24	1088.36	1511.47	45.44%	38.88%
6	1293.59	1339.01	1658.64	28.22%	23.87%
7	997.98	1053.19	1426.52	42.94%	35.45%
8	872.38	918.67	1291.65	48.06%	40.60%
9	1068.44	1121.38	1476.98	38.24%	31.71%
10	1209.75	1257.81	1758.49	45.36%	39.81%
평균	1087.15	1135.56	1532.80	41.02%	34.92%
최대	1293.59	1339.01	1818.50	49.57%	44.03%
최소	872.38	918.67	1178.67	19.33%	15.46%

[표 5-17] 후보지 수(N) 1000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	972.70	1015.70	1218.74	25.29%	19.99%
2	1217.52	1258.31	1827.94	50.14%	45.27%
3	1030.79	1090.84	1565.66	51.89%	43.53%
4	1153.89	1186.73	1764.69	52.93%	48.70%
5	1034.25	1086.01	1613.62	56.02%	48.58%
6	1278.07	1333.7	1854.84	45.13%	39.07%
7	1003.86	1053.71	1545.08	53.91%	46.63%
8	870.29	902.21	1322.30	51.94%	46.56%
9	1061.48	1108.35	1529.55	44.10%	38.00%
10	1206.79	1248.81	1736.22	43.87%	39.03%
평균	1082.96	1128.44	1597.86	47.52%	41.54%
최대	1278.07	1333.7	1854.84	56.02%	48.70%
최소	870.29	902.21	1218.74	25.29%	19.99%

모의실험 4의 결과는 [표 5-15], [표 5-16], [표 5-17]과 같다. 모의 실험

험4는 후보지 1,000을 고정시키고 거점통신망의 수에 변화를 주어 무작위의 동일 조건 최적해 탐색과 무작위 탐색 연산 1500초의 해 값과 제안 휴리스틱의 해 탐색결과를 살펴보았다. 무작위의 해 탐색일 경우는 시간이 많이 주어질수록 좋은 해를 제시하기는 하지만, 제안 휴리스틱의 해 탐색결과가 동일 연산 시간 조건에서는 49.09%, 무작위 연산 1,500초보다는 42.76%의 더 좋은 결과값을 제시하였다.

5.2.5 모의실험 5의 결과

[표 5-18] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 4

문 제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	879.94	902.30	1352.26	53.68%	49.87%
2	675.23	706.58	1068.95	58.31%	51.29%
3	678.77	713.29	828.80	22.10%	16.19%
4	645.61	682.67	958.13	48.41%	40.35%
5	648.82	686.46	968.26	49.23%	41.05%
6	793.51	827.93	1135.01	43.04%	37.09%
7	759.48	789.04	921.12	21.28%	16.74%
8	743.01	771.93	1084.09	45.91%	40.44%
9	748.09	789.61	1081.49	44.57%	36.97%
10	656.99	696.39	1001.66	52.46%	43.84%
평균	722.95	756.62	1039.98	43.90%	37.38%
최대	879.94	902.30	1352.26	58.31%	51.29%
최소	645.61	682.67	828.80	21.28%	16.19%

[표 5-19] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 6

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	873.99	898.68	1064.26	21.77%	18.42%
2	665.24	699.87	831.75	25.03%	18.84%
3	671.70	709.24	1032.18	53.67%	45.53%
4	637.02	674.32	958.31	50.44%	42.12%
5	637.38	675.10	915.17	43.58%	35.56%
6	789.04	821.52	1242.53	57.47%	51.25%
7	753.47	786.62	1182.85	56.99%	50.37%
8	732.56	770.74	1068.65	45.88%	38.65%
9	751.23	783.09	1147.55	52.76%	46.54%
10	654.52	688.16	997.37	52.38%	44.93%
평균	716.62	750.73	1044.06	46.00%	39.22%
최대	873.99	898.68	1242.53	57.47%	51.25%
최소	637.02	674.32	831.75	21.77%	18.42%

[표 5-20] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 4, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	853.99	891.52	1323.64	54.99%	48.47%
2	651.22	691.37	982.87	50.93%	42.16%
3	670.24	697.77	971.55	44.96%	39.24%
4	629.22	669.33	946.42	50.41%	41.40%
5	634.28	673.10	973.03	53.41%	44.56%
6	777.38	817.16	1221.18	57.09%	49.44%
7	728.22	783.6	1181.60	62.26%	50.79%
8	726.30	766.73	1066.61	46.86%	39.11%
9	744.73	763.30	1152.84	54.80%	51.03%
10	650.80	684.08	1029.93	58.26%	50.56%
평균	706.64	743.80	1084.97	53.40%	45.68%
최대	853.99	891.52	1323.64	62.26%	51.03%
최소	629.22	669.33	946.42	44.96%	39.11%

모의실험 5의 결과는 [표 5-18], [표 5-19], [표 5-20]과 같다. 모의실험

5는 후보지의 수를 2,000개소로 증가시키고 지역의 수를 변화시키면서 무작위 탐색과 제안 휴리스틱의 탐색결과를 살펴보았다.[표 5-18]에서 무작위의 해 탐색일 경우는 30초 무작위에 비해 시간이 많이 주어질수록 좋은해를 제시하기는 하지만, 제안 휴리스틱의 해 탐색결과가 동일 연산 시간 30초 조건에 비해 평균 43.9%, 무작위 연산 1,500초에 비해서는 평균 37.38%의 더 좋은해를 제시하였다. 최대는 동일 조건에서 58.3%, 1,500초 연산보다는 51.29%의 더 좋은 개선율의 값을 제시하였다.

