

딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용한 보호구역 통합관리시스템 설계 및 사용성 평가

(Design and Usability Evaluation of an Integrated Management System for Protected Areas Using Deep Learning-Based Object Detection Technology)

류지성*, 송인국**

(Ji Sung Ryu, In Kuk Song)

요약

최근 보호구역의 지속적인 확대와 교통안전시설의 증가에 따라 시설물의 효율적인 관리와 정보의 신속한 갱신을 지원하는 보호구역 통합관리시스템의 중요성이 커지고 있다. 본 연구는 기존 연구에서 검증된 딥러닝 YOLOv11 기반 객체 검출 기술을 적용한 보호구역 통합관리시스템을 설계하고 시스템 사용성 평가를 통해 제안 시스템의 활용 가능성을 검증하였다. 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용하여 시설물 자동 인식, 정보 등록, GIS 기반 관리 및 통계 분석 기능을 포함하는 통합관리시스템을 설계하였으며, 전문가 델파이 조사를 통해 평가항목의 타당성을 검증하였다. 또한, 기존 시스템과 제안 시스템의 사용성을 비교·분석하였다. 분석 결과, 제안 시스템은 모든 평가항목에서 기존 시스템보다 더 높은 사용성을 보였으며, 특히 시설물 등록 및 유지관리와 실태조사 결과 관리 항목에서 가장 큰 개선 효과를 보였다. 연구 결과, 딥러닝 기반 객체 검출 기술이 보호구역 관리 업무의 효율성과 정보 품질 향상에 효과적으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

■ 중심어 : 보호구역 통합관리시스템 ; 딥러닝 ; YOLOv11 ; 객체 검출 ; 시스템 사용성 평가 ; 정보시스템

Abstract

With the continuous expansion of protected areas and the increasing number of traffic safety facilities, the importance of an integrated management system that supports efficient facility management and timely information updates has grown significantly. This study designed an integrated management system for protected areas by applying a deep learning-based YOLOv11 object detection model that had been validated in previous research and verified the applicability of the proposed system through a system usability evaluation. The proposed system incorporates automatic facility recognition, information registration, GIS-based management, and statistical analysis by utilizing deep learning-based object detection technology. The validity of the evaluation criteria was verified through an expert Delphi survey. In addition, the usability of the proposed system was compared with that of the existing system. The results showed that the proposed system demonstrated higher usability than the existing system across all evaluation criteria. In particular, the greatest improvements were observed in facility registration and maintenance and field survey result management. The findings confirm that deep learning-based object detection technology can effectively improve the efficiency of protected area management and enhance information quality.

■ keywords : Integrated Management System for Protected Area ; Deep Learning ; YOLOv11 ; Object Detection ; System Usability Evaluation ; Information Systems

I. 서론

최근 도시화의 가속화와 스마트시티를 포함한 디지털 전환 정책의 확산으로 교통환경은 더욱 복잡

해지고 있으며, 교통약자의 안전 확보를 위한 체계적인 교통안전 관리의 중요성이 지속적으로 증대되고 있다[1]. 특히 어린이, 노인 및 장애인을 위한 교통약자 보호구역은 교통사고 예방과 안전한 보행환

* 정회원, 단국대학교 일반대학원 경영학과

** 정회원, 단국대학교 경영학과 경영정보전공 교수

경 조성을 위한 핵심 교통안전 정책으로 확대되고 있으며, 정부는 이에 맞추어 교통안전시설의 설치와 유지관리 체계를 강화하는 추세이다[2]. 이에 따라 보호구역 내 교통안전시설의 정확한 현황 관리와 신속한 정보 갱신은 보호구역 운영의 효율성과 안전성 확보를 위한 핵심 요소로 자리 잡고 있다. 또한, 경찰청은 보호구역 정보를 통합적으로 관리하고 관계기관 간 정보공유를 지원하기 위해 보호구역 통합관리시스템을 구축·운영하고 있다.

보호구역 통합관리시스템은 시설물 현황, 유지관리 이력 및 실태조사 결과 등을 통합 관리하여 보호구역 관련 정보를 체계적으로 제공하는 국가 정보시스템이며[3], 데이터 기반 의사결정과 관계기관 간 정보공유를 지원하는 국가 정보시스템으로 활용되고 있다. 그러나 현재 운영 중인 보호구역 통합관리시스템은 보호구역 실태조사에 따른 현장 조사와 관리자의 수기 입력에 크게 의존하고 있어 조사 기간 장기화, 자료 입력 지연 및 정보 최신성 저하 등의 한계를 내포하고 있다. 또한, 지자체별 제한된 예산과 전문 인력의 차이로 인해 자료의 정확성과 관리 수준에 편차가 발생하며[4, 5], 기관별로 상이한 관리체계는 데이터 표준화와 사용성을 저해하고 데이터 기반 정책 수립과 행정 의사결정의 효율성을 낮추는 요인으로 작용할 수 있다.

한편 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술은 업무 자동화와 데이터 기반 의사결정을 지원하는 핵심 기반 기술로 다양한 산업 분야에 빠르게 확산되고 있다. 특히 인공지능 기반 객체 검출 기술은 공공시설물을 자동으로 인식하고 관련 정보를 신속하게 생성함으로써 시설물 관리 업무의 자동화와 정보 품질 향상에 기여하는 핵심 기술로 활용되고 있다[6]. 따라서, 이러한 객체 검출 기술을 보호구역 통합관리시스템과 연계할 경우 시설물 조사, 정보 등록 및 유지관리 업무의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 기존의 선행 연구는 주로 객체 검출 알고리즘의 성능 향상이나 교통안전시설 검출 정확도 평가에 초점을 맞추고 있으며, 검증된 객체 검출 기

술을 보호구역 통합관리시스템과 연계하여 실제 관리업무에 적용하고 그 사용성을 실증적으로 검증한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 객체 검출 기술을 정보시스템과 융합하여 시설물 조사, 정보 등록, 유지관리 및 의사결정 지원 기능을 통합적으로 제공하는 관리체계에 관한 연구는 제한적으로 이루어져 왔다. 따라서, 검증된 객체 검출 기술을 보호구역 통합관리시스템과 연계하여 관리업무를 지원할 수 있는 확장형 정보시스템의 설계와 사용성 검증에 관한 연구가 요구된다.

