

CPTED 관점에서 휴머노이드 로봇의 공공안전 역할에 관한 연구

A Study on the Public Safety Role of Humanoid Robots from the CPTED Perspective

주 저 자 : 김태경 (Kim, Tae Kyung)

Professor, Faculty of Art and Deign, Van Lang University
neosses@naver.com

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2026.2.21>

접수일 2026. 04. 24. / 심사완료일 2026. 05. 29. / 게재확정일 2026. 06. 08. / 게재일 2026. 06. 30.

Abstract

This study aims to analyze the role of humanoid robots in public safety from the perspective of CPTED (Crime Prevention Through Environmental Design) and to explore the possibility of expanding conventional CPTED theory into a technology-based dynamic public safety system. Traditional CPTED has focused on crime prevention through physical environmental design based on the principles of natural surveillance, access control, territorial reinforcement, maintenance, and activity support. However, this approach has limitations in explaining contemporary public environments, where real-time response and proactive intervention are increasingly required. Accordingly, this study conceptualizes humanoid robots as active agents in public spaces and reinterprets the five CPTED principles by linking them to the functional system of humanoid robots. The study was conducted through four stages: functional mapping analysis, Perception-Decision-Action (P-D-A) structure modeling, scenario-based analysis, and integrated scenario mapping. The results show that CPTED principles can be organically connected to the sensing, control, warning, reporting, and interaction functions of humanoid robots. In addition, the scenarios of subway stations, parks, and residential areas all demonstrated that the P-D-A structure can generate public safety effects such as crime prevention, risk detection, user protection, and spatial activation. Therefore, this study is significant in that it provides a theoretical and methodological foundation for extending CPTED from a static environmental design theory to a dynamic public safety system.

Keyword

CPTED(환경 디자인을 통한 범죄 예방), Humanoid robot(휴머노이드 로봇), Public environment(공공환경), Public safety(공공안전), Environmental design(환경설계), Crime prevention(범죄예방)

요약

본 연구는 CPTED(Crime Prevention Through Environmental Design) 관점에서 휴머노이드 로봇의 공공안전 역할을 분석하고, 기존 CPTED 이론을 기술 기반의 동적 공공안전 시스템으로 확장할 가능성을 탐색하는 데 목적이 있다. 전통적 CPTED는 자연적 감시, 접근 통제, 영역성 강화, 유지관리, 활동 지원을 중심으로 물리적 환경 설계를 통해 범죄를 예방해 왔으나, 실시간 대응과 능동적 개입이 요구되는 현대 공공환경을 설명하는 데 한계를 가진다. 이에 본 연구는 휴머노이드 로봇을 공공공간 내 능동적 행위자로 설정하고, CPTED의 5대 원칙을 로봇의 기능 체계와 연결하여 재해석하였다. 연구는 기능 매핑 분석, 인지-판단-행동(P-D-A) 구조 모델링, 시나리오 기반 분석, 통합 시나리오 매핑의 절차로 진행되었다. 분석 결과, CPTED 원칙은 휴머노이드 로봇의 감지, 통제, 경고, 보고, 상호작용 기능과 유기적으로 연결되었으며, 지하철역·공원·주거지역의 시나리오 모두에서 P-D-A 구조를 통해 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 활성화 효과가 도출되었다. 따라서 본 연구는 CPTED를 정적 환경설계 이론에서 동적 공공안전 시스템으로 확장하는 이론적, 방법론적 기반을 제시했다는 점에 의의가 있다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 배경
- 1-2. 연구 목적 및 필요성

2. 이론적 배경

- 2-1. CPTED 개념 및 발전
- 2-2. 공공안전 기술의 진화와 로봇의 도입
- 2-3. 해외 공공안전 로봇 적용 사례

3. 연구 방법

- 3-1. 연구 체계
- 3-2. 연구 방법

4. 연구 결과

- 4-1. CPTED 기반 휴머노이드 로봇 적용 구조의 도출
- 4-2. P-D-A 기반 환경별 시나리오 분석

4-3. 통합 시나리오 구조 분석

5. 결론

- 5-1. 연구 의의
- 5-2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구 배경

현대의 도시 환경은 급속한 도시화와 인구 밀집, 그리고 공공공간의 복잡성 증가로 인해 다양한 형태의 안전 문제에 직면하고 있다. 특히 지하철, 공원, 상업시설, 주거지역과 같은 공공 공간에서는 범죄 발생 가능성이 상시 존재하며, 이에 대한 예방과 대응 또한 도시 운영의 핵심 과제로 부각되고 있다. 기존의 공공안전 관리 방식은 CCTV와 같은 감시 장치나 물리적 시설 설계, 그리고 인력 중심의 순찰 체계에 의존해 왔으나, 이러한 방식은 실시간 대응의 한계로 부터 높은 운영 비용, 그리고 사용자와의 상호작용 부족이라는 문제를 내포하고 있다.

이러한 한계를 보완하기 위한 접근으로 제시된 것이 CPTED(Crime Prevention Through Environmental Design)이다. CPTED는 환경 설계를 통해 범죄를 예방하는 이론으로, 자연적 감시, 접근 통제, 영역성 강화, 유지관리, 활동 지원이라는 다섯 가지 원칙을 중심으로 구성되며, 환경을 통해 인간의 행동을 유도하고 범죄 기회를 감소시키는 효과적인 전략을 통해 다양한 도시 설계 및 건축 분야에서 활용되어 왔다.¹⁾

그러나 CPTED는 본질적으로 물리적 환경 요소에 기반 한 정적 설계 방식에 머물러 있어, 변화하는 상황에 대해 실시간으로 대응하거나 능동적 개입에 대한 기능은 제한적이라는 한계를 가진다. 때문에 현대 도시 환경에서는 단순한 감시를 넘어 상황을 인지하고 판단하며 즉각적으로 대응할 수 있는 지능형 시스템의 필요성이 점점 증가하고 있다.