5.2.6 모의실험 6의 결과

[표 5-21] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 4

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	872.11	923.62	1375.66	57.74%	48.94%
2	1125.96	1180.84	1707.19	51.62%	44.57%
3	890.01	941.59	1302.98	46.40%	38.38%
4	977.36	1024.06	1442.65	47.61%	40.88%
5	957.80	1002.08	1438.03	50.14%	43.50%
6	975.30	1026.47	1459.00	49.59%	42.14%
7	1103.97	1149.91	1653.17	49.75%	43.77%
8	1117.09	1159.37	1716.67	53.67%	48.07%
9	1165.40	1200.66	1662.09	42.62%	38.43%
10	1121.48	1161.31	1720.05	53.37%	48.11%
평균	1030.65	1076.99	1547.75	50.25%	43.68%
최대	1165.40	1200.66	1720.05	57.74%	48.94%
최소	872.11	923.62	1302.98	42.62%	38.38%

[표 5-22] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 6

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	867.33	918.25	1325.71	52.85%	44.37%
2	1136.25	1173.85	1729.64	52.22%	47.35%
3	891.54	936.77	1305.25	46.40%	39.34%
4	967.28	1018.82	1515.01	56.63%	48.70%
5	945.51	998.18	1189.05	25.76%	19.12%
6	974.24	1024.15	1516.07	55.62%	48.03%
7	1097.68	1141.01	1377.69	25.51%	20.74%
8	1109.42	1153.95	1400.87	26.27%	21.40%
9	1143.20	1199.47	1781.00	55.79%	48.48%
10	1116.37	1156.95	1697.97	52.10%	46.76%
평균	1024.88	1072.14	1483.83	44.91%	38.43%
최대	1143.2	1199.47	1781.00	56.63%	48.70%
최소	867.33	918.25	1189.05	25.51%	19.12%

[표 5-23] 후보지 수(N) 2000, 거점통신 수(H) 6, 지역 수(L) 9

문제	Random	Random	제안 휴리스틱	개선율	
번호	30초	1,500초	30초	30초	1500초
1	972.70	911.15	1376.22	41.48%	51.04%
2	1217.52	1175.14	1608.35	32.10%	36.86%
3	1030.79	932.09	1288.60	25.01%	38.25%
4	1153.89	1009.74	1407.63	21.99%	39.41%
5	1034.25	997.10	1408.66	36.20%	41.28%
6	1278.07	1015.28	1411.31	10.43%	39.01%
7	1003.86	1129.39	1678.59	67.21%	48.63%
8	870.29	1151.71	1601.52	84.02%	39.06%
9	1061.48	1194.54	1644.75	54.95%	37.69%
10	1206.79	1154.12	1732.85	43.59%	50.14%
평균	1082.96	1067.03	1515.85	41.70%	42.14%
최대	1278.07	1194.54	1732.85	84.02%	51.04%
최소	870.29	911.15	1288.60	10.43%	36.86%

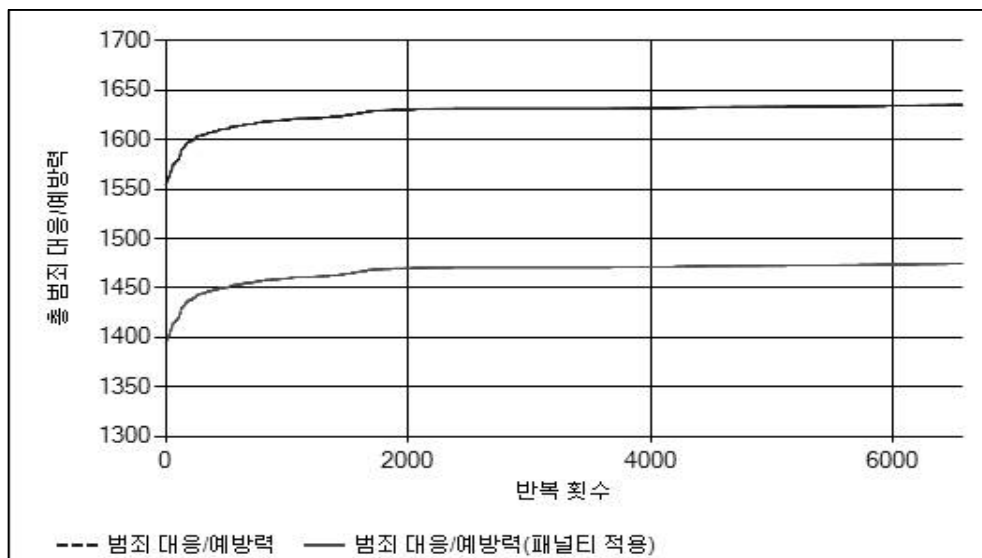
모의실험 6의 결과는 [표 5-21], [표 5-22], [표 5-23]과 같다. 모의실험

6은 후보지 수를 2,000으로 고정하고 거점통신의 수를 6개소로 증가시켜 지역의 수의 변화에 따른 해 탐색결과를 살펴보았다. [표 5-21]에서 무작위의 해 탐색일 경우는 시간이 많이 주어질수록 무작위 30초에 비해 좋은해를 제시하기는 하지만, 제안 휴리스틱의 해 탐색결과가 동일 연산 시간 30초 조건에서는 평균 50.25%, 무작위 연산 1,500초에 비해 평균 43.68%의 더 좋은 결과값을 제시하였다. 최대로는 동일 조건에서 57.74%, 1,500초 연산보다는 48.94%의 더 좋은 개선율의 값을 제시하였다.