이에 본 연구에서는 딥러닝 YOLO 기반 객체 검출 기술을 적용한 보호구역 통합관리시스템을 설계하여 기존 시스템의 한계를 개선하는 방안을 제안하고자 한다. 또한, 제안된 시스템에 대하여 전문가 델파이 조사를 통해 평가항목의 타당성을 검증하고 시스템 사용성 평가를 수행하여 시스템의 사용성과 실무 적용 가능성을 실증적으로 검증하고자 한다. 본 연구는 단순히 객체 검출 모델의 성능을 평가하는 데 그치지 않고 검증된 객체 검출 기술을 보호구역 통합관리시스템과 연계하여 시설물 조사, 정보 등록, 지리정보시스템 기반 관리 기능을 포함하는 확장형 정보시스템을 제안하고 그 활용 가능성을 검증하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다. 이를 통해 보호구역 관리업무의 효율성 향상과 정보의 정확성 및 최신성 확보를 위한 확장형 정보시스템 활용 방안을 제시하고 인공지능 기술과 정보시스템의 융합을 통한 공공 안전관리 분야의 디지털 전환을 위한 학술적·실무적 시사점을 제공하고 자 한다.

II. 적용 기술 고찰

1. 인공지능 기반 객체 검출 기술

인공지능은 인간의 학습, 추론 및 판단 능력을 컴퓨터 시스템이 수행하도록 구현하는 기술로 최근 딥러닝 기술의 발전과 함께 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다[7]. 특히 컴퓨터 비전(Computer Vision)은 이미지·영상 데이터로부터 객체를 인식

하고 분석하는 대표적인 응용 분야로 스마트시티, 자율주행, 의료영상 및 시설물 관리 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[8]. 또한, 객체 검출(Object Detection)은 이미지·영상 내 객체의 위치와 종류를 동시에 인식하는 기술로 공공시설물 관리 분야에서도 자동화 기술의 핵심 요소로 활용되고 있다[9]. 이러한 기술적 특성은 보호구역 통합관리시스템과 같은 정보시스템과 연계할 경우, 시설물 조사, 정보 등록, 유지관리 업무 등의 자동화를 위한 기반 기술로 활용될 수 있다. 최근에는 객체 검출 기술을 통해 생성된 시설물 정보를 데이터베이스(DB) 및 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 시설물의 위치 정보, 관리 이력, 현황 정보 등을 통합관리하고 데이터 기반 의사결정을 지원하기 위한 연구가 수행되고 있다. 따라서, 객체 검출 기술은 이미지·영상 데이터 분석 기술을 넘어 보호구역 통합관리시스템과 같은 공공 정보시스템의 핵심 구성 요소로 활용될 수 있다.

2. YOLO 기반 객체 검출 모델

YOLO(You Only Look Once)는 단일 신경망을 이용하여 객체의 위치와 종류를 동시에 검출하는 대표적인 객체 검출 모델로 높은 검출 정확도와 실시간 처리 성능을 바탕으로 다양한 객체 검출 연구에 활용되고 있다[10]. Faster R-CNN, SSD 등 다양한 객체 검출 모델이 제안되고 있으나 YOLO 계열 모델은 객체 검출과 분류를 단일 네트워크에서 동시에 수행함으로써 높은 처리 속도와 우수한 검출 성능을 제공한다. 이러한 특성은 대량의 영상 데이터를 신속하게 처리해야 하는 공공시설물 관리 및 보호구역 시설물 조사 업무에 적합하여 다양한 시설물 관리 분야에서 활용될 수 있다.

본 연구에서는 딥러닝 기반 객체 검출 기술로 YOLOv11 교통안전표지 검출 모델을 활용하였다. 선행 연구에서는 보호구역 환경에서 구축한 데이터셋을 이용하여 YOLOv11 모델을 학습하고 성능을 검증하였으며, 해당 모델이 실제 보호구역 내 교통안전시설 검출에 적용 가능한 수준의 성능을 확보하였음을 확인하였다[11]. 그림 1은 모델이 학습을

시작할 때 일부 배치(batch 1)에 포함된 이미지들의 정답(Ground Truth)과 객체 좌표(Bounding Box) 시각화 결과를 나타낸 예시이며, 그림 2는 학습된 YOLOv11 모델의 성능평가 결과를 나타낸다.

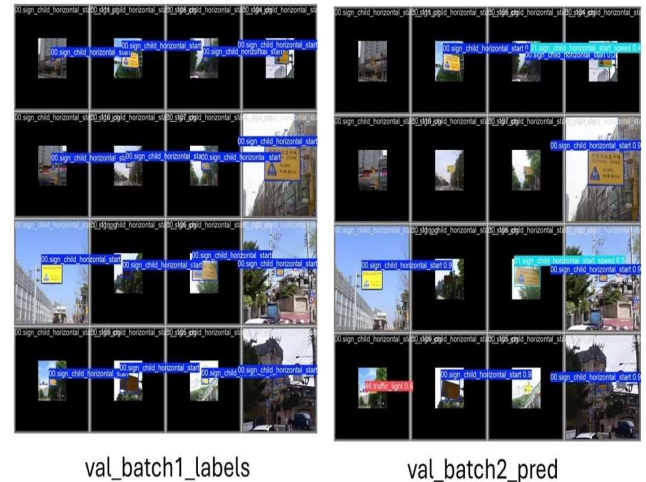


그림 1. YOLOv11 모델의 학습 시각화 결과

그림 1의 좌측 이미지는 실제 정답 레이블을 나타내며, 우측 이미지는 모델의 예측 결과(Prediction)를 보여준다. 다양한 촬영 환경에서도 대부분의 교통안전시설이 실제 위치와 유사하게 검출되는 것을 확인할 수 있다.

