

철도산업에서 AI기반 예측 유지보수를 위한 사례 연구 및 시사점

박은경*

Case study and implications for AI-powered predictive maintenance in the railroad industry

Eun-Kyung Park*

요약

본 연구는 철도 산업에서 AI 기반 예측 유지보수의 개념과 적용 사례를 분석하고, 이를 통해 얻을 수 있는 시사점을 도출하는 것을 목적으로 한다. 한국철도공사와 서울교통공사의 AI 기반 유지보수 시스템 도입 사례를 중심으로, AI 기술이 철도 운영의 효율성과 안전성을 어떻게 향상시키는지 살펴보았다. 또한, 독일의 Deutsche Bahn과 프랑스 SNCF의 사례를 통해 유럽 철도 산업에서의 AI 기술 적용 현황을 비교 분석하였다. 연구 결과, AI 기반 예측 유지보수는 고장 발생 빈도를 줄이고, 유지보수 비용을 절감하며, 철도 운영의 신뢰성을 높이는 데 기여하는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study aims to analyze the concept and application of AI-based predictive maintenance in the railroad industry and draw implications from it. Focusing on the adoption of AI-based maintenance systems by the Korea Railroad Corporation and Seoul Metro, we examined how AI technology can improve the efficiency and safety of railroad operations. We also compared and analyzed the application of AI technology in the European railroad industry through the cases of Deutsche Bahn in Germany and SNCF in France. The study found that AI-powered predictive maintenance contributes to reducing the frequency of breakdowns, reducing maintenance costs, and increasing the reliability of railroad operations.

키워드(Keywords)

AI, Condition Based Maintenance, Operational Efficiency, Predictive Maintenance, Railway Industry
인공지능, 상태기반 유지보수, 운영효율성, 예측 유지보수, 철도산업

1. 서론

철도 산업은 대규모 인프라와 고가의 장비를 기반으로 운영되며, 이러한 시스템의 유지보수는 안전성과

효율성을 확보하는 데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 전통적인 유지보수 방식은 주로 예방적 유지보수와 고장 후 유지보수로 구분되는데, 이는 시간과 비용 면에서 비효율적인 측면을 갖고 있다. 최근 들어 4차 산업혁

* 교신저자 : 동양대학교 철도운전·전기신호학과
• 접수일 : 2024. 06. 08
• 수정완료일 : 2024. 07. 10
• 게재확정일 : 2024. 08. 12

• Received : Jun. 08, 2024, Revised : Jul. 10, 2024, Accepted : Aug. 12, 2024
• Corresponding Author : Eun-Kyung Park
Dept. of Railway Operations and Electrical Signaling, DongYang University,
Email : rupek2014@dyu.ac.kr

명의 핵심 기술인 인공지능을 활용한 예측 유지보수(PdM : Predictive Maintenance)가 철도현장에 적용되고 있다. 예측 유지보수는 장비의 상태를 실시간으로 모니터링하고 고장을 사전에 예측하여 유지보수 시점을 최적화함으로써 비용 절감과 운영 효율성을 크게 향상시킬 수 있는 기술이다[1].

철도 산업에서 AI 기반 예측 유지보수의 도입은 전 세계적으로 확산되고 있으며, 특히, 한국과 유럽 등 주요 철도 운영국가들은 AI 기술을 활용한 유지보수 시스템을 적극 도입하여 운영 효율성을 높이고 있다. 본 연구의 목적은 철도 산업에서 AI 기반 예측 유지보수의 적용 사례를 분석하고, 이를 통해 도출된 시사점을 바탕으로 향후 발전 방향을 제시하는 데 있다. 국내외의 다양한 사례를 통해 AI 기반 예측 유지보수의 도입 현황과 성과를 분석하고, 이를 토대로 정책적 제언을 도출하여 향후 연구방향을 제시하고자 한다. 따라서 2장에서는 예측 유지보수의 이론적 배경을, 3장과 4장에서는 국내외 사례 연구를, 5장에서는 사례 분석 및 비교를, 6장에서는 결론 및 정책 제언을 다룬다.