5.3 모의실험 결과 요약

본 연구의 모의실험 결과를 요약하면 후보지의 수 증가는 도시범죄 예방 및 대응력 최대화를 목적으로 하는 설치 위치선정 의사결정의 해 영역(Solution Space) 탐색에 대한 경우의 수를 급격히 증가시키지만, 무작위 탐색은 많은 시간이 주어져도 근사해를 제시하기 어렵지만, 제안 휴리스틱은 동일 조건의 짧은 연산 시간에서 더 좋은 근사해를 제시함을 알 수 있다. 이 경우는 NP-Hard Class 문제이기 때문에 무작위 설치 위치선정의 경우 해의 탐색 영역이 크기 때문에 현실적으로 탐색이 불가능하지만, 제안 휴리스틱 알고리즘의 경우 무작위에 비해 도시방범 CCTV의 설치 위치를 더 적절한 구성으로 더 많은 지역에 지역균형에 맞춰 설치 위치를 선정하여 도시범죄 발생에 대해 더 많은 위치에서 적정구성으로 자원의 제약과 지역 불균형 최소화를 고려하여 위치별 범죄 예방 및 대응력의 합을 최대화할 수 있다. 거점통신망의 허브 수와 지역의 수에 따라 제약조건인 통신망의 가용량 변화와 지역 불균형에 대한 페널티 조정 계수에 따른 최적해(Optimal Solution) 접근에 영향을 보였으나 해(Solution)의 탐색 시간이 더 많이 주어진 경우 개선규칙에 따라 PR(범

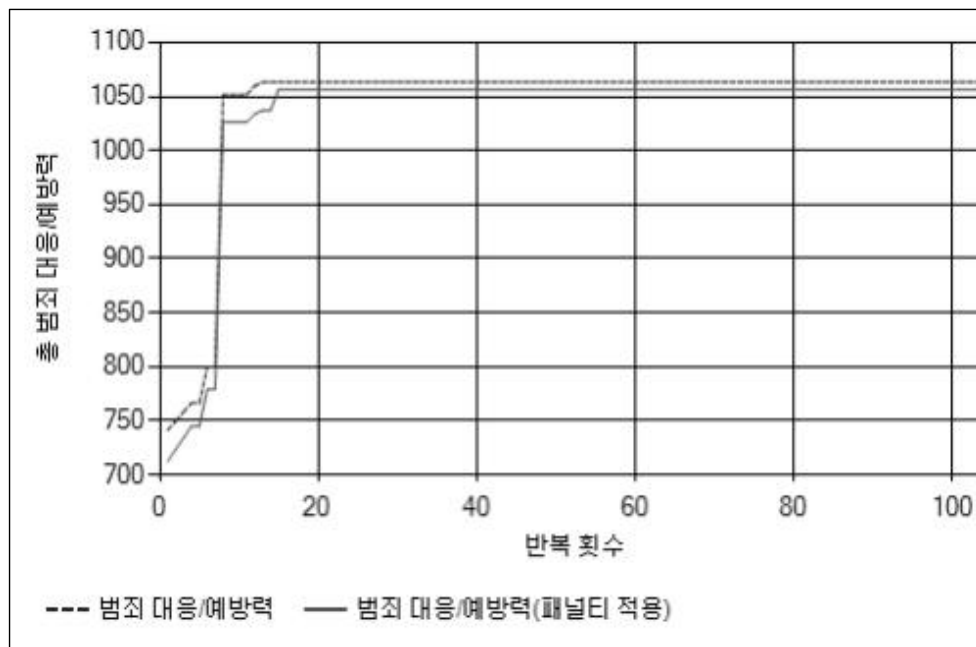
죄 예방 및 대응력)의 최대화에 수렴함을 보였다. 무작위에 의한 해(Solution) 영역의 탐색보다 개선규칙을 적용한 제안 휴리스틱에 의한 해 탐색이 더 짧은 시간에 더 좋은 값의 해(Solution)를 제시함으로써 제시 모형에 대한 알고리즘의 유효성을 입증하였다. 모의실험 결과에서는 위치별 범죄 예방과 대응력의 합을 위한 도시방법 CCTV 설치 결정에 있어 지역 페널티 계수가 클수록 초기 연산 시간에는 도시범죄 예방과 대응력의 목적값과 차이 발생이 커지지만, 해 탐색의 시간이 길어질수록 목적함수값에 수렴한다. 짧은 시간에 결과값을 제시해야 할 경우는 지역별 설치 불균형에 대한 민원 또한 중요한 문제가 될 수 있다. 실험결과에서 알 수 있듯이 예산의 범위에서 통신망을 고려한 제안 휴리스틱 알고리즘의 적용은 의사결정의 근거로 유효함을 제시한다.