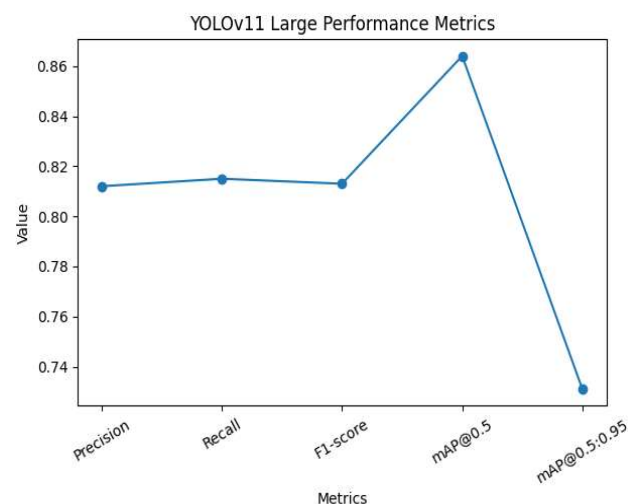


그림 2. YOLOv11 모델의 성능평가 결과

그림 2의 학습된 모델의 성능은 mAP50, mAP50-95, Precision, Recall 및 F1-score를 이용하

여 평가하였다. 모델의 성능평가 결과, mAP50 0.858, mAP50-95 0.731, Precision 0.812, Recall 0.815 및 F1-score 0.813으로 나타나 전반적으로 우수한 객체 검출 성능을 보였다. 특히, mAP50은 0.858로 객체의 위치 및 분류 정확도가 높은 수준임을 의미하며, 보호구역 내 교통안전시설 검출에 적용 가능한 수준의 성능을 나타냈다. 이러한 결과는 YOLOv11 기반 객체 검출 모델이 보호구역 내 교통안전시설을 안정적으로 검출할 수 있다고 판단하게 해준다.

3. 객체 검출 기반 통합관리 관련 연구

객체 검출 기술은 단순히 객체를 인식하는 수준을 넘어 시설관리(Facility Management), 도시 인프라 관리 및 공공안전 관리시스템과 연계하는 방향으로 발전하고 있다. 최근 연구에서는 객체 검출 결과를 지리정보시스템(GIS), 빌딩정보모델링(BIM) 및 시설관리 데이터베이스와 통합하여 유지관리 업무를 지원하거나 시설물의 상태를 자동으로 분석하는 연구가 활발히 수행되고 있다[12]. 이러한 연구들은 객체 검출 기술을 단순한 영상 분석기법이 아닌 정보시스템과 연계 가능한 핵심 데이터 생성 기술로 활용하고 있으며, 시설물 관리의 자동화와 관리 정보의 정확성 향상에 기여하고 있다. 또한, 객체 검출 기술은 시설물 유지관리 업무의 자동화를 위해 다양한 분야에 적용되고 있다. 가스시설 관리시스템과 연계하여 시설물을 자동으로 검출하고 사고조사를 지원하는 연구가 수행되었으며[13], 도시 인프라 관리에서는 도로시설물과 맨홀 등의 시설물을 자동으로 검출하여 유지관리 업무를 지원하는 연구도 보고되고 있다[14]. 이러한 연구들은 딥러닝 객체 검출 기술이 관리시스템과 결합될 경우 관리 효율성과 데이터 신뢰성을 향상시킬수 있음을 보여준다.

최근 연구는 객체 검출 기술과 시설관리시스템을 결합하여 업무 효율성과 데이터 신뢰성을 향상하는 방향으로 발전하고 있으나 대부분 특정 시설물이나 개별 업무에 한정하여 적용되고 있다는 한계를 가진다. 또한, 기존 연구는 대부분 특정 시설물을 자동

으로 검출하거나 관리 업무의 일부 기능을 지원하는 수준에 머물러 있으며, 객체 검출 결과를 보호구역 시설물 관리 전 과정과 연계한 통합관리시스템에 관한 연구는 아직 제한적이다. 특히 객체 검출, 공간정보, 시설물 관리 및 통계 분석 기능을 하나의 시스템으로 통합하여 보호구역 관리 업무를 지원하는 연구는 매우 부족한 실정이다[15]. 따라서 본 연구에서는 기존 객체 검출 연구와 시설관리시스템 연구를 기반으로 YOLOv11 객체 검출 모델을 보호구역 통합관리시스템에 적용하여 시설물 자동 조사, 공간정보 기반 관리 및 통계 분석 기능을 지원하는 통합관리시스템을 제안한다.

III. 통합관리시스템 설계

1. 기존 시스템의 한계

보호구역 통합관리시스템은 관계기관 간 보호구역 정보를 효율적으로 관리하기 위한 정보시스템으로 운영되고 있으며, 시설물 현황, 유지관리 이력 및 실태조사 결과 등을 통합적으로 관리하는 기능을 제공하고 있다.

그러나 대부분의 시설물 등록과 정보 갱신 업무는 현장 조사 이후 담당자가 직접 자료를 입력하는 방식으로 수행되고 있어 시설물의 변경사항을 신속하게 반영하는 데 한계가 있다. 조사자의 경험과 숙련도에 따라 데이터 품질에 차이가 발생할 수 있으며, 기관별로 상이한 관리체계는 정보의 일관성과 사용성을 저하시킬 수 있다. 이러한 수작업 중심의 관리 방식은 반복적인 업무와 행정 부담을 증가시키며 데이터 기반 관리체계 구축을 어렵게 하는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 객체 검출 연구와 시설관리시스템 연구를 기반으로 YOLOv11 객체 검출 모델을 지리정보시스템(GIS) 기반 보호구역 통합관리시스템에 적용한 효율적인 통합관리시스템을 제안하였다.

제안 시스템은 시설물 자동 조사, 공간정보 기반 관

리, 시설물 이력 관리 및 통계 분석 기능을 하나의 시스템에서 통합적으로 지원함으로써 기존 연구와 차별화된 통합관리 기능을 제공하였다.