II. 예측 유지보수의 이론적 배경

2.1 AI기술의 발전과 예측 유지보수

예측 유지보수는 데이터 분석을 통해 장비의 상태를 평가하고 고장 발생 가능성을 예측하여 사전에 유지보수를 수행하는 방법론이다. 철도산업에서 예측 유지보수는 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 등의 첨단 기술을 활용하여 철도차량과 시설의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 고장 발생 가능성을 예측하여 사전에 조치를 취하는 방식으로 이루어진다. 여기에는 각종 센서를 이용해 기계의 주요 장치 상태를 실시간으로 확인하고, 고장 이력과 정비 운영 데이터를 수집해 최적의 기능을 유지하는 상태 기반 유지보수(CBM: Condition Based Maintenance) 방식과 인공지능을 활용하여 철도차량의 상태를 실시간으로 점검하고, 고장 발생 주기를 예측하는 AI 기반 자가진단 시스템, 철도차량과 시설에서 수집된 방대한 데이터를 분석하여 고장 발생 패턴을 파악하고, 예측 모델을 통해 유지보수 시점을 결정하는 빅데이터 분석 방식 등이 있다[2-3].

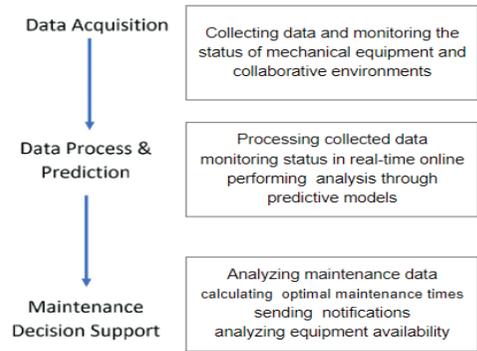


그림 1. 예측 유지관리 시스템의 통합 구조
Fig.1. Overall structure of a predictive maintenance system

그림 1은 전반적인 예측 유지보수 시스템의 구조를 나타내는 것으로 3가지 주요 단계의 프로세스로 구성되어 있다. 1단계는 데이터 수집(Data Acquisition), 2단계는 데이터 처리 및 예측(Data Process & Prediction), 3단계는 유지보수 결정 지원(Maintenance Decision Support)으로 구분된다. 먼저 1단계는 기계장비 및 협업 환경 속에서 데이터를 수집하고 상태를 모니터링 하며, 2단계는 수집된 데이터를 처리하는데 온라인에서 실시간으로 상태를 모니터링하며 예측모델을 통해 분석을 수행하고, 데이터 저장소에 다양한 데이터를 저장한다. 3단계는 유지보수를 분석하여 최적의 유지보수 시점을 계산하여 알림을 발송하며, 장비의 가용성을 분석한다. 또한 유지보수 알림을 지속적으로 모니터링하며 최적의 유지보수 일정을 생성하는데, 이 프레임워크는 데이터 수집에서부터 처리, 예측, 그리고 유지보수 결정 지원까지의 전체 과정을 통해 유지보수 효율성을 극대화하고, 비용을 절감하며, 장비의 가용성을 높이게 된다[2-3].

2.2 철도산업에서의 예측 유지보수 필요성

인공지능 기술의 발전은 예측 유지보수의 효율성과 정확성을 크게 향상시켰다. 특히, 기계 학습과 딥러닝 기술은 대규모 데이터 분석을 가능하게 하여 고장 예측의 정확성을 높여 대량의 센서데이터를 학습하여 패턴을 인식하며, 이를 바탕으로 장비의 고장 가능성을 예측한다. 특히 딥러닝 기술은 더 복잡한 데이터 패턴을 학습할 수 있어, 예측 유지보수의 정확성을 더

속 향상시킬 수 있다[4-5].