[그림 5-2] 무작위 탐색 연산 1,500초에서의 해 탐색 그래프 유형

[그림 5-2]에서와 같이 무작위 탐색 연산 시간 1,500초에서는 완만하게

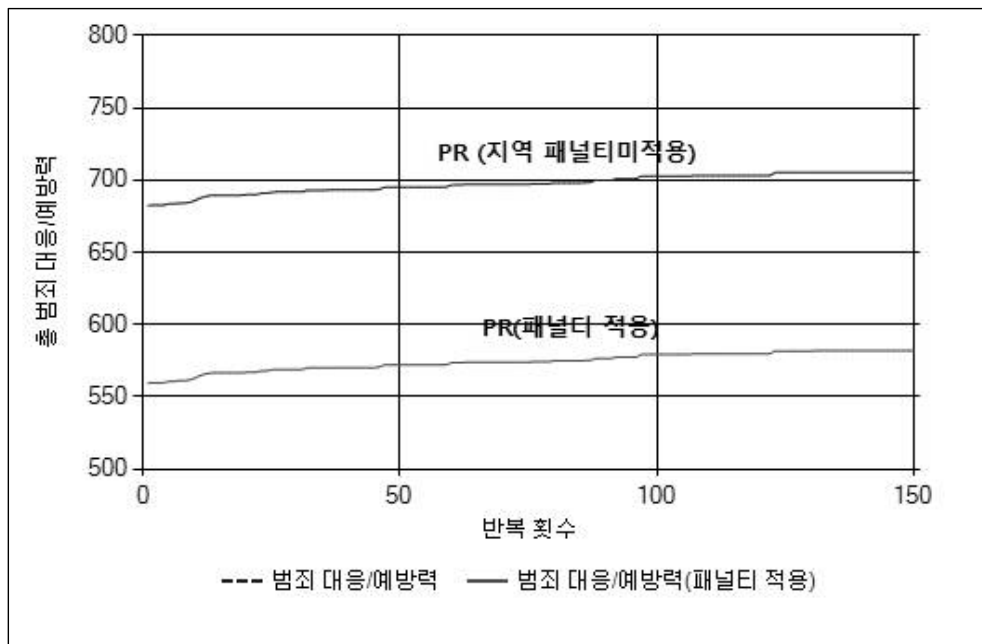
해를 탐색하고 해를 개선해 나가고 있으나 개선규칙 적용한 경우 [그림 5-3]에서와 같이 탐색 초반 짧은 시간에 목적함수의 해를 더 빨리 더 좋은 근사해를 제시하는 값에 대한 그래프의 유형을 보인다. 더 좋은 해 (Best Solution)를 더 빠른 시간내에 근사해를 제시한다는 것은 본 연구의 모형이 유효함을 보이는 것이다. 실험결과는 위치별 범죄 예방 및 대응력 값의 합인 PR 값이 지역 불균형의 최소화를 만들며, 더 많은 곳에 더 적정한 도시방범 CCTV 구성으로 거점통신망의 제약과 예산의 제약 하에서 [그림 5-3]과 같은 유형의 결과를 제시하며 문제에 대한 더 짧은 시간에 좋은 의사결정을 할 수 있는 방법의 모형을 제시하였다는 점에서 학술적 의미를 갖는다.