2. 통합관리시스템 설계 및 구성

본 연구에서는 기존 보호구역 통합관리시스템의 시설물 관리 기능에 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용하여 시설물 조사와 정보 등록 과정을 자동화할 수 있는 통합관리시스템을 설계하였다. 그림 3은 제안 시스템의 전체 업무 흐름을 나타낸 것으로 이미지 수집부터 객체 검출, 시설물 정보 등록, 지리정보시스템(GIS) 기반 시설물 관리 및 통계 분석에 이르기까지의 데이터 처리 절차를 보여준다.



그림 3. 통합관리시스템의 구성

제안 시스템은 현장에서 수집한 이미지 데이터를 기반으로 교통안전시설을 자동으로 인식·검출하고 검출 결과를 데이터베이스와 연계하여 시설물 관리 업무를

지원하도록 설계하였다. 제안 시스템은 이미지 수집, 객체 검출, 검출 결과 검증, 데이터베이스 저장, 지리정보시스템 기반 시각화 및 시설물 관리 기능으로 구성되며, 객체 검출부터 시설물 관리까지의 전 과정을 통합적으로 지원한다. 수집된 이미지 데이터는 YOLO 기반 객체 검출 모델을 통해 자동으로 분석되며, 검출 결과는 관리자의 검토를 거쳐 최종 데이터베이스에 반영되도록 구성하였다. 또한, 지리정보시스템을 활용하여 시설물의 위치와 관리 현황을 시각적으로 제공하고 통계 분석 기능을 통해 보호구역 관리에 필요한 정보를 효율적으로 지원하도록 설계하였다. 이러한 업무 프로세스는 기존의 현장조사와 수작업 중심의 시설물 관리 방식을 개선하고 시설물 정보의 신속한 갱신과 데이터의 정확성·신뢰성 향상은 물론 관리 효율성을 제고할 수 있도록 설계하였다.

객체 검출 결과는 시설물 종류, 객체 좌표, GPS 위치 정보, 촬영일시 및 검출 신뢰도(Confidence Score) 등의 주요 정보와 함께 데이터베이스에 저장된다. 데이터베이스는 시설물 ID, 시설물 종류, GPS 좌표, 객체 좌표, 촬영일시, 검출 신뢰도, 관리자 승인 여부 등의 속성으로 구성하였으며, 저장된 정보는 지리정보시스템 기반 시설물 위치 시각화, 시설물 종류별 분포 분석, 실태조사 결과 비교, 유지관리 이력 관리 및 행정구역별 시설물 현황 통계 생성 등에 활용하였다.

3. 통합관리시스템 업무 프로세스

표 1과 같이 기존 보호구역 통합관리시스템은 시설물 정보를 저장·조회하고 유지관리하는 기능을 중심으로 운영되고 있다. 반면, 본 연구에서 제안한 시스템은 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 활용하여 시설물의 자동 검출, 정보 등록 및 갱신을 지원함으로써 기존 시스템의 기능을 확장하였다.

표 1. 기존 시스템과 제안 시스템의 기능 비교

구분	기존 통합관리시스템	제안 시스템

시설물 조사	현장조사 중심	이미지 기반 자동 검출
데이터 등록	수작업 입력	자동 생성 후 검수
정보 갱신	조사 후 반영	검출 결과 기반 신속 갱신
정보 품질	조사자 의존	인공지능 기술을 적용하여 일관성 향상
관리 방식	사후 중심 관리	데이터 기반 능동적 관리

특히 기존 시스템을 대체하는 것이 아니라 객체 검출 기반 자동화 기능을 추가하여 보호구역 관리업무의 효율성과 정보의 정확성 및 최신성을 향상시키기 위한 확장형 정보시스템으로 설계하였다. 그림 4는 객체 검출 계층(Object Detection Layer), 데이터 관리 계층(Data Management Layer), 서비스 계층(Service Layer), 사용자 계층(User Layer)으로 구성된 제안 시스템의 논리적 아키텍처를 나타낸다. 각 계층은 이미지 수집부터 객체 검출, 데이터 저장, 시설물 관리 서비스 제공까지의 기능을 계층적으로 수행하도록 제시하였다.

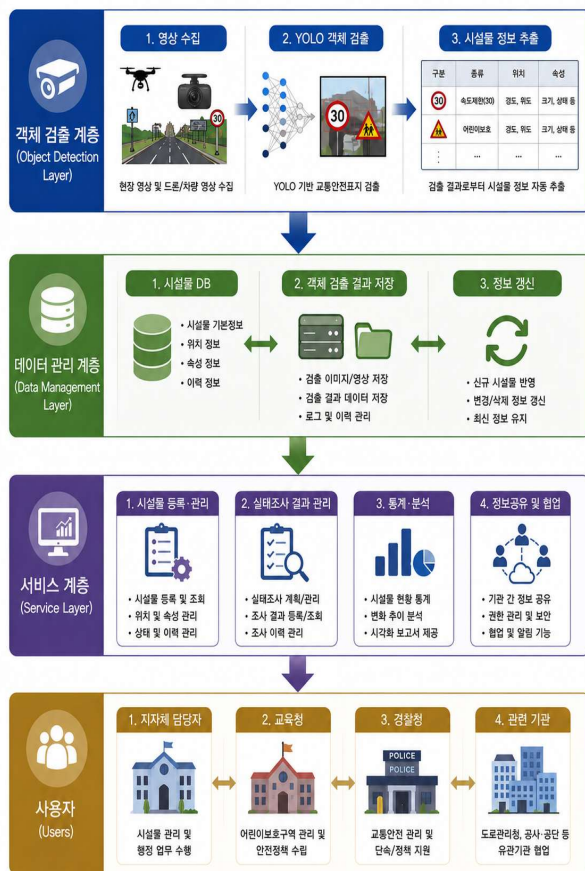


그림 4. 인공지능 기반 보호구역 통합관리시스템 아키텍처

제안 시스템의 업무 프로세스는 이미지 수집, 이미지 전처리, 객체 검출, 검출 결과 검증, 데이터베이스 저장, 지리정보시스템 기반 시각화 및 시설물 관리의 단계로 구성된다. 먼저 로드뷰, 드론 및 CCTV 등 다양한 영상매체를 활용하여 보호구역의 이미지 데이터를 수집한 후, 객체 검출이 가능하도록 이미지 전처리를 수행한다. 이후 객체 검출 결과를 기반으로 시설물 정보를 추출한다. 검출 결과는 관리자의 검토와 검증을 거쳐 데이터베이스에 저장되며, 저장된 정보는 지리정보시스템 기반 시각화 기능과 연계되어 시설물의 위치와 관리 현황을 직관적으로 제공한다. 또한, 통계 및 분석 기능을 통해 시설물 현황과 유지관리 정보를 체계적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.