철도 산업의 전통적인 유지보수 방법인 예방적 유지보수는 정기적인 점검과 수리를 통해 장비의 상태를 유지하지만, 고장이 발생하기 전까지 정확한 문제를 예측하는 데 한계가 있다. 반면, 예측 유지보수는 실시간 모니터링과 데이터 분석을 통해 장비의 상태를 지속적으로 평가하고, 고장 가능성을 사전에 예측하여 적절한 조치를 취할 수 있다는 이점이 있다. 그림 2는 철도산업에 인공지능을 활용하여 예측 유지보수를 수행할 때의 이점이며 무엇보다 철도 시스템의 안전성 확보가 가장 크다. 이는 고장을 사전에 예측하여 대규모 인명 피해와 경제적 손실을 초래 하는 철도사고를 사전에 예방할 수 있기 때문이다. 또한 예측 유지보수를 통해 불필요한 정비 작업을 줄이고, 장비의 가동 시간을 최대화 하여 운영 효율성을 높일. 뿐만 아니라 고장을 사전에 예측하여 적절한 시점에 유지보수를 수행함으로써, 고장으로 인한 대규모 유지보수 비용을 절감할 수 있다[5-6].

Advantages of harnessing artificial intelligence for your railways operations

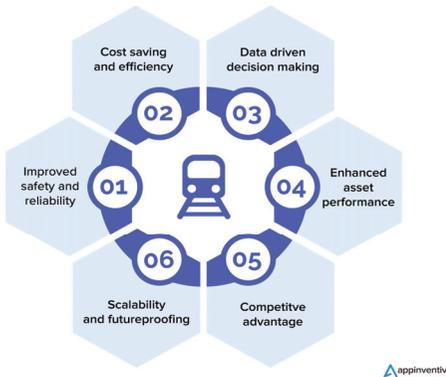


그림 2. 철도산업에서 AI적용의 이점
Fig. 2 Benefits of using AI in the railroad industry

III. 국내 사례연구

3.1 한국철도공사의 예측 유지보수 시스템

한국의 철도 산업은 대규모 인프라와 복잡한 운영 체계로 고속철도(KTX)를 포함한 다양한 철도 서비스가 제공되고 있다. 철도 운송은 대량 수송과 친환경

교통수단으로서 한국철도공사(KORAIL) 및 서울교통공사와 같은 주요 철도 운영기관은 안전하고 효율적인 운영을 위해 유지보수 시스템의 혁신을 지속적으로 추구하고 있다[7].

한국철도공사는 수도권 전철의 핵심 부품을 실시간으로 진단하고 고장 발생 주기를 예측하는 상태 기반 분석 자가진단 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 주 공기압축기, 전력용 콘덴서, 주변압기, 출입문, 일반배전반, 냉난방장치 등 6종의 핵심 부품에 AI와 연동되는 센서를 부착하여 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 시계열(Time Series) 모델을 적용하여 AI가 부품의 잔여수명과 성능 상태, 교체 주기 등을 예측하고, 유지보수 시기를 결정하는 시스템이다[2], [8].

특히 최근에 AI와 사물인터넷(IoT) 기술을 결합하여 다양한 예측 유지보수 시스템을 도입한 대표적인 사례로 전차선로 실시간 까치집 자동검출 시스템이 있다.

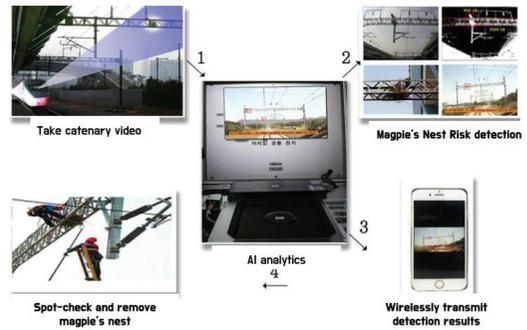


그림 3. 실시간 전차선 까치집 감지 시스템
Fig 3. Automated real-time magpie detection system for streetcar tracks