따라서, 최근 인공지능(AI)과 로봇 기술의 발전은 공공안전 분야에 새로운 가능성을 제시하고 있다. 특히 휴머노이드(Humanoid) 로봇은 인간과 유사한 형태와 행동을 기반으로 공공공간에서 자연스럽게 상호작용이 가능하고, 센서 및 비전 기술을 통해 환경을 인지하거나 시를 통해 상황을 분석하며, 물리적 이동과 인터페이스를 통해 능동적으로 개입할 수 있는 특징을 가진다.²⁾ 이러한 특성은 기존의 수동적 감시 시스템을 넘어, 공공안전 환경을 능동적으로 관리할 수 있는 새로운 패러다임을 제시하고 있다.

1-2. 연구 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 CPTED의 5대 원칙을 이론적 기반으로 하여, 휴머노이드 로봇이 공공안전 환경에서 수행할 수 있는 역할을 체계적으로 분석하고, 이를 토대로 공공공간에 적용 가능한 통합적 모델을 제안하는 데 있다. 기존 CPTED는 범죄예방을 위한 환경설계 전략으로서 도시계획, 건축, 환경디자인 등 다양한 분야에서 활용되어 왔으며, 물리적 환경의 조정과 공간 구조의 개선을 통해 범죄 기회를 감소시키는 효과적인 접근으로 평가되어 왔다. 그러나 이러한 접근은 주로 공간의 형태적·구조적 요소에 의존하는 정적 설계 패러다임에 머물르고 있어, 실시간 상황 인지와 즉각적 대응이 요구되는 현대 공공안전 환경의 복합적 특성을 충분히 반영하는 데 한계를 가진다.

현대 도시의 공공공간은 급속한 도시화, 인구 집중, 이용 행태의 다양화로 인해 범죄, 사고, 시설 이상, 군중 밀집 등 복합적 위험 요소에 지속적으로 노출되어 있다. 이에 따라 공공안전은 더 이상 물리적 방어와 사

1) 사단법인한국샵테드학회, CPTED 개념 및 실천원리(2026.04.23)<https://www.cpted.or.kr/kr/business/intro.php>

2) 김태경, 반영환, '공공환경에서 휴머노이드 로봇 활용을 위한 시나리오 분류체계에 관한 연구', 한국기초조형학회, Vol.2024, No.6, 2024, p49

후 대응에만 의존할 수 없으며, 위험 상황을 능동적으로 인지하고 판단하며 개입할 수 있는 지능형 시스템으로의 전환이 요구된다. 이러한 관점에서 볼 때, 인공지능과 로봇 기술의 발전은 기존 공공안전 체계의 한계를 보완할 수 있는 새로운 가능성을 제공한다. 특히 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 형태적 특성과 상호작용 능력을 바탕으로 공공 공간 내에서 자연스럽게 작동할 수 있으며, 다양한 센서와 비전 기술을 통해 환경을 인식하고, 인공지능 기반 분석을 통해 상황을 판단하며,³⁾ 물리적 이동 및 정보 전달 기능을 통해 능동적으로 개입할 수 있다는 점에서 주목할 필요가 있다.

이러한 문제의식으로부터 본 연구의 필요성은 세 가지 측면에서 정리될 수 있다. 첫째, 기존 CPTED는 환경 조성을 통한 간접적 통제에 초점을 두고 있어, 실시간 상황 변화에 대한 능동적 대응에는 구조적 한계를 가진다. 둘째, 공공안전 관리의 효율성과 정밀성을 높이기 위해서는 인간 중심의 순찰 및 감시 체계를 보완할 수 있는 지능형 기술의 도입이 필요하며, 휴머노이드 로봇은 정보 수집, 위험 분석, 현장 대응을 통합적으로 수행할 수 있는 대안적 수단이 될 수 있다. 셋째, 공공안전은 단순한 범죄 억제와 물리적 보호를 넘어, 이용자에게 심리적 안정감과 신뢰를 제공하는 경험의 문제로 확장되고 있으며, 이 점에서 휴머노이드 로봇은 공공 공간 내 안전 경험을 매개하는 중요한 인터페이스로 가능할 수 있다.

2. 이론적 배경

2-1. CPTED 개념 및 발전

CPTED(Crime Prevention Through Environmental Design)는 물리적 환경 설계를 통해 범죄 발생 가능성을 사전에 억제하고, 이용자의 행동을 긍정적으로 유도함으로써 안전한 공간을 조성하고자 하는 범죄예방 이론이다.⁴⁾ 그 기본 전제는 범죄가 개인의 일탈적 성향만이 아니라, 환경이 제공하는 기회 구조와 조건에 의해 영향을 받는다는 점에 있으며, 따라서 범죄 가능성이 높은 환경적 요인을 사전에 조정함으로써 범죄 기

회를 감소시키는 데 핵심 목적이 있다.

CPTED의 이론적 기반은 1970년대 C. Ray Jeffery(1971)와 Oscar Newman(1972)의 연구를 통해 형성되었다. Jeffery는 환경 설계가 인간 행동에 미치는 영향을 강조하며 CPTED 개념을 처음 제시하였고, Newman은 방어 공간 이론(Defensible Space)을 통해 공간의 물리적 구조가 주민의 감시와 통제 행위를 강화할 수 있음을 설명하였다.⁵⁾ 이후 CPTED는 도시계획, 건축, 환경디자인 등 다양한 분야로 확장되며 범죄예방을 위한 실천적 전략으로 발전해 왔다.

초기 CPTED, 즉 1세대 CPTED는 물리적 환경 요소를 중심으로 발전하였으며, 자연적 감시, 접근 통제, 영역성 강화, 유지관리 등의 원칙을 핵심으로 한다. 이는 공간의 가시성을 높이고, 동선을 통제하며, 경계를 명확히 하고, 환경을 지속적으로 관리함으로써 범죄 기회를 감소시키는 데 목적이 있다. 이후 2세대 CPTED는 물리적 환경을 넘어 사회적 요인과 공동체 참여를 포함하는 방향으로 확장되었다.⁶⁾ 이 단계에서는 활동 지원, 사회적 결속, 지역 커뮤니티 활성화와 같은 요소가 강조되며, 안전한 공간 형성이 단순한 설계의 문제가 아니라 사회적 관계와 공동체 기반의 실천과도 밀접하게 연결된다는 점이 부각되었다.