이러한 업무 프로세스를 통해 기존의 현장 조사와 수작업 중심의 시설물 등록 절차를 자동화하고 반복적인 업무를 감소시켜 시설물 정보의 정확성, 최신성 및 관리 효율성을 향상시킬 수 있도록 설계하였다. 제안 시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

제안 시스템은 보호구역 시설물 관리 업무를 지원하기 위해 이미지 데이터 수집, 딥러닝 기반 객체 검출, 시설물 정보 등록, 데이터베이스 관리, 지리정보시스템 기반 시각화, 유지관리 지원 및 통계 분석 기능으로 구성된다. 각 기능은 시설물 조사부터 정보 등록, 유지관리 및 정보 활용에 이르는 전 과정을 유기적으로 연계하여 관리업무를 지원하도록 설계하였다. 예를 들어 어린이보호구역에서 촬영한 이미지에서 제한속도 표지가 검출되면 시스템은 시설물 종류, 위치 정보 및 촬영일시를 자동 등록한다. 관리자는 검출 결과를 검토한 후 승인하며 승인된 데이터는 지리정보시스템 기반 지도와 시설물 관리 데이터베이스에 반영되어 유지관리 업무에 활용된다.

딥러닝 기반 객체 검출 기능은 현장에서 수집한 이미지에서 교통안전시설을 자동으로 검출하고 시설물 정보를 생성하여 데이터 등록을 지원한다. 지리정보시스템 기반 시각화 기능은 시설물의 위치와 관리 현황

을 지도 기반으로 제공하며, 통계 분석 기능은 시설물 현황과 유지관리 정보를 종합적으로 분석하여 데이터 기반의 의사결정을 지원한다. 이에 따라 시설물 관리 업무의 자동화와 데이터의 신뢰성 및 사용성을 향상시켜 보호구역 관리의 운영 수준을 높이고자 하였다.

IV. 시스템 사용성 평가 자료 수집

1. 조사 방법

본 연구에서는 제안한 보호구역 통합관리시스템의 사용성과 실무 적용 가능성을 검증하기 위하여 델파이 조사와 시스템 사용성 평가 조사를 실시하였다. 먼저 국내·외 선행 연구를 검토하고 보호구역 통합관리 시스템 관련 분야 전문가를 대상으로 심층 인터뷰를 수행하여 시스템 사용성 평가에 필요한 주요 평가요인을 도출하였다. 이후 문헌연구와 심층 인터뷰 결과를 바탕으로 삼각검증(Triangulation) 방법을 적용하여 조사 문항을 구성하였으며[16], 관련 분야 실무자의 검토를 통해 설문 문항의 타당성과 완성도를 보완하였다.

조사는 문헌 연구 및 심층 인터뷰, 델파이 조사, 시스템 사용성 평가 순서로 진행하였다. 델파이 조사를 통해 평가항목의 내용타당성을 검증하고 최종 평가항목을 확정된 후, 이를 바탕으로 기존 보호구역 통합관리 시스템과 제안 시스템의 사용성을 비교·분석하였다.

2. 델파이 조사

델파이 기법은 특정 분야 전문가의 의견을 반복적으로 수렴하여 평가항목의 타당성을 확보하는 대표적인 연구 방법이다. 본 연구에서는 보호구역 관리, 교통안전, 인공지능 및 정보시스템 분야 전문가를 대상으로 2026년 4월부터 5월까지 총 3차에 걸쳐 델파이 조사를 실시하였다.

사전 조사에서는 문헌 연구와 심층 인터뷰 결과를 바탕으로 사용성 평가항목을 도출하였으며, 1차 조사에서는 평가항목의 적절성과 추가 의견을 수렴하였다. 이후 2차와 3차 조사에서는 전문가 의견을 반영하여 문항을 수정·보완하고 표2와 같이 최종 평가

항목에 대한 합의를 정리하였다.

1차 델파이 조사에서는 개방형 의견 수렴을 통해 평가항목을 정제하였으며, 2차 델파이 조사는 1차 조사 결과를 분석하여 질문지 내용을 체계적으로 구조화하는 방식으로 수행하였다. 분석 결과, 보호구역 통합관리시스템의 사용성에 영향을 미치는 주요 요인을 정보 품질, 시스템 사용성, 시스템 품질, 기능성 및 업무 지원성, 업무효과, 공공가치 등 총 6개의 대분류로 재구성하였으며, 재구성한 요인을 기반으로 총 25개의 조사 문항을 도출하였다. 각 문항에 대해서는 5점 리커트 척도(Likert Scale)를 적용하여 중요도와 적합도를 평가하였다.