[그림 5-3] 제안 휴리스틱에 의한 최적해 탐색 그래프 유형

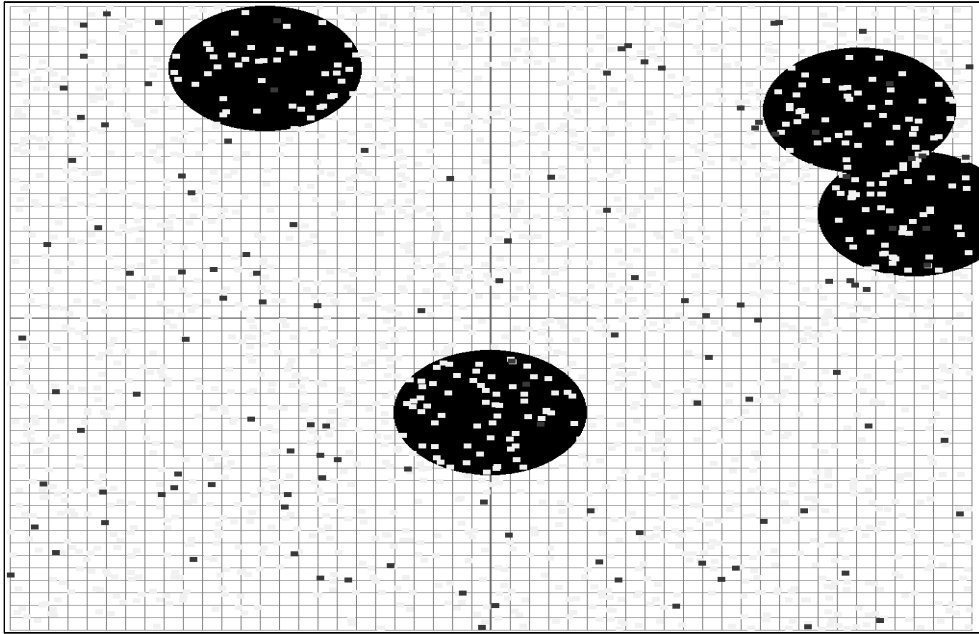
[그림 5-3]의 제안 휴리스틱에 의해 제시된 근사해의 경우 거점통신망

의 4개의 용량은 전체 활용하면서 예산은 100,000만 원에서 64,400만 원을 사용하고 지역은 1지역 127개의 후보지 중 31개 선정, 2지역 120개의 후보 중 30개 선정, 3지역 126개의 후보 중 32개 선정, 4지역 127개의 후보 중 29개의 위치를 선정하여 총 500개의 후보지 중 4개 지역에 4개 거점통신망의 경우 122개소를 적정구성으로 선정하여 동일 조건에서 무작위의 경우 48개소 선정에 결과를 보여 제안 휴리스틱의 결과보다 더 낮은 PR(범죄 예방및 대응의 합) 값을 제시하였다.



[그림 5-4] 무작위 탐색에 의한 해 제시 그래프 유형

[그림 5-4]는 무작위 탐색의 경우로 해의 개선 속도가 완만함을 보인다. 이는 제안 휴리스틱에 의한 탐색의 해의 개선 속도와 비교할 경우 해의 탐색에 오랜 시간이 필요함을 보여준다.



[그림 5-5] 제안 휴리스틱의 근사해 값에 의한 결과 예시

[그림 5-5]는 제안 휴리스틱에 의한 설치 위치선정에 관한 결과 예시 그림이다. 해당 그림은 후보 지역에서 4개의 거점통신망과 4개의 지역으로 나뉜 경우, 도시방법 CCTV 설치 위치에 대한 최적해 탐색 결과를 격자무늬의 좌표형태로 보여준다. 이는 지역별 불균형 최소화와 범죄예방 및 대응력 함을 최대화하는 도시방법 CCTV의 설치 위치선정 문제에 대해, 제안 휴리스틱을 사용하여 탐색한 최적의 설치 위치이다.

제 6 장 결 론

인구 증가에 따른 도시화와 정보 통신 기술의 급속한 발전으로 우리는 많은 혜택을 누리고 있는 동시에, 도시에서 발생하는 문제와 함께 수많은 범죄로부터의 위협도 증가하였다. 더불어 도시 구성원의 안전에 대한 욕구 역시 증가하였다. 정보통신기술의 발달과 함께 우리나라에서는 도시의 공공영역에서 범죄 예방과 대응 효과를 보이는 도시방범 CCTV가 지자체마다 빠르게 증가하였다. 허선영 & 문태헌(2015)의 연구에 따르면 범죄 예방을 위한 CCTV 위치 적절성 및 효과성은 CCTV의 위치에 따라 결정적 효과가 좌우된다고 하였다. 도시방범 CCTV의 위치의 적정성이 범죄대응 효과에 중요하다는 연구들과 함께 지역에 도시방범 CCTV 설치 요구가 급격히 증가하면서, 도시방범 CCTV의 위치선정에 대한 고민 역시 증가하였다. 지속 증가하는 도시방범 CCTV는 민원에 의해 형성된 후보지 중 무작위 우선순위에 의해 설치 위치선정이 되는 경우가 많다. 후보지 중에서 도시방범 CCTV의 설치 효과 목적을 최대화하고 지역 간 불균형에 대한 민원을 최소화하는 공공성을 부여한 과학적인 의사결정을 통한 설치 위치의 선정 방법이 필요하다. 더구나 한정적인 자원인 예산의 효율성과 통신망의 자원의 효율성을 높인 범죄 예방과 대응 효과를 최대화하기 위한 도시방범 CCTV 위치선정 문제는 안전한 사회를 추구하는 우리 사회에 중요한 문제라 할 수 있다. 본 연구에서의 범죄 예방과 대응 효과를 최대화하는 도시방범 CCTV의 위치선정을 위해 수리적으로 모델화하고 개선규칙을 반영한 제안 휴리스틱 알고리즘 모형의 검증은 한정적인 공공예산과 통신자원하에서 의사결정 할 수 있는 효율적인 방법으로써 경영학적 의미가 있다.

6.1 연구의 결과

본 연구에서는 범죄에 대응 효과를 최대로 하는 도시방법 CCTV 위치 선정을 위한 비용과 통신망의 가용능력을 고려하여 후보지의 CCTV 구성과 연결될 거점통신망의 위치를 결정하는 알고리즘을 제시하였다.

도시방법 CCTV 위치선정문제는 후보지가 많아질수록 고려해야 할 경우의 수가 급속히 증가하는 NP-Hard Class 문제이기 때문에 정확한 위치와 구성을 결정하는 것은 어려운 문제이다. 따라서 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)의 휴리스틱 기법을 기반으로 가능해(Feasible Solution) 공간에서 최적해를 탐색하고 개선규칙들을 적용하여 무작위 결정에 의한 설치보다는 제안 휴리스틱 알고리즘에 의한 최적해가 비용과 통신자원의 제약하에서 도시범죄에 대한 위치별 예방과 대응의 합을 최대로 하고 지역 불균형을 최소화하기 위한 도시방법 CCTV의 위치와 구성을 결정하는데 더 유효함을 모의실험을 통하여 검증하였다.