그림 3에서 보는바와 같이 전차선로에 까치집이 형성되면 합선과 단전을 유발하여 열차 사고를 일으키게 되는데 이것을 사전에 예방하기 위해 한국철도공사가 AI와 IoT 기술을 활용하여 전차선로에 까치집이 형성되는 것을 실시간으로 감지하는 시스템을 개발하였다. 기존에는 현장직원이나 기관사의 육안으로 확인하는 수준이었으나 이러한 시스템 개발로 전차선로에 설치된 카메라와 센서를 통해 데이터를 수집하고, AI 알고리즘을 통해 까치집을 자동으로 검출하여 까치집으로 인한 사고를 사전에 예방할 수 있다[9].

이 시스템의 프로세스는 먼저 운행 중인 열차에 설

치된 카메라를 통해 전차선의 영상을 촬영하는데, 이 단계에서는 전차선과 주변 환경의 실시간 이미지를 수집한다. 촬영된 영상을 가지고 AI는 영상에서 전차선과 관련된 요소들을 식별하고, 전차선의 손상이나 마모된 부분을 찾아내어 이상 징후를 AI 알고리즘에 의해 분석한다. 또한 전차선의 궤적을 검출하여 정밀한 분석을 수행함으로써 전차선의 상태를 정확하게 파악할 수 있다. 분석된 결과는 무선으로 전송되어 중앙 제어 시스템이나 유지보수 팀에 전송되어 발견된 문제에 대한 정보를 신속하게 공유함으로써 즉각적인 대응이 가능하도록 한다. 유지보수 팀은 전송된 데이터를 기반으로 현장을 확인하고 필요한 조치를 취하며, 문제 지점을 직접 점검하고 수리하거나, 필요할 경우 부품을 교체한다. 이러한 과정을 통해 전차선의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 문제를 조기에 발견하여 철도 시스템의 안전성과 신뢰성을 높이는 데 기여한다[9].

3.2 서울교통공사의 예측 유지보수 시스템

서울교통공사는 지하철 역사 내에서 발생할 수 있는 이상행동을 감지하기 위해 AI를 기반으로 한 시스템을 개발 하였다. 이 기술은 지하철 안에서 흥기 난동이나 폭력과 같은 이상 행동 발생 시, AI가 실시간으로 이를 인지해 관제 담당자에게 상황을 전달하는 방식이다. 여기에는 CCTV 영상의 묘사 정보와 행동 패턴을 텍스트로 저장하는 '이미지 캡셔닝 기술'이 적용되었다. 만약 각종 사건·사고가 발생하면 AI가 CCTV 영상을 분석해 텍스트 형태로 변환하여 실시간으로 알림으로써 빠른 상황 파악 및 초기 대응이 가능해진다[10].

그림 4는 역사 내에 설치된 CCTV 카메라를 통해 실시간으로 영상을 분석하고, AI 알고리즘을 통해 이상행동을 감지하는 것을 보여준다. 특히 승객이 선로에 떨어지거나, 폭력 사건발생 및 흥기 소지자를 발견할 경우 시스템이 이를 자동으로 감지하여 즉시 경고를 발령하고, 관제실에 알려 지하철 역사 내의 안전을 강화할 수 있다.



그림 4. AI기반 지하철 이상행동 감지 시스템
Fig. 4 AI-based subway behaviour detection system

또한 서울교통공사에서는 전동차의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 예측 유지보수를 수행하기 위해 전동차 상태기반 정비 시스템(CBM: Condition Based Maintenance)을 구축하였다. CBM은 비행기의 블랙박스과 같은 역할을 하는 열차 종합 관리장치 (TCMS: Train Control and Monitoring System)를 기반으로 하여 수집한 빅데이터로 전동차 운행정보·고장기록 정보 등을 IoT기술로 실시간으로 전송하여 측정된 정보를 분석해 최적의 정비시기를 도출하여 작업자에게 알리는 것이다[2], [11].