표 2. 3차 델파이 조사 최종 평가항목

대분류	순번	세부 평가항목
정보 품질	1	정보의 정확성
	2	정보의 최신성
	3	정보의 신뢰성
	4	정보의 완전성
	5	지도 시각화의 명확성
시스템 사용성	6	검색·조회 편의성
	7	화면 구성의 이해 용이성
	8	입력·수정의 편의성
	9	자료 갱신의 효율성
	10	사용자 접근 편의성
시스템 품질	11	시스템 반응 속도
	12	시스템 안정성
	13	권한 및 보안관리의 적절성
	14	현장 접근 편의성
기능성 및 업무 지원성	15	보호구역 지정·해제 관리 기능의 적절성
	16	시설물 등록·유지관리 기능의 활용성
	17	실태조사 결과 등록·관리 기능의 효율성
	18	통계·분석 및 의사결정 지원 기능의 유용성
업무효과	19	기관 간 정보공유 및 협업 지원 수준
공공가치	20	교통약자 안전 향상 기여도

3차 델파이 조사는 2차 조사 결과를 분석하여 상대적으로 중요도가 낮은 하위 20% 문항을 제외하였고 <표 20>의 내용과 같이, 최종 20개의 문항으로 재구성하였다. 조사 문항은 5점 리커트 척도를 기반으로 구성하였으며, 각 문항에 대한 수렴도, 안

정도, 내용타당도(Content Validity) 및 신뢰도 검증을 위하여 평가항목의 내용타당성은 Lawshe(1975)가 제시한 내용타당도비율(Content Validity Ratio, CVR)을 이용하여 검증하였다. 검증결과, 표3과 같이 최종 선정된 8개의 평가항목을 시스템 사용성 평가를 위한 조사에 활용하였다.

표 3. 델파이 분석 결과

문항	평균	표준 편차	안정도	수렴도	합의도	CVR(내용타당도)
1	4.80	0.41	0.09	0.25	0.90	0.90
2	4.75	0.44	0.09	0.25	0.88	0.85
3	3.85	0.89	0.23	0.75	0.65	0.35
4	3.75	0.97	0.26	1.00	0.58	0.30
5	3.70	1.00	0.27	1.00	0.55	0.25
6	3.90	0.86	0.22	0.75	0.68	0.40
7	4.00	0.80	0.20	0.75	0.70	0.40
8	4.60	0.50	0.11	0.25	0.86	0.80
9	3.80	0.95	0.25	0.75	0.60	0.30
10	3.60	1.08	0.30	1.00	0.50	0.20
11	3.95	0.83	0.21	0.75	0.68	0.35
12	4.70	0.47	0.10	0.25	0.88	0.85
13	3.85	0.89	0.23	0.75	0.65	0.35
14	3.70	1.00	0.27	1.00	0.58	0.25
15	4.00	0.76	0.19	0.75	0.72	0.40
16	4.75	0.44	0.09	0.25	0.90	0.90
17	4.85	0.37	0.08	0.25	0.93	0.95
18	4.80	0.41	0.09	0.25	0.90	0.90
19	4.70	0.47	0.10	0.25	0.88	0.85
20	4.00	0.96	0.24	0.75	0.70	0.40

3. 시스템 사용성 평가 절차

시스템 사용성 평가를 위한 조사는 델파이 조사를 통해 최종 확정된 8개의 평가항목을 바탕으로 실행하였다. 조사 대상은 보호구역 관리업무를 수행하는 실무자와 관련 분야 전문가로 구성하였으며, 기존 보호구역 통합관리시스템과 제안 시스템을 동일한 평가항목으로 비교·평가할 수 있도록 설계하였다. 설문 문항은 보호구역 통합관리시스템에 YOLO 기반 딥러닝 객체 검출 모델을 적용하기 전·후의 차이를 비교하여 시스템 사용성을 평가하도록 구성하였다. 모든 문항은 5점 리커트 척도를 기준으로 측정하였다.

설문조사 자료 수집은 2026년 5월 18일부터 5월 22일까지 진행하였다. 설문조사는 어린이보호구역 통합

관리시스템과 관련된 업무를 수행하고 있는 실무자, 관련 분야 전문가와 이해관계자 총 50명을 대상으로 실행하였으며, YOLO 기반 딥러닝 객체 검출 모델을 적용하기 전·후의 시스템 사용성 차이를 비교하기 위하여 동일한 응답자를 대상으로 대응 표본 방식으로 수행하였다.

설문조사 절차는 다음과 같은 과정으로 진행하였다.

첫째, 선행 연구 및 델파이 조사 결과를 기반으로 보호구역 통합관리시스템 사용성 평가에 영향을 미치는 핵심 요인을 도출하여 설문 문항을 구성하고 설문 문항의 내용타당성을 검토하였다.

둘째, 응답자들에게 YOLO 딥러닝 기반 도로표지 검출 모델의 구조와 검출 결과 그리고 보호구역 통합관리시스템과 연계할 수 있는 활용 방안을 설명하여 연구 내용에 대한 충분한 내용을 제공하였다. 특히 실제로 환경에서 수집된 이미지와 영상 데이터를 활용한 객체 검출 결과를 제시하여 응답자들이 시스템의 사용성과 차별성을 충분히 이해할 수 있도록 하였다.

셋째, 기존 시스템 사용 경험을 바탕으로 평가한 시스템 사용성과 제안 시스템의 기능 및 활용 시나리오를 검토한 후 예상되는 사용성을 비교·평가하였다.

넷째, 설문 응답은 현장 방문을 통한 종이 설문지 작성과 온라인 설문(Google Forms) 방식을 병행하여 진행하였으며, 응답 완료된 자료를 검토하여 최종 분석 자료를 사용하였다.

마지막으로 수집된 자료는 통계 분석 프로그램을 활용하여 대응 표본 t-검정을 수행하였으며, 대응 표본 t-검정을 통해 YOLO 기반 딥러닝 객체 검출 모델 적용 전·후 예상되는 시스템 사용성 차이와 통합관리시스템 활용 효과를 실증적으로 분석하였다.

V. 분석 결과 및 해석

1. 조사 대상자의 특성

조사 대상자는 보호구역 관리 실무자와 교통안전, 정보시스템 및 인공지능 분야의 전문가로 구성하였으며, 총 50명의 응답자를 대상으로 분석을 수행하였다. 다양한 직무와 경력을 가진 응답자가 참여하

여 제안한 보호구역 통합관리시스템에 대한 실무적 관점의 평가가 이루어질 수 있었다. 또한, 설문조사에 앞서 응답자에게 제안 시스템의 주요 기능과 업무 프로세스를 설명하여 시스템에 대한 이해를 충분히 확보한 후 설문을 실행하였다. 이를 통해 제안 시스템에 대한 객관적인 평가가 이루어질 수 있도록 하였다.