그러나 이러한 발전에도 불구하고 CPTED는 여전히 공간 설계 중심의 정적 접근이라는 한계를 지닌다. 즉, 환경이 조성된 이후 발생하는 상황 변화에 능동적으로 대응하거나, 실시간으로 위험 요소를 감지하고 즉각적으로 개입하는 기능은 상대적으로 부족하다.

따라서 CPTED는 더 이상 물리적 환경 설계에 국한된 예방 이론으로만 이해될 것이 아니라, 실시간 데이터와 지능형 기술 시스템을 기반으로 작동하는 동적 안전 구조로 재해석될 필요가 있다. 이러한 관점은 본 연구에서 제안하는 휴머노이드 로봇 기반 공공안전 시스템의 이론적 출발점이 된다.

2-2. 공공안전 기술의 진화와 로봇의 도입

공공안전 기술은 전통적으로 CCTV, 경비 인력, 출입통제 장치 등 고정형 감시와 사후 대응 중심의 체계로 발전해 왔다. 이러한 방식은 일정 수준의 예방과 통

3) Oh, Jun Ho, "A Study of the Current states and Development Direction of Humanoid Robot", Journal of the KSME, vol. 44, no. 4, p. 44-52, 2004

4) 양진석, 환경설계(CPTED)를 활용한 도시범죄 예방에 관한 연구, 안양대학교 박사학위논문, 2010, p.36-37

5) 윤경수, 범죄예방 환경설계(CPTED)도입이 삶의 질에 미치는 영향에 대한 연구, 경기대학교 석사학위논문, 2020, p.25-26

6) 최원피터, 스마트시티의 AI Smart CPTED Infra 분석, 고려대학교 석사학위논문, 2025, p.17-18

제 효과를 제공하였으나, 복합적이고 가변적인 현대 공공환경의 위험을 실시간으로 인식하고 능동적으로 대응하는 데에는 한계를 지닌다. 특히 도시 공간의 대형화, 이용자 구성의 다양화, 비정형적 위험 상황의 증가로 인해, 공공안전 시스템은 단순 감시를 넘어 상황 인식과 즉각적 개입이 가능한 지능형 체계로 전환될 필요성이 커지고 있다.

이러한 변화 속에서 인공지능, 컴퓨터 비전, 센서 융합, 사물인터넷(IoT), 자율주행 기술 등의 발전은 공공안전 기술의 패러다임을 크게 변화시키고 있다. 기존 시스템이 위험 상황을 기록하거나 경고하는 수준에 머물렀다면, 최근의 기술 기반 안전 시스템은 환경과 이용자 정보를 실시간으로 수집·분석하고, 이상행동이나 위험 징후를 조기에 탐지하며, 상황에 따라 적절한 대응을 수행할 수 있는 방향으로 발전하고 있다.⁷⁾ 즉, 공공안전 기술은 고정된 인프라 중심의 수동적 감시 체계에서, 데이터 기반의 예측·판단·개입이 가능한 능동적 시스템으로 진화하고 있다.

이 과정에서 로봇의 도입은 공공안전 기술의 확장된 형태로 주목된다. 특히 휴머노이드 로봇은 단순한 기계 장치가 아니라, 이동성, 감지 능력, 상호 작용성, 물리적 개입 가능성을 동시에 갖춘 기술적 행위자라는 점에서 기존 안전 장비와 구별된다. CCTV나 센서가 특정 위치에 고정되어 정보를 수집하는 데 그친다면, 휴머노이드 로봇은 공간을 이동하며 정보를 탐지하고, 상황을 해석하며, 이용자와 직접 상호작용하거나 현장 개입을 수행할 수 있다. 이러한 특성은 공공안전이 요구하는 실시간성, 맥락성, 대응성을 보다 적극적으로 구현할 수 있게 한다.

또한 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 형태와 커뮤니케이션 방식을 통해 공공공간에서 보다 직관적인 상호작용을 가능하게 한다. 이는 단순 감시 기능을 넘어 길 안내, 위험 경고, 취약자 지원, 질서 유지, 관리자 연계 등의 복합적 역할을 수행할 수 있음을 의미한다.

그러나 현재까지 공공안전 분야에서의 로봇 활용은 주로 기술적 가능성이나 개별 기능 중심으로 논의되어 왔으며, 이를 범죄예방 이론이나 공간안전 이론과 체계적으로 연결한 연구는 상대적으로 부족하다. 특히 로봇의 감지, 판단, 행동 기능이 공공공간의 안전 원리와 어떠한 구조적 관계를 가지는지에 대한 이론적 설명은 아직 충분히 정립되지 않았다. 따라서 공공안전 기술로

서의 로봇을 보다 효과적으로 이해하고 적용하기 위해서는, 이를 환경과 범죄가 밀접한 관련이 있다는 기존의 범죄예방 이론과 결합하여 해석할 필요가 있다.⁸⁾

이러한 점에서 휴머노이드 로봇은 CPTED의 한계를 보완할 수 있는 유력한 기술적 수단으로 이해될 수 있다. 기존 CPTED가 물리적 환경 조성을 통해 범죄 기회를 간접적으로 억제하는 데 중점을 두었다면, 휴머노이드 로봇은 환경 정보를 실시간으로 수집하고, 위험을 판단하며, 직접 개입하는 과정을 통해 공공안전을 보다 능동적이고 동적인 방식으로 구현할 수 있다. 따라서 공공안전 기술의 진화와 로봇의 도입은 CPTED를 정적 설계 이론에서 지능형 공공안전 시스템으로 확장하는 중요한 전환점이 된다.

2-3. 해외 공공안전 로봇 적용 사례

최근 해외의 주요 도시와 공공시설에서는 인공지능 및 자율주행, 센서 융합 기술을 기반으로 한 공공안전 로봇의 도입을 시범적으로 추진하고 있으며, 이러한 사례들은 로봇을 단순히 안내를 위한 기계장치의 개념을 넘어 공공공간에서 위험을 감지하거나 순찰, 감시 등의 역할을 수행하는 능동적인 안전 매개체로의 활용이 확대되고 있다. 특히 대중이 주로 이용하는 교통시설, 상업시설 및 관광 휴양지와 같은 다중 이용 공간에서는 로봇이 이미 고정형 CCTV의 역할이나 인력 중심의 순찰체계를 넘어 다양한 환경에 배치되고 있다.