6.2 연구의 시사점

본 연구에서는 도시방법 CCTV의 위치선정 관련 문제를 경찰행정이나 민원에 의한 위치선정 또는 사후 선정 위치의 적정성에 관한 연구들 외에 다루어지지 않았던 수리적 모형에 의한 개선규칙을 적용한 제안 휴리스틱 기법을 이용하여 근사해를 제시하는 모델링 문제를 다루고 검증하였다. 특히 모든 도시에 직접 설치하여 효과를 검증하는 것은 불가능하기 때문에 도시에 해당하는 모의 데이터셋을 생성하여 여러 가지 경우를 가정하여 모의실험한 모형에 대한 알고리즘의 검증은 의미가 있다. 급속히 증가하는 범죄와 그에 대응하기 위한 도시방법 CCTV 설치 위치선정 문제에서 도시의 공공영역에 적정한 위치선정과 구성을 위해 한정된 예산과 통신자원의 제약조건의 효율성을 높이기 위한 모델링에 의한 방법

은 의미가 있다. 모의실험 데이터셋을 생성하여 모형 검증에 의해 도시의 범죄 예방과 대응 효과의 최대화를 위하여 지역 불균형문제 최소화 반영을 고려한 최적해를 제시하는 검증된 모형은 과학적 의사결정을 필요로 하는 문제 해결 접근에 의미가 있을 것이다. 도시범죄에 대한 예방과 대응을 목적으로 하는 도시방법 CCTV 설치 위치가 기존 민원 중심으로 선정된 후보 위치들에서 무작위로 선정되는 문제는 도시방법 CCTV의 설치 위치에 대한 적정성 평가 위주의 연구에서 문제 제시하는 위치 적정성의 효과성에 대한 문제 해결을 본 연구에서 개선규칙들을 적용한 제안 휴리스틱 기법에 의한 해결책을 제시하였다. ‘어느 지역에 어떤 구성으로 어느 거점통신망에 연결하는가’를 예산과 통신망의 용량의 제약조건을 고려하여 의사결정을 할 수 있는 모형은 지속증가하는 도시방법 CCTV 위치선정 시 공공시설물에 대한 과학적 의사결정을 필요로 하는 모형으로 제시하였다는 데 의의가 있다. 전에는 다루어지지 않았던 제안 휴리스틱 알고리즘에 의한 다양한 도시에서 활용할 수 있는 형태로 모형을 만들어 개선 휴리스틱 기법에 의한 해(Solution) 탐색 모형을 연구하였다는 점에서 기존 연구들과 차별점이 있다고 할 수 있다. 탐색 알고리즘과 개선규칙들을 적용하여 비용과 통신자원의 제약하에서 효율적 위치선정을 위해 활용할 수 있을 뿐만 아니라 유사 공공시설물에 대한 의사결정 문제에서도 응용하여 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

6.3 연구의 한계 및 향후 연구과제

도시방법 CCTV의 위치선정에 대한 문제는 기존 도시방법 CCTV의 위치 적정성에 관한 연구들에서도 효율적인 CCTV 설치가 되어 운용될 수 있어야 한다고 하였다(허선영 & 문태현, 2015). 본 연구는 도시방법 설치 관련 전체의 조건을 살펴보았다기보다 후보지 중 지역 위치에 따른

구성과 통신망의 용량을 고려한 도시방법 CCTV 위치선정 문제를 다루어 부족했던 도시방법 CCTV 설치 위치선정에 있어서 수리모형을 만들고 모의실험을 통해 예산의 범위내에서 개선규칙을 적용한 제안 휴리스틱 기법에 따른 방법으로 근사해를 제시하였다.

이는 같은 제약조건 하의 도시에서 더 효율적으로 도시범죄에 대응할 수 있는 해결책으로 더 많은 도시방법 CCTV 위치의 선정과 구성을 제시한다.

도시방법 CCTV의 범죄 예방과 대응력을 최대화 하는 위치선정방법에 정확한 해(Solution)는 존재하지 않으나 예산과 통신망의 제약사항을 고려하여 어떤 위치에 어떤 구성을 어느 지점의 거점통신망에 연결할 것인지에 대한 의사결정변수로 제안 휴리스틱 알고리즘 탐색에 의한 최적해가 무작위 선정보다 빠른 시간내에 더 좋은 해(Best Feasible Solution)를 제시하는 것을 모의실험을 통해 모형 검증을 하였다는 데 학술적 의의가 있다. 불확실하게 증가하는 도시방법 CCTV의 통신망을 고려하여 거점통신망의 위치, 용량 등 다루어야 할 것들이 여러 가지가 있으나 본 연구범위를 벗어난 또 다른 문제로 다루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 위치, 구성, 거점통신망의 의사결정변수를 다루었으나 도시에는 다양한 변수가 존재할 수 있다. 본 연구는 최대한 이러한 상황을 고려해 문제를 단순화하여 모의실험을 하였다. 모의실험 데이터와 다른 형태의 데이터가 존재할 수 있으나, 본 연구의 모형안에서 다루어질 수 있을 것이라 본다.