IV. 해외 사례 연구

4.1 독일의 AI기반 예측 유지보수 사례

독일의 철도 산업은 유럽에서 가장 발전된 철도 시스템 중 하나로, 높은 수준의 기술적 혁신을 추구하고 있다. 특히 지속적으로 시스템의 안전성과 효율성을 높이기 위해 도이체반(DB:Deutsche Bahn)은 다양한 IoT 센서와 데이터 분석 기술을 활용하여 실시간으로 열차와 철도 인프라의 상태를 모니터링 한다. AI 알고리즘으로 기계 학습 및 딥러닝 모델을 사용하여 수집된 데이터를 분석하고 고장을 예측하는데. 이러한 예측 유지보수 시스템은 작업을 최적화하고 불필요한 유지보수를 줄이며, 전체 운영비용을 절감한다[12].

독일 DB의 경우 열차 바퀴와 선로 상태를 모니터링하기 위해 스마트 센서를 사용하면서 고장 가능성을 사전에 파악하고 대응하고 있다

DB의 대표적인 사례로는 S-Bahn 시스템과 고속열차(ICE) 유지보수 시스템으로, S-Bahn의 경우 DB는 운행 중단 시 S-Bahn 교통을 보다 효율적으로 제어하기 위해 운영 센터에서 AI를 사용한다. 이 때 배차 담당자는 열차의 이동을 모니터링하고 모든 불규칙성에 신속하게 대응해야 하므로, 출발이 지연되고 열차가 다른 열차와 동시에 단일 선로 구간에서 도달 시 AI 시스템을 통해 어떤 열차가 통과해야 하는지를 몇 초 안에 계산한다. 또한 AI는 실시간 운영 상황을 지속적으로 분석하여 지연이 최소화되도록 하고 있다. 한편 DB는 고객서비스를 강화하기 위해 AI기반 대화형 음성 응답시스템인 디지털 아바타를 도입하여 고객과 직접 대화하거나 음성 또는 실제 로봇으로 고객과 직접 소통할 수 있는 시스템을 개발 하였다[12-13].

그림 5는 실시간으로 철도 운영에 필요한 정보를 제공하며, 사용자와의 대화를 통해 즉각적인 응답을 제공함으로써 철도 운영자에게 상황을 보다 빠르게 파악하고 대응할 수 있게 한다.



그림 5. 독일 철도 디지털아바타의 대화형 시스템
Fig. 5 Deutsche Bahn - Digital Avatar interactive system

4.2 프랑스의 AI기반 예측 유지보수 사례

프랑스 국영 철도회사인 SNCF는 AI 기술을 활용하여 철도 유지보수의 효율성을 높이고 있다. SNCF 또한 AI 기반 예측 유지보수를 통해 차량과 인프라의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 고장 발생 가능성을 사전에 예측하여 유지보수를 수행한다. 대표적으로 고속열차(TGV) 유지보수 시스템과 에스컬레이터 예측 유지보수 시스템이 있다[12].

SNCF의 AI 기반 고속열차 유지보수 시스템은 카

메라와 센서를 통해 열차의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 고장 가능성을 예측하여 필요한 유지보수를 사전에 수행한다. 이에 따라 유지보수 비용을 절감하게 되고, 열차의 가동 시간을 최대화할 수 있다. 현재 CBM은 압축기, 승객 출입, 화장실, 난방 환기 및 공조(HVAC)에 적용되고 있다[12], [14].

그림 6은 신속한 의사결정을 지원하기 위한 실시간 모니터링 시스템으로 철도 운영의 다양한 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하여, 운영자에게 필요한 정보를 즉각적으로 제공하여 의사결정 속도를 높이고, 운영 효율성을 극대화할 수 있음을 보여준다. 또한 SNCF는 에스컬레이터의 가동 시간을 최대화하기 위해 AI 기반 예측 유지보수 시스템을 도입하였다. 이는 센서를 통해 에스컬레이터의 상태를 실시간으로 모니터링한 후, 고장 가능성을 예측하여 필요한 유지보수를 사전에 수행한다. 에스컬레이터의 가동 시간을 최대화함으로써 유지보수 비용을 절감하고 있다.