[표 1] 해외 공공환경에서의 로봇 적용사례

국가	대표사례	적용환경유형	주요기능
미국	보안로봇 Knightscope K5	타임스퀘어, 지하철역, 주차장, 상업시설	자율순찰을 수행, 카메라 센서·GPS·변호판 인식, 제한구역 침입이나 의심 상황을 감지
싱가포르	경찰순찰로봇	창이공항 국내선 및 국제선 터미널 내	경찰관의 시설 순찰을 보조하고, 현장의 추가 감시 수단
일본	인공지능 스타업 ZEALS가 중국의 유니트리 도입	쓰쿠바대학부속 병원	야간 회진 시 법서비스 및 채혈실 등 시설 안내기능
중국	체리자동차의 로봇 회사인 AiMOGA가 개	교차로 및 횡단보도, 교통정체 구간, 기차역	신호등 시스템과 연동해 실제 교통경찰과

7) 김태경, 공공환경에서 휴머노이드 로봇 활용을 위한 대상 별 수용모델에 관한 연구, 국민대학교, 박사학위논문, 2024, p14

8) 신혜란, 한국 범죄예방디자인 특성, 공공성 이론과 한국 공공디자인 정책을 중심으로, 국민대학교, 석사학위논문, 2014, p42

	발한 우여우(芻 兪) 지능 경찰 R001호	등	협력하여 수신 호 및 통행안 내
한국	현대차그룹이 소방청에 기증 한 무인소방로 봇	지진 등 재난 발생지역 및 화재발생 현장	자율주행보조 시스템은 주변 지형과 장애물 을 인지해 충 돌 위험을 줄 이고,화재를 진 압

3. 연구 방법

3-1. 연구 체계

본 연구는 CPTED의 이론적 틀을 기반으로, 공공공간에서 휴머노이드 로봇이 수행할 수 있는 공공안전 역할을 체계적으로 분석하고 이를 설명할 수 있는 통합적 연구 체계를 구축하는 데 목적이 있다. 기존 CPTED는 범죄 발생 가능성을 낮추기 위해 물리적 환경을 설계하고 관리하는 전략적 접근으로 발전해 왔으며, 공간 구성 요소의 배치와 관리 상태를 통해 인간의 행동을 간접적으로 통제하는 데 초점을 두었다. 그러나 이러한 방식은 실시간 대응과 능동적 개입이 요구되는 현대 도시 환경의 복합적 위험 상황을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다.

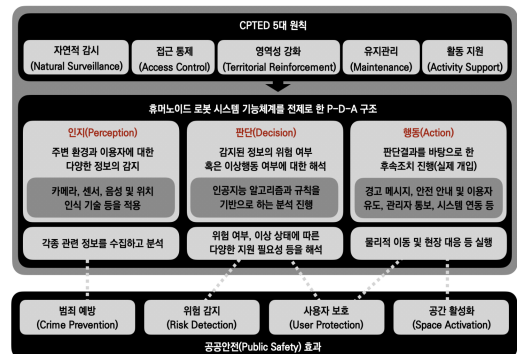
이에 본 연구에서는 휴머노이드 로봇을 단순한 보조 장치나 감시 매체가 아니라, 공공공간 내에서 환경 정보를 인식하고, 상황을 해석하며, 실제로 개입할 수 있는 ‘능동적 행위자(Active Agent)’로 규정한다. 이는 CPTED를 인간-환경 관계에 한정된 이론으로 보는 관점에서 벗어나, 인간, 공간, 기술이 상호작용하는 동적 안전 시스템으로 확장하려는 시도라고 할 수 있다.

이를 위해 CPTED의 5대 원칙을 상위 개념으로 설정하고, 이를 휴머노이드 로봇의 기능 체계와 연결하는 연구 프레임임을 제안한다. 자연적 감시는 환경 감지 및 이상 징후 탐지 기능으로, 접근 통제는 위험 구역 안내와 제한 구역 경고 기능으로, 영역성 강화는 공간 인식과 상호작용 기능으로, 유지관리는 시설 상태 점검과 이상 환경 감지 기능으로, 활동 지원은 안내와 지원, 커뮤니케이션 기능으로 구현될 수 있다. 이러한 연결은 CPTED를 단순한 공간 설계 원칙이 아니라 실제 작동 가능한 기술 시스템으로 재구성하는 데 핵심적 의미를 가진다.

또한 본 연구는 휴머노이드 로봇의 기능을 개별 기술 요소의 나열이 아니라, 인지(Perception)-판단(Decision)-행동(Action)의 단계적 흐름으로 구조화하

였다. 이는 공공안전 상황에서 로봇의 역할이 단순 기능 수행이 아니라, 변화하는 환경에 대한 연속적 반응 체계로 이해되어야 하기 때문이다. 공공공간의 위험은 시간과 맥락에 따라 장소성과 사용자의 다양성을 통해 지속적으로 변동하므로⁹⁾, 로봇은 정보를 수집하고 이를 해석한 뒤 적절한 방식으로 개입해야 한다. 따라서 로봇의 기능은 독립된 기술 목록이 아니라 상황 인식에서 대응으로 이어지는 과정 중심 구조로 분석될 필요가 있다.

이와 함께 인지-판단-행동 구조는 인간의 안전행동 체계 및 지능형 시스템의 작동 원리와도 높은 정합성을 가진다. 인간 역시 위험 요소를 지각하고, 이를 해석한 뒤 회피, 경고, 도움 요청 등의 행동으로 이어간다. 따라서 휴머노이드 로봇이 공공안전의 주체로 기능하기 위해서는 이와 유사한 구조를 가질 필요가 있으며, 이는 이용자와의 상호작용에서 직관성과 신뢰성을 확보하는 데도 유리하다. 또한 이 구조는 CPTED 원칙을 기술적으로 번역하는 데 효과적이다. 예를 들어 자연적 감시는 인지 단계의 환경 감지, 판단 단계의 위험 해석, 행동 단계의 경고 및 보고로 이어질 때 비로소 실질적인 안전 기능으로 구현된다.