본 연구의 한계는 우리나라의 도시방법 CCTV의 형태에 대한 기준으로 문제를 다루었기 때문에 다양한 도시의 환경에서 문제를 다루기에 부족함이 있었을 것이라 본다. 하지만, 본 연구의 모형 형태로 도시방법 CCTV의 위치선정 문제는 다른 유사형태의 문제에서도 다루어질 수 있

을 것이라 기대한다. 최근은 단순 범죄 예방과 대응을 위한 설치에서 진화하여 도시문제 해결을 위한 다목적 용도로 활용되고 있기 때문에 모형에 관한 추가연구가 필요할 수도 있다. 본 연구의 기법을 활용하여 도시방법 CCTV가 효율적으로 설치되고 운영 보급되어 안전한 도시 만들기에 기여할 수 있기를 기대한다. 향후 본 연구의 결과에 의한 모형 적용을 실제 사례에서 사후평가를 통한 적정성 검토 연구를 통한 알고리즘 개선이 이루어지는 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

[국내 문헌]

- 강석진, 박지은, & 이경훈. (2009). 주민의식조사를 통한 주거지역 방범용 CCTV 효과성 분석. *대한건축학회 논문집-계획계*, 25(4), 235-244.
- 강용길, & 염운호. (2020). 방범용 CCTV 의 범죄예방효과에 관한 연구-감시범위 및 운용기관별 효과성을 중심으로. *한국셉테드학회지*, 11(2), 35-59.
- 기정훈. (2015). 도시의 인구특성이 강력범죄에 미치는 영향에 관한 연구. *한국지역개발학회지*, 27(1), 107-124.
- 김영현, 김용국, & 윤호선. (2020). *스마트시티 통합플랫폼 기반구축사업 성과관리체계 구축 연구*. 건축공간연구원.
- 박은형, & 정지수. (2014). 범죄예방정책으로서 방범용 CCTV의 효과성에 관한 연구: 패널 2SLS를 활용한 분석을 중심으로. *한국경찰학보*, 16(1), 39-74.
- 박철현, & 최수형. (2013). 기초자치단체의 방범용 CCTV의 범죄예방효과: 강남구 논현동의 시범설치를 중심으로. *공공정책연구*, 30(2), 25-42.
- 박현호, 황영선, & 김동근. (2011). WDQ 분석을 통한 CCTV 의 범죄전이 연구-광명시 사례 중심으로. *한국경찰연구*, 10(2), 107-128.
- 송미경. (2015). 세계 도시화의 핵심 이슈와 신흥도시들의 성장 전망. *서울연구원 세계도시연구센터*. 46-66
- 장길웅. (2015). 타부 서치 알고리즘 기반의 무선 센서 네트워크에서 센

- 서 노드 배치. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 19(5), 1084-1090.
- 안정일. (2018). 반도체 측정공정을 위한 재측정 디스패칭 룰 : 패널티기법을 이용한 불확실성하의 스케줄링을 중심으로. 숭실대학교 대학원 박사학위논문.
- 안태호. (1998). 자원제약을 고려하며 기간단축이 가능한 복수의 양식을 지닌 단일 프로젝트의 일정문제. *한국컴퓨터정보학회논문지*, 3(4), 154-163.
- 이민정, & 김영호. (2014). 유동인구 및 인구밀도를 활용한 안산시 방범용 CCTV 의 입지모델링 연구. *국토지리학회지*, 48(4), 533-546.
- 이상원, & 이승철. (2005). 경찰 CCTV 운용상의 문제점과 개선방안. *시큐리티연구*, (10), 215-242.
- 임민혁, & 홍준현. (2008). 방범용 CCTV의 범죄예방 효과분석을 통한 범죄예방정책의 방향. *한국정책과학학회보*, 12(4), 77-101.
- 임형백. (2010). 도시범죄에 대한 도시계획적 인식과 대응. *치안정책연구*, 24(2), 55-83.
- 정진성, & 황의갑. (2012). 방범용 CCTV 의 범죄예방효과에 관한 연구-천안아산 지역 읍면동을 중심으로. *한국공안행정학회보*, 21(1), 181-209.
- 조영진, 한수경, & 박유나. (2019). 범죄예방 환경조성 시설·기법의 효과성 분석 연구. 건축공간연구원.
- 허선영, & 문태현. (2015). 범죄예방을 위한 CCTV 위치 적절성 및 효과성 분석. *한국지역지리학회지*, 21(4), 739-750.
- 황준하. (2006). 이웃해 탐색 기법을 이용한 Maximal Covering 문제의

- 해결. *한국컴퓨터정보학회논문지*, 11(1), 129-138.
- 김지훈. (2023.11.25.). 방법용 CCTV 설치 최적지 선정을 위한 빅데이터 분석. *한국지역정보개발원*.
<https://citation.sawoo.com/qna/item/227;jsessionid=0BE17FF17BB6274DCAE2B826CCC65FB8>
- 이야기연구소. (2021. 12. 8) 전국 CCTV 표준데이터와 대검찰청 범죄 발생 지역 데이터. <https://www.iyagilab.com/posts/post-1>

[해외 문헌]