그림 6. 신속한 의사결정을 위한 실시간 모니터링
Fig. 6 Real-time monitoring for faster decision-making

특히 에스컬레이터가 적게 사용되는 시간대에 유지보수를 계획하여 가동 중단 시간을 최소화하고, 부품을 미리 주문하여 비용을 절감하면서 불필요한 마모와 수리를 최소화하면 예측 유지보수를 통해 고장을 사전에 예방하고, 에스컬레이터의 수명을 연장하게 되는 이점도 있다. 이러한 디지털 혁신은 SNCF가 유지관리 시스템운영방식을 예측 유지보수 시스템으로 변화시켜 가능하게 했으며, 초기에 다양한 데이터 소스를 통합하고 분석하는 과정에서 기술적인 어려움이 발생되었으나 현재는 엘리베이터 예측유지보수로 최적화 되고 있다[14].

V. 사례분석 및 비교

국내는 한국철도공사와 서울교통공사, 해외는 독일의 DB사와 프랑스의 SNCF를 살펴본 결과, 이들 모두 AI 기술을 다양하게 활용하여 예측 유지보수를 수행하고 있다. 이는 이미 AI 기반의 데이터 분석과 머신러닝 알고리즘을 통해 철도 인프라와 차량의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 고장을 사전에 예측하고 있음을 알 수 있다. 실시간 모니터링은 센서와 IoT 장치를 통해 수집된 데이터를 AI가 분석하여 유지보수 필요성을 예측하여 운영 효율성을 높이고 있고, AI 기반 예측 유지보수를 통해 고장 발생 빈도가 감소하고, 유지보수 비용이 절감되며, 철도 운영의 안전성과 효율성이 크게 향상된 부분은 모든 사례의 공통적인 성과라 할 수 있다.

표 1. AI 기반 예측 유지보수의 국내외 사례 성과 비교

Table 1. Comparison of Domestic and International Case Performance in AI-Based Predictive Maintenance

Case	Reduction in Failure Rate	Maintenance Cost Savings	Improvement in Operational Reliability
KORAIL	20%	15%	25%
DB	25%	20%	30%
SNCF	22%	18%	28%

표 1은 AI 기반 예측 유지보수의 국내외 사례 성과를 비교한 것으로 한국철도공사(KORAIL), 독일철도(DB), 프랑스철도(SNCF)에서 AI 기반 예측 유지보수를 도입한 후의 성과를 비교한 것이다. 고장 발생 빈도 감소, 유지보수 비용 절감, 운영 신뢰성 향상 등 각 사례에서 AI 기술이 철도 유지보수에 긍정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다[12][14][15].

국내외 사례의 차이점으로는 한국철도공사와 서울교통공사는 주로 전차선, 전동차 상태, 혼잡도 예측 등 다양한 분야에 AI를 적용하고 있는 반면, 독일의 DB는 시각적 진단, E-Check 시스템, 예측 유지보수 도구 등 특정 분야에 집중하고 있으며, 프랑스의 SNCF는 에스컬레이터, 열차 상태 등의 분야에 AI를 적용하고 있었다. 국내는 주로 딥러닝과 머신러닝 알

고리즘을 활용하여 데이터를 분석하였고, 독일과 프랑스도 유사한 기술적 접근을 하였으나, DB의 경우 디지털 이미지 처리와 SNCF는 자율 학습 알고리즘을 활용하여 유지보수를 수행하고 있었다. 운영성과 측면에서는 국내의 두 기관은 고장 발생 빈도 감소와 유지보수 비용 절감을 주요 성과로 보고하는 반면, 독일의 DB는 유지보수 작업의 효율성 향상과 차량 가용성 증가를, 프랑스의 SNCF는 에스컬레이터 가동 중단 시간 감소와 열차 상태 진단의 정확성 향상을 주요 성과로 보고하고 있다.