표 4. 조사 대상자의 일반적 특성 요약

구분	항목	빈도(n)	비율(%)
성별	남성	45	90
	여성	5	10
연령대	30대	7	14
	40대	33	66
	50대	10	20
업무 경력	5년 이상	3	6
	10년 이상	15	30
	15년 이상	18	36
	20년 이상	14	28
합계		50	100

2. 시스템 사용성 평가 결과

수집된 자료는 SPSS를 이용하여 분석하였다. 기술 통계분석을 통해 평가항목별 평균과 표준편차를 산출하였으며, 기존 시스템과 제안 시스템 간 사용성 차이를 검증하기 위해 대응표본 t-검정(Paired Samples t-test)을 실시하였다. 분석 결과를 바탕으로 제안 시스템의 사용성과 실무 적용 가능성을 검증하였다. 그림 5는 기존 시스템과 제안 시스템의 사용성을 평가하여 결과를 비교한 그래프이다.

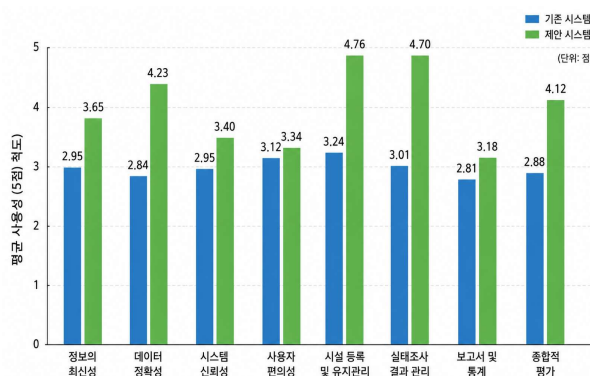


그림 5 기존 및 제안 시스템의 사용성 평가 결과 비교

제안 시스템이 전반적으로 기존 시스템보다 우수

한 평가 결과를 보인 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용하여 시설물 조사와 정보 등록 과정을 자동화함으로써 관리업무의 효율성과 정보 품질을 향상시키고 있음을 함축한다.

표 5에서 제시한 평균차는 기존 시스템과 제안 시스템 간 사용성 차이의 크기를 나타내기 위해 절대값으로 제시하였다.

표 5. 기존 시스템과 제안 시스템의 사용성 비교 결과

평가항목	평균(Mean)		대응표본 t-검정 결과		
	기존 시스템	제안 시스템	평균 차	t	p
정보의 정확성	3.06	3.96	0.90	7.00	<0.001
정보의 최신성	2.84	4.52	1.68	16.03	<0.001
입력·수정의 편의성	2.98	3.68	0.70	5.31	<0.001
시스템 안정성	3.20	3.34	0.14	2.44	<0.018
시설물 등록·유지관리	3.20	4.98	1.78	23.07	<0.001
실태조사 결과 등록·관리	2.96	4.96	2.00	21.10	<0.001
통계·분석 및 의사결정 지원	2.84	3.04	0.20	3.50	<0.001
정보공유 및 협업 지원	2.86	4.72	1.86	19.61	<0.001

표 5와 같이 제안 시스템은 모든 평가항목에서 $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 특히 실태조사 결과 관리, 시설물 등록 및 유지관리, 정보의 최신성 항목에서 개선 효과가 크게 나타나 제안 시스템이 보호구역 관리업무의 효율성과 정보 품질 향상에 기여할 수 있음을 확인하였다.

사용성 평가 결과, 모든 평가항목에서 제안 시스템의 평균 사용성 평가가 기존 시스템보다 높게 나타났다. 특히 시설물 등록 및 유지관리(4.98점)와 실태조사 결과 관리(4.96점) 항목에서 가장 높은 평가 결과를 보여 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 활용한 자동화 기능이 반복적인 시설물 관리 업무의 효율

성 향상에 효과적으로 기여할 수 있음을 시사하였다. 또한, 정보공유 및 협업(4.72점)과 정보의 최신성(4.52점)에서도 높은 평가 결과를 보여 관계기관 간 정보공유와 시설물 정보의 신속한 갱신 측면에서 긍정적인 개선 효과가 확인되었다. 반면, 입력·수정의 편의성과 통계·분석 및 의사결정 지원 항목은 기존 시스템 대비 사용성이 향상되었으나 다른 평가항목에 비해서는 개선 폭이 상대적으로 작게 나타났다. 이는 객체 검출 기술을 적용하더라도 최종 데이터 검증과 일부 관리업무에서는 관리자의 확인 및 보완 절차가 여전히 필요함을 시사한다.

기존 시스템과 제안 시스템의 사용성을 평가하여 종합적으로 비교한 결과, 제안 시스템은 모든 평가항목에서 기존 시스템보다 높은 평가 결과를 나타냈다. 특히 시설물 등록 및 유지관리와 실태조사 결과 관리 항목에서 개선 효과가 크게 나타났다. 이러한 결과는 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용하여 시설물 조사와 정보 등록 과정을 자동화함으로써 관리업무의 효율성과 정보 품질을 향상시켰기 때문으로 유추된다. 반면, 입력·수정의 편의성과 통계·분석 및 의사결정 지원 항목은 개선 폭이 상대적으로 작게 나타났다. 이 결과는 최종 데이터 검증과 일부 행정 절차에서 관리자의 검토가 여전히 필요하기 때문으로 해석된다.

VI. 결론

본 연구는 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용한 보호구역 통합관리시스템을 설계하고 시스템 사용성 평가를 통해 제안 시스템의 사용성을 평가하였다. 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 기존 보호구역 관리시스템의 한계를 개선하기 위해 딥러닝 기반 객체 검출 기술과 지리정보시스템 기반 관리 기능을 연계한 통합관리시스템을 설계하였다. 제안된 시스템은 보호구역 시설물의 자동 인식, 정보 등록, 위치 기반 관리 및 통계 분석 기능을 제공함으로써 기존의 수작업 중심 관리 절차를 자동화하고 보호구역 관리업무의 효율성과 정보 관리의 체계성을 향상시킬 수 있는 시스템 구조

를 제시하였다.