[그림 1] CPTED x 휴머노이드 로봇 기능 매핑 모델

이러한 점에서 인지 단계는 카메라, 센서, 음성 및 위치 인식 기술 등을 통해 공공환경과 이용자에 관한 정보를 수집하는 과정으로 이해된다. 판단 단계는 수집된 정보가 인공지능 알고리즘과 규칙 기반 분석을 통해 위험 여부, 이상 상태, 지원 필요성 등으로 해석되는 과정이다. 행동 단계는 판단 결과를 바탕으로 경고

9) 이석현, 사회적 역자를 배려한 공공공간 안전디자인 통합 평가지표 연구, 한국공간디자인학회, Vol.17, No.4, 2022, P113

메시지 제공, 안전 안내, 이용자 유도, 관리자 통보, 시스템 연동, 물리적 이동 및 현장 대응 등 실제 개입이 이루어지는 단계이다.

결국 본 연구는 CPTED의 원칙을 공간 설계 중심의 정적 개념에서 벗어나, 휴머노이드 로봇의 인지-판단-행동 프로세스를 통해 구현되는 동적 안전 시스템으로 재해석한다. 이러한 체계는 최종적으로 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 활성화와 같은 공공안전 효과로 이어지며, 본 연구는 이를 하나의 통합된 흐름 구조로 제시한다.

3-2. 연구 방법

본 연구의 목적은 CPTED의 5대 원칙을 휴머노이드 로봇의 기능 체계와 연결하고, 이를 실제 공공환경에서 작동 가능한 동적 공공안전 모델로 재구성하는 데 있다. 이를 위해 본 연구는 기능 매핑 분석, P-D-A(Perception-Decision-Action) 구조 모델링, 시나리오 기반 분석, 통합 시나리오 매핑의 네 단계로 연구를 진행하였다.

3-2-1. 기능 매핑 분석

기능 매핑 분석은 CPTED의 전통적 원칙을 휴머노이드 로봇의 기능 요소로 전환하기 위한 단계이다. CPTED는 자연적 감시, 접근 통제, 영역성 강화, 유지 관리, 활동 지원을 통해 안전한 환경을 조성하는 이론이지만, 그 적용 방식은 주로 물리적 환경의 배치와 관리에 기반 해 왔다. 이에 본 연구는 각 원칙의 목적과 작동 논리를 분석한 후, 이를 로봇이 수행할 수 있는 구체적 기능으로 재해석하였다.

예를 들어 자연적 감시는 환경 및 이용자 행태에 대한 감지 기능으로, 접근 통제는 출입 관리와 위험 구역 안내 기능으로, 영역성 강화는 공간 규범 전달과 경계 인식 기능으로, 유지관리는 시설 및 환경 상태 점검 기능으로, 활동 지원은 정보 제공과 이용자 지원 기능으로 전환하였다. 이러한 기능 매핑은 CPTED를 정적인 환경설계 원리에서 기능 중심의 시스템 구조로 확장하는 기초 단계이며, 이후 로봇의 작동 과정을 구조화하기 위한 이론적 기반이 된다.

3-2-2. P-D-A 구조 모델링

기능 매핑을 통해 도출된 로봇 기능은 인지, 판단, 행동의 단계적 흐름으로 재구성되었다. 본 연구가 P-D

-A 구조를 채택한 이유는 공공안전 상황이 고정된 상태가 아니라, 환경 변화에 대한 연속적 인식과 해석, 개입의 과정으로 이해되어야 하기 때문이다.

따라서 인지 단계에서는 카메라, 센서, 음성 인식 장치 등을 통해 공간 내 이용자 행동, 환경 변화, 위험 요소, 시설 상태 등의 정보를 수집한다. 그리고 판단 단계에서는 수집된 정보를 바탕으로 위험 여부, 이상행동 여부, 관리 필요성, 사용자 지원 필요성 등을 분석한다. 행동 단계에서는 이러한 판단 결과를 바탕으로 경고, 안내, 기록, 관리자 연동, 물리적 이동 및 현장 대응 등의 개입이 이루어진다. 이와 같은 P-D-A 구조는 CPTED 원칙이 휴머노이드 로봇을 통해 실제 공공안전 기능으로 구현되는 과정을 설명하는 핵심 분석 틀로 작동한다.

3-2-3. 시나리오 기반 분석

시나리오 기반 분석은 제한된 모델의 적용 가능성을 실제 공공환경 맥락에서 검토하기 위한 단계이다. 이를 위해 지하철역, 대학 캠퍼스, 공원, 주거지역, 상업시설의 다섯 가지 대표적 공공환경을 선정하였다. 이들 공간은 이용자 구성, 위험 유형, 관리 방식, 공간 특성이 상이하여, 모델의 범용성과 맥락 적합성을 검토하기에 적절한 사례 군을 형성한다.

각 시나리오에서는 먼저 환경의 특성과 주요 안전 이슈를 파악하고, 해당 공간에서 상대적으로 중요하게 작용하는 CPTED 원칙을 도출하였다. 이어서 그 원칙이 어떤 로봇 기능으로 연결되는지, 그리고 해당 기능이 P-D-A 구조 속에서 어떠한 방식으로 작동하는지를 분석하였다. 이를 통해 로봇 기반 공공안전 모델이 환경에 따라 어떻게 다르게 구현될 수 있는지, 그리고 어떠한 안전 효과를 생성할 수 있는지를 구체적으로 검토하였다.

3-2-4. 통합 시나리오 매핑

통합 시나리오 매핑은 개별 시나리오 분석 결과를 종합하여, 다양한 공공환경에서 CPTED 원칙, 로봇 기능, P-D-A 구조, 공공안전 효과 간의 관계를 하나의 비교 가능한 틀로 정리하는 단계이다. 이를 위해 각 환경별로 우선 적용되는 CPTED 원칙, 이에 대응하는 로봇 기능, 작동 단계, 그리고 최종적으로 도출되는 공공안전 효과를 매트릭스 형태로 재구성하였다.