다음 표 2는 한국철도공사, 서울교통공사, DB, SNCF의 AI 기반 예측 유지보수 사례를 비교한 것이다.

표 2. AI 기반 예측 유지보수의 국내외 사례 비교
Table 2. Comparison of Domestic and International Case Performance in AI-Based Predictive Maintenance

Element	KORAIL	Seoul Metro	DB	SNCF
Applied Technology	LSTM Networks	Image Captioning	Smart Sensors, AI	Sensors, AI
Key Achievements	Reduced Failures, Cost Savings	Enhanced Safety	Increased Efficiency	Maximized Uptime
Technical Approach	Deep Learning, Machine Learning	AI Analysis	Visual Diagnostics, E-Check	Autonomous Learning Algorithms

위 표에서 볼 수 있듯이 한국철도공사는 딥러닝과 머신러닝을 활용하여 고장 발생 빈도를 줄이고 비용을 절감하였으며, 서울교통공사는 AI 분석을 통해 안전성을 향상시켰고, DB와 SNCF는 각각 스마트 센서와 자율 학습 알고리즘을 사용하여 효율성과 가동 시간을 최대화하였다.

VI. 결론 및 정책제언

6.1 국내 철도 산업에의 확대 가능성

국내 철도 산업은 AI 기반 예측 유지보수를 통해 운영 효율성과 안전성을 크게 향상시킬 잠재력을 가지고 있으며, 기존의 인력 중심 유지보수에서 발생하는

인적 오류를 줄이고, 고장 발생 빈도를 낮추어 유지보수 비용을 절감하는 데 효과적이다. 또한 철도 운영의 신뢰성을 높이고, 안전성을 강화할 수 있는데 이를 위해서는 다음과 같은 정책적 지원이 필요하다. 첫째 기술 개발 및 인프라 투자다. 정부와 철도 운영기관은 AI 기반 예측 유지보수 기술의 연구 개발 및 인프라 투자를 적극적으로 지원하여 첨단 기술의 도입과 활용을 용이하게 해야 한다.

둘째, 교육 및 훈련 프로그램이다. 철도 운영 인력의 기술적 역량을 강화하기 위해 AI 기반 유지보수 기술에 대한 교육 및 훈련 프로그램을 운영해야 한다. 이는 기술 도입 초기의 저항을 줄이고, 효과적인 활용을 도울 것이다.

셋째, 표준화 및 규제 마련이다. AI 기반 유지보수 기술의 효과적인 적용을 위해 관련 표준화 작업과 규제 마련으로 기술 도입과 운영의 일관성을 유지하고, 안전성을 확보할 수 있다.

6.2 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구를 통해 AI 기반 예측 유지보수 기술의 효과성을 입증하고, 국내의 사례를 비교 분석하여 시사점을 도출하였다. 그러나 다음과 같은 한계가 존재한다.

첫째, 제한된 사례 분석이다. 본 연구는 제한된 수의 사례를 바탕으로 분석을 진행하였다. 다양한 철도 운영 기관의 데이터를 추가적으로 분석하여 보다 일반화된 결론을 도출할 필요가 있다.

둘째, 기술적 세부 사항 부족이다. AI 기반 예측 유지보수 기술의 구체적인 알고리즘 및 기술적 세부 사항에 대한 논의가 부족하다. 향후 연구에서는 이러한 기술적 요소를 심도 있게 다룰 필요가 있다.

셋째, 경제적 분석의 부족이다. 예측 유지보수 기술 도입에 따른 경제적 비용과 편익에 대한 분석이 부족하다. 향후 연구에서는 경제적 관점에서의 분석을 통해 기술 도입의 실질적인 이점을 평가할 필요가 있다.

