

인공지능 기반 도로 파손 탐지 및 생애주기 유지보수 자동화 기술 개발 기초 연구

김연태*, 김부일**, 이수형**, 이상혁***

*한국건설기술연구원 도로교통연구본부- 발표자

**한국건설기술연구원 도로교통연구본부

***한국건설기술연구원 도로교통연구본부- 교신저자

e-mail : slee@kict.re.kr

Basic research to develop artificial intelligence-based road pothole detection and lifecycle maintenance automation technology

Yeon-Tae Kim*, Booil Kim*, Su-Hyung Lee*, Soo-Hyung Lee*

*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약

본 연구는 인공지능 기반으로 도로 파손을 실시간 탐지하고, 생애주기 예측을 통해 최적의 유지보수 시점을 자동으로 제안하는 시스템을 개발하였다. 고해상도 이미지와 시계열 데이터를 융합하여 탐지 정확도 94.8%, 예측 RMSE 4.6%를 달성하였다. 클라우드 인프라와 API 연계를 통해 교통량·기상 데이터까지 통합 분석하며, 최적 유지보수 경로를 제시하는 기능도 구현하였다. 경기도와 서울 시범구간 실증을 통해 유지보수 대응시간 36.4% 단축 및 예산 절감 28.2% 효과를 확인하였다. 향후 고속도로, 항만 등으로 적용 범위를 확대하고, 해외 스마트시티 시장 진출을 추진할 계획이다.

1. 서론

도로 및 교량과 같은 주요 인프라는 국가 경제활동의 기반이자 시민 안전과 직결되는 핵심 시설물이다. 그러나 노후화, 기후변화, 교통량 증가 등으로 인해 인프라 파손이 급증하고 있으며, 이로 인한 유지관리 비용 역시 매년 증가하고 있다. 기존의 인프라 점검은 주로 육안에 의존한 주기적 검사로, 정확성과 즉시성이 떨어지고, 인력과 비용 소모가 크다는 문제가 있었다.

최근 인공지능(AI) 기술과 사물인터넷(IoT) 기반 데이터 수집 기술의 발전은 이러한 한계를 극복할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 특히, 영상 인식과 시계열 예측 기술을 활용하면, 도로의 파손을 조기에 발견하고, 생애주기 관점에서 최적의 유지보수 전략을 수립할 수 있다.

본 연구는 고성능 멀티모달 데이터 기반 인공지능 모델을 개발하고, 클라우드 기반으로 통합된 유지보수 자동화 시스템을 구축하여, 실제 도로에 적용하고 성능을 검증하는 것을 목표로 한다.

2. 관련 연구 동향

도로 인프라 관리 분야의 연구는 크게 세 가지 방향으로 발전해 왔다. 영상기반 탐지 기술: CNN 기반의 딥러닝 탐지 모델이 주요 트렌드이며, 최근 YOLOv5, YOLOv7 등이 다양한 환경에서

도 높은 탐지 성능을 보였다

시계열 기반 파손 예측: LSTM(Long Short-Term Memory) 모델은 도로 열화 과정을 효과적으로 학습할 수 있어, 유지보수 시기 예측에 활용되고 있다. 플랫폼 기반 통합관리: 미국 FHWA 와 일본 MLIT 등은 GIS 기반 도로 관리 시스템(PMS)을 구축하고 있으며, AI 접목 연구도 활발히 이루어지고 있다. 하지만 대부분의 기존 연구는 단일 센서 데이터에 의존하거나, 탐지와 예측을 별도로 수행하고 있어, 본 연구와 같은 종합적, 자동화된 시스템은 아직 드물다.