이 과정에서 공공안전 효과는 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 활성화의 네 범주를 중심으로 정리

하였다. 통합 시나리오 매핑은 개별 환경마다 강조되는 기능과 개입 방식은 다르더라도, 전체 구조는 CPTED 원칙에서 시작하여 기능 매핑, P-D-A 작동, 공공안전 효과로 이어지는 일관된 흐름 속에서 설명될 수 있음을 보여준다. 이는 본 연구가 제안하는 휴머노이드 로봇 기반 CPTED 모델이 특정 사례에 국한되지 않고, 다양한 공공공간에 적용 가능한 프레임임을 시사한다.

종합적으로, 본 연구의 방법론은 CPTED의 이론적 원칙을 휴머노이드 로봇의 기능 체계로 전환하고, 이를 인지-판단-행동의 작동 구조로 모델링한 뒤, 실제 공공환경 시나리오를 통해 적용 가능성을 검토하고, 마지막으로 이를 통합적 구조로 정리하는 다층적 접근으로 구성된다. 이러한 연구 방법은 CPTED를 정적 환경설계 이론에서 동적 공공안전 시스템으로 확장하기 위한 방법론적 근거를 제공한다.

[표 2] CPTED x 휴머노이드 로봇 기능 매핑 모델

	인지 (Perception)	판단 (Decision)	행동 (Action)	효과 (Effect)
자연적 감시	사람/행동/이상 상황 감지	위험 여부 판단 및 이상 행동 탐지	광고, 추적, 관리자 알림	범죄 억제 및 심리적 감시 효과
접근통제	얼굴/ID/행동 패턴 인식	접근 및 출입 권한 검증	출입 허용 및 차단	무단 및 무허가 침입 방지
영역성 강화	공간 경계 및 범위 인식	침입 여부 판단	경고 및 위치 이동	공간 및 범위 소유감 강화
유지관리	시설 상태 감지	이상 여부 분석	보고 및 자동 대응	환경 안전 유지
활동지원	사용자 행동/요청 인식	서비스 필요성 판단	안내 및 상호작용	긍정적 공간 이용 증가

4. 연구 결과

4-1. CPTED기반 휴머노이드 로봇 적용 구조의 도출

본 연구는 CPTED의 5대 원칙을 기반으로 휴머노이드 로봇의 공공안전 기능을 재구성하고, 이를 P-D-A 구조를 통해 통합적으로 분석하였다. 기존 CPTED가 물리적 환경 설계를 중심으로 범죄 예방을 도모하는 정적 구조에 기반 하였다면, 본 연구는 이를 휴머노이드 로봇의 기능 체계와 결합함으로써 실시간 감지와 능동적 개입이 가능한 동적 공공안전 시스템으로 확장하고자 하였다.

분석 결과, CPTED의 각 원칙은 휴머노이드 로봇의 구체적 기능과 유기적으로 연결될 수 있는 것으로 나타났다. 자연적 감시는 객체 및 행동 인식 기능으로, 접근 통제는 인증 및 출입 관리 기능으로, 영역성 강화는 공간 경계 인식 및 경고 기능으로, 유지관리라는 환경 상태 감지 및 보고 기능으로, 활동 지원은 정보 제공 및 사용자 상호작용 기능으로 구체화되었다. 이는 CPTED 원칙이 단순한 개념적 대응에 머무르지 않고, 로봇 시스템을 통해 실제 작동 가능한 공공안전 기능으로 전환될 수 있음을 보여준다.

결과적으로 CPTED는 더 이상 공간 설계에 한정된 정적 이론이 아니라, 휴머노이드 로봇의 인지-판단-행동 흐름을 통해 구현되는 지능형 공공안전 시스템 구조로 재해석될 수 있음을 확인하였다.

4-2. P-D-A 기반 환경별 시나리오 분석

본 연구는 제안된 휴머노이드 로봇 기반 CPTED 모델의 적용 가능성을 검토하기 위하여 지하철역, 공원, 주거지역의 세 가지 대표적 공공환경을 대상으로 시나리오 기반 분석을 수행하였다. 분석 결과, 각 환경은 공간적 특성과 안전 이슈에 따라 강조되는 CPTED 원칙의 조합에는 차이를 보였으나, 공통적으로 인지-판단-행동의 동일한 작동 구조를 통해 공공안전 효과를 도출하는 것으로 나타났다. 이는 휴머노이드 로봇이 특정 환경에 한정된 기능적 장치가 아니라, 다양한 공공공간에서 CPTED 원칙을 동적으로 구현할 수 있는 공통의 작동 프레임임을 가진다는 점을 시사한다.

[표 3] CPTED x 휴머노이드 로봇 통합 시나리오 매핑

단계	지하철역	근린공원	주거지역
가상 시나리오	이상행동 탐지 및 대응, 출퇴근 시간, 혼잡한 상황, 특정인물이 반복적으로 주변을徘徊 후 가방을 방지	공원 내 조명 시설 고장 또는 공공시설 파손 등, 시설에 대한 이상 감지	아파트 단지 출입구 주변, 일반 방문자 및 외부인 접근 감지
CPTED원칙	1)자연적 감시 2)접근통제 3)활동지원	1)영역성 강화 2)활동지원 3)자연적 감시	1)접근 통제 2)영역성 강화 3)유지관리
인지 (Perception)	군중밀도분석, 특정 인물의 반복 이동 패턴 감지 및 객체(방치된 가방) 인식	조도센서로부터 조명기구 이상 상태 및 부품 이상 분석	얼굴 및 차량 번호 인식 등 출입 정보 및 행동 감지
판단	이상행동 탐지	교체 및 수리	출입 인증 여부