둘째, 제안 시스템의 평가항목은 델파이 조사를 통해 내용타당성을 확보하였으며, 신뢰도 분석에서도 적정 수준의 신뢰성을 확인하였다. 이를 바탕으로 수행한 사용성 평가에서는 모든 평가항목에서 기존 시스템보다 높은 평가 결과를 나타냈으며, 기존 시스템과 비교시 중대한 차이가 발생함을 확인하였다. 특히 시설 등록 및 유지관리와 현장 조사 결과 관리 항목에서 가장 큰 개선 효과가 있음을 검증하였다. 이는 딥러닝 기반 객체 검출 기술이 보호구역 관리업무의 정보 정확성과 관리 효율성을 향상시키고 시설물 관리의 신속성과 일관성을 확보하는 데 효과적임을 의미한다.

셋째, 본 연구는 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 정보시스템과 융합하여 보호구역 관리 분야에 적용 가능한 통합관리 모델을 제안하고 실제 사용자를 대상으로 그 활용 가능성을 실증적으로 평가하였다는 점에서 학술적·실무적 의의를 지닌다. 학술적으로는 딥러닝 기반 객체 검출 기술의 활용 범위를 보호구역 관리 분야로 확장하였으며, 실무적으로는 지방자치단체와 공공기관이 더 효율적이고 체계적인 보호구역 관리체계를 구축하는 데 활용할 수 있는 정보시스템 모델을 제시하였다는 점에서 시사점을 제공한다.

종합하면, 본 연구는 딥러닝 기반 객체 검출 기술을 적용한 보호구역 통합관리시스템을 설계하고 그 활용 가능성을 실증적으로 평가함으로써 보호구역 관리업무의 효율성과 정보 품질 향상을 검증하였다. 이를 통해 실제 행정환경에서 보호구역 관리의 디지털 전환을 지원하는 실용적인 정보시스템 모델로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 지방자치단체의 행정시스템 및 국가 ITS, 지리정보시스템 플랫폼과 연계하여 장기간 운영 성과를 분석하고 업무시간 단축, 관리 비용 절감, 정보 품질 향상 등 시스템 도입에 따른 정량적 효과를 평가하는 연구가 연계될 필요가 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] 유영상, “도로교통 체계의 지능화,” *ETRI 기술정책연구본부 보고서*, ETRI(한국전자통신연구원), 1-4쪽, 2019년 11월
- [2] 어린이 보호구역 내 교통사고 맞춤형 저감대책 추진(2026). https://www.mois.go.kr/fir/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_00000000008&ntId=126376 (accessed Jun., 10, 2026).
- [3] 보호구역 통합관리시스템 대국민 서비스 오픈(2025). https://www.police.go.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1002&q_bbscttSn=20251218072753613 (accessed Apr., 26, 2026).
- [4] 김운상, “어린이보호구역내 교통안전시설물이 교통사고에 미치는 영향 분석”, 이주대학교 교통-ITS대학원 석사학위논문, 2017년 8월
- [5] 디지털트윈과 AI 융합, 한계는 어디까지?(2024). <http://www.engjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=2730> (accessed Mar., 28, 2026).
- [6] 박준용, “시설물 유지관리 분야의 딥러닝 활용 사례”, *서울기술연구원*, 50-51쪽, 2021년 6월
- [7] 신성필, 현성은, 이강찬, 김성한, 강신각, “인공지능”, *ETRI 기술정책연구본부 보고서*, ETRI(한국전자통신연구원), 1-55쪽, 2019년 1월
- [8] 황교성, 김경수, “딥러닝 기반 컴퓨터 비전 기술의 개발 동향과 국방분야 적용방안”, *국방과 기술*, 제514호, 90-105쪽, 2021년 12월
- [9] 이근우, “딥러닝 기반 작업자 개인보호구 착용 및 얼굴신원 확인 시스템에 관한 연구”, 배재대학교 대학원 박사학위논문, 2021년 12월
- [10] Redmon, J., & Farhadi, A., “YOLO9000: Better, Faster, Stronger”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR)*, pp. 6517-6525, 2017.
- [11] 류지성, 송인국, “YOLOv11 기반 교통안전표지 검출 모델의 성능 비교”, *스마트미디어저널*, 제15권, 제4호, 35-43쪽, 2026년 5월
- [12] Wong, J. K. W., Ge, J., & He, S. X., “Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions”, *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 312-326, 2018.
- [13] 최민수, 한동희, 이재웅, 김학래, 이우귀연, “가스시설 탐지 및 상태 분류를 위한 YOLO 기반 객체 인식 기술 적용 방향 검토 연구”, *한국가스학회지*, 제29권, 제2호, 43-50쪽, 2025년 6월
- [14] Aydın, C., & Erdoğan, G., “Artificial intelligence supported city infrastructure management: Automatic detection of manhole covers and drainage with YOLO on Google Street View images”, *Journal of Business in the Digital Age*, vol. 7, no. 2, pp. 112-124, 2024.
- [15] Popov, P., Mozaffari, M. H., RazaviAlavi, S., & Jalaei, F., “GIS based solutions for management of public building and infrastructure assets: a review of state of the art and research trend analysis”, *Smart Construction*, vol. 2, no. 2, pp. 1-30, 2025.
- [16] DeLone, W. H., & McLean, E. R., “The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update”, *Journal of Management Information Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 9-30, 2003.

저자 소개



류지성(정회원)

2021년 Vlerick Business School ELP 과정 수료.

2023년 단국대학교 산업경영학과 학사 졸업.

2026년 단국대학교 일반대학원 경영학과 석·박사 통합과정

<주관심분야 : 인공지능, 딥러닝, 디지털 트윈>



송인국(정회원)

University of Tennessee at Martin, Computer Science 학사.

The George Washington University, Information Management 석사.

The George Washington University, Information & System Management 박사.

2004년 ~ 단국대학교 경영학과 교수

<주관심분야 : IT비즈니스, 인공지능, IS>