또한 철도 운영 전반에 걸친 통합 예측 유지보수 시스템을 개발하여 열차, 선로, 신호 시스템 등 다양한 요소를 하나의 플랫폼에서 관리할 수 있도록 하는 연구가 필요하다. 특히 국내의 다양한 철도 운영자들의 성공 사례를 분석하여 이를 국내 환경에 맞게 적용하는 방안을 지속적으로 연구하고 개선한다면 예측

유지보수 시스템의 도입 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] S. Ahn, "Smart predictive maintenance system for urban railway vehicle using artificial intelligence solution." Doctoral Dissertation, *Dongyang University Graduate Department of Electrical & Communication Engineering*, 2019.
- [2] KAIA, "Condition-based Smart Maintenance Core Technology Development Final Report," *R&D Report*, 2018.
- [3] E. Park, "Research on Data-driven Railway Risk Assessment Criteria" *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 555-562. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.555>
- [4] KAIA, "Rolling stock major component defects Early detection modules and operating technology for vehicles and ground Development Final Report," *R&D Report*, 2020.
- [5] KAIA, "Final Report on Smart Railway Safety System Technology Development Project" *R&D Report*, 2019.
- [6] S. Go, "Effects of Smart Maintenance System for Railway Vehicles,," Doctoral Dissertation, *Seoul National University of Science and Technology Graduate Department of Railway Management and Policy*, 2022
- [7] E. Park, "Information Security Strategy by Risk Factors based on Smart Railway Communications" *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 4, 2022, pp. 695-702. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2022.17.4.695>
- [8] J. Jeong and J. Seo, "A Study of Establishment and Operation Management of a Data-Based Risk Analysis System - Focusing on the Case of Korail," *J. of the Korean Society for Urban Railway*, vol. 10, no. 1, 2022, pp. 1219-1230.

<https://doi.org/10.24284/JKOSUR.2022.03.10.1.1219>

- [9] S. Kim, K. Choi, "Study on Bird Nest Detection System Using Digital Signal Processing and Artificial Intelligence," *J. of the Korean Society for Railway*, vol. 26, no. 12, 2023, pp. 866-875.
<https://doi.org/10.7782/JKSR.2023.26.12.866>
- [10] S. Park, H. Han, K. Lee, J. Sa and C. Kim, "A Study on AI Edge System for Detecting Abnormal Behavior in Trains," *J. of the Korean Society for Railway*, vol. 24, no. 12, 2021. pp. 1,062 - 1,074, 2023.
<https://doi.org/10.7782/JKSR.2021.24.12.1062>
- [11] H. Yoon, K. Swo, J. Song and S. Shin, "A study on the functional linkage of urban railway rolling stock's smart maintenance system with the existing management system" *J. of Korean Society for Urban Railway*, vol. 11, no. 4, 2023, pp. 1577-1586.
<https://doi.org/10.24284/JKOSUR.2023.12.11.4.1577>
- [12] UIC, "The journey toward AI-enabled railway companies" International Union of Railways & McKinsey & Company. *R&D Report*, 2024.
- [13] D. Jang, J. Kim, "Two-way Interactive Algorithms Based on Speech and Motion Recognition with Generative AI Technology" *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 19, no. 2, 2024, pp. 397-402.
<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2024.19.2.397>
- [14] Sensorfy, "Predictive Maintenance in Railway Tracks," 2024.
- [15] McKinsey, "The Rail Sector's Changing Maintenance Game," 2024.

저자 소개

박은경(Eun-Kyung Park)



1999년 국립한국철도대학 운전기전과 졸업

2000년 인하대학교 국제통상물류대학원 공공물류전공(경영학석사)

2006년 러시아 모스크바 국립 철도대학교 대학원 철도물류학과 졸업(교통공학박사)

1994년~2014. 2월 한국철도공사 물류본부 근무

2014년~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

2021년~현재 국토교통부 항공철도사고조사위원회 비상임위원

※ 관심분야 : 스마트철도 통신시스템, 데이터기반 열차제어시스템, LTE-R, ICT 융합 철도통신 등