(Decision)	후 비정상 패턴 판정, 이후 위험도 레벨 분류	등의 유지보수 필요 상태 판단	부 판단, 방문자 및 외부인 여부 판단
행동 (Action)	해당 인물 주변으로 이동, 음성 안내 경고 및 관리자 시스템 자동 알림	해당 시설물 관리자 자동 보고 및 음성 경고 및 LED에 의한 위험 구역 표시	방문 목적 확인 후 출입 허용 또는 차단에 따른 경고 및 알림
효과 (Effect)	잠재적 범죄 사전 억제, 군중의 심리적 안정감 상승	체감 증가 및 범죄 억제(가시적 존재 효과)	외부 범죄 차단, 무단 침입 방지, 주민 안전 강화

먼저 지하철역 환경에서는 자연적 감시, 접근 통제, 활동 지원 원칙이 복합적으로 작용하는 구조가 확인되었다. 시나리오는 출퇴근 시간대의 혼잡한 플랫폼에서 특정 인물이 반복적으로 주변을徘徊하고 가방을 내려놓는 상황으로, 인지 단계에서는 군중 밀도 분석과 객체 인식을 통해 특정 인물의 반복 이동 패턴과 방치 물체를 탐지하였으며, 판단 단계에서는 이상행동 탐지 알고리즘을 활용하여 해당 상황을 비정상적 패턴으로 분류하고 위험 수준을 해석하였다. 행동 단계에서는 로봇이 현장으로 이동하여 음성 경고를 제공하고, 동시에 관리자 시스템에 자동 알림을 전송하는 방식으로 개입하였다. 이러한 작동 과정은 잠재적 범죄를 사전에 억제하고, 다중 이용 공간에서 심리적 감시 효과를 강화하는 방식으로 공공안전에 기여하는 것으로 분석되었다.

공원 환경에서는 유지관리, 자연적 감시, 활동 지원 원칙이 중심으로 작동하는 것으로 나타났다. 시나리오의 공원 내 조명 고장 및 공공시설 파손과 같은 환경 이상 상태를 대상으로 구성하였다. 인지 단계에서는 조도 센서와 비전 시를 활용하여 조명 이상 및 시설 상태 변화를 감지하였고, 판단 단계에서는 이를 유지보수가 요구되는 위험 상태로 분석하였다. 이어 행동 단계에서는 관리자에게 자동 보고를 수행하고, 이용자에게는 해당 구역에 대한 주의 및 위험 정보를 제공하는 방식으로 개입이 이루어졌다. 이 과정은 공공공간의 물리적 환경을 지속적으로 관리 가능한 상태로 유지하고, 범죄 발생 가능성이 높은 환경적 취약 요인을 사전에 제거하는 데 효과적인 것으로 해석되었다.

주거지역에서는 접근 통제, 영역성 강화, 유지관리 원칙이 상대적으로 강조되었다. 시나리오는 아파트 단지 출입구 주변에서 외부인의 접근이 감지되는 상황으로 인지 단계에서는 얼굴 인식 및 차량 인식 기술을 통해 출입자의 신원과 접근 행태를 파악하였으며, 판단

단계에서는 이를 바탕으로 출입 인증 여부와 방문 목적의 적절성을 검토하여 방문자와 외부인을 구분하였다. 행동 단계에서는 판단 결과에 따라 출입 허용 또는 제한 조치를 수행하고, 필요 시 경고 및 관리자 알림을 병행하였다. 이러한 과정은 외부 범죄 가능성을 차단하고 무단 침입을 예방하는 동시에, 주민의 심리적 안전감과 공간에 대한 인식된 통제력을 강화하는 효과를 가지는 것으로 나타났다.

종합하면, 환경별 시나리오 분석 결과 휴머노이드 로봇은 각기 다른 공공환경에서 상이한 CPTED 원칙 조합을 기반으로 작동하면서도, 공통적으로 인지-판단-행동의 단계적 흐름을 통해 위험 요소를 감지하고 해석하며 개입하는 구조를 보였다. 이는 CPTED 기반 휴머노이드 로봇 모델이 다양한 공공공간에서 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 관리의 효과를 통합적으로 실현할 수 있는 적용 가능성을 지님을 보여준다.

4-3. 통합 시나리오 구조 분석

본 연구는 지하철역, 공원, 주거지역을 대상으로 한 환경별 시나리오 분석 결과를 통합하여, CPTED 원칙, 휴머노이드 로봇의 기능, 인지-판단-행동(P-D-A) 구조, 공공안전 효과 간의 관계를 종합적으로 검토하였다. 분석 결과, 각 환경은 공간적 특성과 위험 유형에 따라 강조되는 CPTED 원칙과 세부 기능에는 차이를 보였으나, 전체적으로는 CPTED 원칙 → 로봇 기능 매핑 → P-D-A 작동 구조 → 공공안전 효과로 이어지는 공통된 구조 속에서 설명이 가능하며, 이는 본 연구가 제안한 휴머노이드 로봇 기반 CPTED 모델이 특정 사례에 한정되지 않고, 다양한 공공공간에 적용 가능한 구조적 프레임임을 보여준다.

통합 시나리오 매핑 결과, 환경별로 우선 적용되는 원칙과 기능 조합은 상이하였으나, 모두 인지 단계에서 정보를 수집하고, 판단 단계에서 위험 여부와 개입 필요성을 해석하며, 행동 단계에서 경고, 안내, 보고, 통제 등의 방식으로 대응한다는 공통된 작동 구조를 공유하였다.

이러한 결과는 휴머노이드 로봇이 단순한 기술 수행 장치가 아니라, 공공공간의 맥락에 따라 CPTED 원칙을 유연하게 구현하는 지능형 매개체로 작동할 수 있음을 시사한다. 즉, 기존의 CPTED가 물리적 환경 설계와 관리 상태를 통해 인간 행동을 간접적으로 조정했다면, 휴머노이드 로봇은 환경 정보를 실시간으로 수집·해석하고 직접 개입함으로써 공공안전을 보다 능동

적이고 동적인 방식으로 실현할 수 있다.

또한 통합 시나리오 매핑은 휴머노이드 로봇 기반 공공안전 시스템의 효과가 다층적임을 보여주었다. 지하철역에서는 잠재적 범죄 억제와 심리적 감시 효과가 두드러졌고, 공원에서는 환경 취약 요소 제거와 공간 유지관리 효과가 강조되었으며, 주거지역에서는 외부 위협 차단과 주민 안전감 강화 효과가 크게 나타났다. 이를 종합하면, 본 연구에서 도출된 공공안전 효과는 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 활성화의 네 범주로 정리될 수 있다.