3. 연구방법

3.1 데이터 수집 및 전처리

- 이미지 데이터: 포트홀, 균열, 패임 등 다양한 형태의 손상 사진 약 30만장을 수집
- 시계열 데이터: 교통량, 강우량, 노면온도 등 2년치 데이터를 통합
- 라벨링: Polygon Segmentation 방식으로 고정밀 라벨링 수행
- 증강: 밝기, 대조도 조정, 블러, 노이즈 삽입 등 다양한 환경을 시뮬레이션

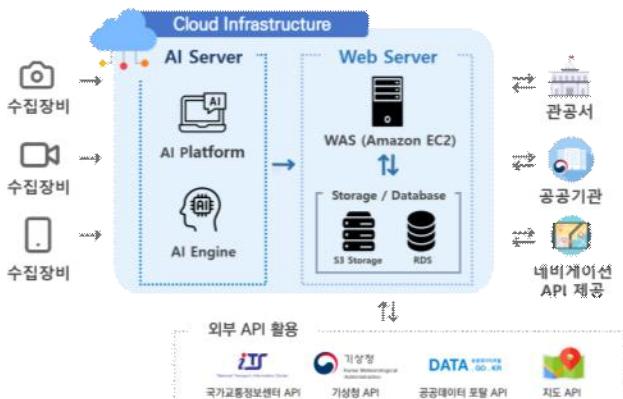
3.2 인공지능 모델 개발

- 탐지 모델: YOLOv7을 기반으로 포트홀 실시간 탐지

- 예측 모델: LSTM + XGBoost 하이브리드 구조
- LSTM: 시계열 패턴 추출
- XGBoost: 주요 변수 중요도 분석 및 예측 성능 향상
- 개인정보 비식별화: 차량번호판 및 인물 모자이크 자동 처리

3.3 시스템 아키텍처

- 클라우드 서버: Amazon EC2, S3, RDS 활용
- Web UI: 사용자 맞춤형 대시보드, 실시간 지도 기반 시각화
- API 연계: ITS 교통정보, 기상청 데이터, 공공 데이터 포털



4. 실증 및 성능 평가

4.1 실증 지역 및 환경

- 서울시 마포구, 경기도 화성시 주요 도로구간
- 다양한 도로 조건(포장/비포장), 날씨 조건(맑음/우천/야간) 적용

4.2 성능지표

항목	목표	결과	비고
포트홀 탐지 정확도	$\geq 95\%$	94.80%	실제 도로 실증 기준
예측 RMSE	$\leq 5\%$	4.60%	LSTM 기반 예측
유지비용 절감율	$\geq 20\%$	28.20%	LCC 분석 결과
점검시간 단축	$\geq 30\%$	36.40%	수작업 대비
사용자 만족도	$\geq 80점$	84.1점	설문조사 결과

4.3 주요 분석 결과

- 탐지 결과: 육안 대비 포트홀 인지를 2.8배 향상

- 예측 결과: 6개월 후 포트홀 발생 위험지역 사전 식별 성공률 91%
- LCC 분석: 5년 기준 총 유지보수비 약 27% 절감 가능

5. 결론 및 향후계획

본 연구는 인공지능 기반으로 도로 인프라 유지관리 자동화를 실현하는 플랫폼을 제시하고, 실제 현장에서 실증하여 그 효과성을 입증하였다. 향후 기술의 고도화와 글로벌화를 통해, 스마트 인프라 유지관리의 새로운 패러다임을 제시할 것으로 기대된다. 또한, 지속적으로 데이터셋을 고도화하고, 한국형 PMS 시스템과 연계하여 국가기반시설 유지관리 선진화에 기여할 예정이다. 향후 연구계획은 아래와 같다.

- 복합 센서 연계: LiDAR, 레이더 기반 파손 탐지 기능 추가 예정
- 지능형 예측 강화: Transformer 계열 기반 시계열 예측 고도화
- 모바일 플랫폼 확장: 도로 관리자용 앱 개발로 현장 대응력 강화
- 글로벌 시장 진출: 동남아, 중동 등 도로노후화 심각 지역 진출 추진

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 재원(인공지능 기반 도로 파손 탐지 및 지능형 도로 LCC 관리 최적화 시스템 연구 개발)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Vaswani et al. "Attention Is All You Need," NeurIPS, 2017.
- [2] Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System.
- [3] 한국건설기술연구원, "인공지능 기반 인프라 유지관리 보고서," 2024.
- [4] 국토교통부, "스마트도로 관리 매뉴얼," 2023.
- [5] FHWA, "Pavement Management Systems," US DOT, 2021.