- Ahn, T., & Erenguc, S. S. (1998). The resource constrained project scheduling problem with multiple crashable modes: a heuristic procedure. *European Journal of Operational Research*, 107(2), pp. 250-259.
- Ballestin, F., & Leus, R. (2009). Resource-constrained project scheduling for timely project completion with stochastic activity durations. *Production and Operations Management*, 18(4), 459-474.
- Barbosa, H. J., & Lemonge, A. C. (2008). *An adaptive penalty method for genetic algorithms in constrained optimization problems*. INTECH Open Access Publisher.
- Caplan, J. M., Kennedy, L. W., & Petrossian, G. (2011). Police-monitored CCTV cameras in Newark, NJ: A quasi-experimental test of crime deterrence. *Journal of Experimental Criminology*, 7, 255-274.
- Černý, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling

- salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45, 41-51.
- Chen, C., Demir, E., & Huang, Y. (2021b). An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and delivery robots. *European Journal of Operational Research*, 294(3), 1164-1180.
- Chen, S., Pan, Q. K., & Gao, L. (2021a). Production Scheduling For Blocking Flowshop in Distributed Environment Using Effective Heuristics and Iterated Greedy Algorithm. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 71, 102155.
- Clarke, R. V. (1995). Situational crime prevention. *Crime and Justice*, 19, 91-150.
- Coello, C. A. C. (2002). Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191(11-12), 1245-1287.
- Datta, R., & Deb, K. (Eds.). (2014). *Evolutionary Constrained Optimization*. Springer.
- Eglese, R. W. (1990). Simulated annealing: A tool for operational research. *European Journal of Operational Research*, 46(3), 271 - 281.
- Farrington, D. P., Gill, M., Waples, S. J., & Argomaniz, J. (2007). The effects of closed-circuit television on crime: Meta-analysis of an English national quasi-experimental multi-site evaluation. *Journal*

- of Experimental Criminology*, 3, 21–38.
- Guo, Y., Chen, X., & Yang, Y. (2022). Multimodal transport distribution model for autonomous driving vehicles based on improved ALNS. *Alexandria Engineering Journal*, 61(4), 2939–2958.
- Habitat, U. N. (2020). World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization. *United Nations Human Settlements Programme*.
- Jang, Y., Kim, D., Park, J., & Kim, D. (2018). Conditional effects of open-street closed-circuit television (CCTV) on crime: A case from Korea. *International Journal of Law, Crime and Justice*, 53, 9–24.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671–680.
- Kolisch, R., & Drexel, A. (1997). Local Search For Nonpreemptive Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling. *IIE Transactions*, 29(11), 987–999.
- Lancichinetti, A., & Fortunato, S. (2009). Community detection algorithms: a comparative analysis. *Physical Review E*, 80(5), 056117.
- LaVigne, N. (1994). Gasoline Drive-Offs: Designing A Less Convenient Environment. *Crime Prevention Studies*, 2, 91–114.
- Li, C., & Lim, A. (2018). A Greedy Aggregation - Decomposition Method For Intermittent Demand Forecasting In Fashion Retailing, *European Journal of Operational Research*, 269(3), 860–869.

- Li, H., Wang, H., Chen, J., & Bai, M. (2020). Two-Echelon Vehicle Routing Problem With Time Windows and Mobile Satellites. *Transportation Research Part B: Methodological*, 138, 179–201.
- Li, H., Zhao, J., & Zhan, Z. (2022). Truck and Unmanned Vehicle Routing Problem with Time Windows: A Satellite Synchronization Perspective. *Journal of Advanced Transportation*, 2022.
- Lim, H., & Wilcox, P. (2017). Crime-reduction effects of open-street CCTV: Conditionality considerations. *Justice Quarterly*, 34(4), 597–626.
- Lova, A. L., Tormos, M. P., & Barber, F. (2006). Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling: Scheduling Schemes, Priority Rules And Mode Selection Rules. *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 10(30), 69–86.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087–1092.
- Newman, O. (1973). *Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design*. New York: Collier Books.
- Ostermeier, M., Heimfarth, A., & Hübner, A. (2022). Cost Optimal Truck And Robot Routing For Last Mile Delivery. *Networks*, 79(3), 364–389.
- Rasheed, K. (1998). An adaptive penalty approach for constrained genetic-algorithm optimization. In *Proceedings of The Third Annual Genetic Programming Conference*, 584–590. Morgan

Kaufmann San Francisco, CA.

- Ratcliffe, J. H., & Groff, E. R. (2019). A longitudinal quasi-experimental study of violence and disorder impacts of urban CCTV camera clusters. *Criminal Justice Review*, 44(2), 148–164.
- Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 40(4), 455–472.
- Taha, H. A. (2011). *Operations Research: an Introduction* (Vol. 790). Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson/Prentice Hall.
- Xue, S., Song, R., He, S., An, J., & Wang, Y. (2022). An improved adaptive large neighborhood search algorithm for the heterogeneous customized bus service with multiple pickup and delivery candidate locations. *Journal of Advanced Transportation*, 2022.
- Yu, S., Puchinger, J., & Sun, S. (2022). Electric Van-Based Robot Deliveries With En-Route Charging. *European Journal of Operational Research*.
- Zhao, J., Hu, H., Han, Y., & Cai, Y. (2023). A review of unmanned vehicle distribution optimization models and algorithms. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*.