종합적으로, 본 연구가 제안한 휴머노이드 로봇 기반 CPTED 모델은 다양한 공공환경에서 구조적 일관성과 적용 가능성을 동시에 확보하고 있으며, 휴머노이드 로봇을 공공공간의 능동적 행위자로 위치시키고 CPTED를 지능형 공공안전 시스템으로 재해석하는 데 유효한 분석 틀로 기능한다.

5. 결론

5-1. 연구 의의

본 연구는 CPTED 관점에서 휴머노이드 로봇의 공공안전 역할을 분석하고, 이를 설명할 수 있는 통합적 구조를 제안하였다는 점에서 의의를 가진다.

첫째, 기존 CPTED가 인간과 물리적 환경의 관계를 중심으로 범죄 예방을 설명하였다면, 본 연구는 휴머노이드 로봇이라는 기술적 행위자를 도입하여 인간-환경-기술의 상호작용을 포함하는 새로운 공공안전 모델을 제안하였다. 이는 CPTED를 고정된 공간 설계 원리가 아니라, 실시간 감지, 분석, 개입이 가능한 지능형 시스템으로 재해석할 수 있음을 보여준다.

둘째, 휴머노이드 로봇의 공공안전 기능을 인지-판단-행동의 구조로 체계화하였다는 점에서 방법론적 의의를 가진다. 로봇의 기능을 연속적인 작동 흐름으로 구조화함으로써, 공공안전 개입의 과정을 보다 명확하게 설명하였다.

셋째, 시나리오 기반 분석을 통해 제안된 모델의 적용 가능성을 구체적으로 검토하였다. 지하철역, 공원, 주거지역을 대상으로 CPTED 원칙, 로봇 기능, P-D-A 구조, 공공안전 효과 간의 관계를 비교한 결과, 환경마다 강조되는 원칙과 기능은 상이하였으나, 공통적으로 동일한 작동 구조를 통해 범죄 예방, 위험 감지, 사용자 보호, 공간 활성화 효과를 도출할 수 있음을 확인하였다.

종합하면, 본 연구는 CPTED를 지능형 공공안전 시스템으로 재해석하고 휴머노이드 로봇을 공공공간의 능동적 행위자로 위치시킴으로써, 공공안전 디자인과 로봇 응용 연구를 연결하는 이론적, 방법론적 기반을 마련하였다는 점에서 학문적 의의를 가진다.

5-2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구는 CPTED 기반 휴머노이드 로봇의 공공안전 역할을 구조적으로 설명하고 그 적용 가능성을 탐색하였다는 점에서 의의가 있으나, 몇 가지 한계를 지닌다. 우선 문헌 고찰, 개념적 모델링, 시나리오 기반 분석을 중심으로 수행되었기 때문에, 실제 공공공간에서의 현장 실험이나 실증적 검증을 포함하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 실제 환경에 휴머노이드 로봇을 적용한 실험을 통해 센서 인식의 정확도, 판단 알고리즘의 신뢰성, 행동 개입의 적절성 등을 검증할 필요가 있다.

또한 공공안전 문제를 기능적, 구조적 차원에서 주로 다루었기 때문에, 휴머노이드 로봇의 사회적 수용성, 사용자 경험, 심리적 반응, 윤리적 쟁점에 대해서는 충분히 논의하지 못하였다. 향후 연구에서는 기술적 타당성에 더해 이용자 인식 조사, 인터뷰, 참여 관찰 등을 통해 로봇의 수용성과 사회적 영향을 함께 분석할 필요가 있다.

결론적으로, CPTED를 휴머노이드 로봇 기반의 동적 공공안전 시스템으로 확장하는 데 필요한 이론적 토대를 제시하였으나, 실증성, 사회적 수용성, 적용 환경의 다양성, 기술 통합성 측면에서는 후속 연구의 보완이 요구된다. 향후 연구에서는 실제 현장 적용과 사용자 반응 분석, 윤리적-제도적 검토, 스마트 인프라와의 연계 구조 분석을 병행함으로써, 본 연구에서 제안한 모델을 보다 정교하고 실천적인 공공안전 체계로 발전시킬 필요가 있다.

참고문헌

1. C. Ray Jeffery, 『Crime Prevention Through Environmental Design』, Sage Publications

- (Beverly Hills, CA), 1977
2. Oscar Newman, 『Defensible Space: Crime Prevention Through Urban Design』, Macmillan (New York), 1972
 3. 김태경, 반영환. ‘공공환경에서 휴머노이드 로봇 활용을 위한 시나리오 분류체계에 관한 연구’, 한국기초조형학회, 2024
 4. 이석현, 사회적 역할을 배려한 공공공간 안전디자인 통합 평가지표 연구, 한국공간디자인학회, 2022
 5. Oh, Jun Ho, “A Study of the Current states and Development Direction of Humanoid Robot”, Journal of the KSME, 2004
 6. 김태경, 공공환경에서 휴머노이드 로봇 활용을 위한 대상 별 수용모델에 관한 연구, 국민대학교, 석사학위논문, 2024
 7. 신혜란, 한국 범죄예방디자인 특성, 공공성 이론과 한국 공공디자인 정책을 중심으로, 국민대학교, 석사학위논문, 2014
 8. 양진석, 환경설계(CPTED)를 활용한 도시범죄 예방에 관한 연구, 안양대학교 박사학위논문, 2010
 9. 윤경수, 범죄예방 환경설계(CPTED)도입이 삶의 질에 미치는 영향에 대한 연구, 경기대학교 석사학위논문, 2020
 10. 최원피터, 스마트시티의 AI Smart CPTED Infra 분석, 고려대학교 석사학위논문, 2025
 11. 최우철, 지능형 CPTED 기술요소 체계화와 평가에 관한 연구, 가천대학교 박사학위논문, 2021
 12. www.cpted.or.kr
 13. www.irobotnews.com
 14. www.g-enews.com