

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.2.511

JCCT 2024-3-60

이미지 분석기법을 이용한 레일표면손상 진단애플리케이션 개발

Development of Diagnosis Application for Rail Surface Damage using Image Analysis Techniques

최정열*, 안대희**, 김태준***

Jung-Youl Choi*, Dae-Hui Ahn**, Tae-Jun Kim***

요약 최근 제정된 궤도시설의 성능평가에 관한 세부지침에서 궤도성능평가의 평가절차 및 실시방법 등에 관한 필요사항을 제시하였다. 그러나 외관조사(육안조사)에 의해 레일표면손상의 등급이 결정되며, 점검자의 주관적인 판단으로 정성적인 평가에만 의존할 수밖에 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 레일표면손상을 이용하여 레일내부결함까지 진단할 수 있는 진단애플리케이션을 개발하고자 하였다. 현장조사에서는 레일표면손상을 조사하고 패턴을 분석하였다. 또한 실내시험에서는 레일내부손상 이미지 데이터를 구축하기 위하여 SEM 시험을 이용하였으며, 균열 길이, 깊이 및 각도를 정량화하였다. 본 연구에서는 현장조사와 실내시험에서 구축한 이미지 데이터를 적용한 딥러닝 모델(Fast R-CNN)을 애플리케이션에 적용하였다, 스마트기기에서 사용이 가능한 딥러닝 모델을 이용한 레일표면손상 진단 애플리케이션(App)을 개발하여 향후 궤도진단 및 성능평가 업무에 활용 가능한 레일표면손상 스마트 진단시스템을 개발하였다.

주요어 : 레일표면손상, 진단시스템, 딥러닝, 애플리케이션

Abstract The recently enacted detailed guidelines on the performance evaluation of track facilities presented the necessary requirements regarding the evaluation procedures and implementation methods of track performance evaluation. However, the grade of rail surface damage is determined by external inspection (visual inspection), and there is no choice but to rely only on qualitative evaluation based on the subjective judgment of the inspector. Therefore, in this study, we attempted to develop a diagnostic application that can diagnose rail internal defects using rail surface damage. In the field investigation, rail surface damage was investigated and patterns were analyzed. Additionally, in the indoor test, SEM testing was used to construct image data of rail internal damage, and crack length, depth, and angle were quantified. In this study, a deep learning model (Fast R-CNN) using image data constructed from field surveys and indoor tests was applied to the application. A rail surface damage diagnosis application (App) using a deep learning model that can be used on smart devices was developed. We developed a smart diagnosis system for rail surface damage that can be used in future track diagnosis and performance evaluation work.

Key words : Rail surface damage, Diagnostic system, Deep learning, Application

1. 서 론

공용연수 증가에 따라 도시철도 레일의 노후화가 진

행되어, 레일표면손상 및 열차주행안전뿐만 아니라 성능 유지와 사용성을 위한 유지관리비용이 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 최근 제정된 궤도시설의 성능평가에 관

*정회원, 동양대학교 건설공학과 교수 (제1저자)

**정회원, 동양대학교 건설공학과 박사과정 (교신저자)

***정회원, (주)세종지오택 대표이사 (참여저자)

접수일: 2024년 1월 2일, 수정완료일: 2024년 1월 23일

게재확정일: 2024년 1월 31일

Received: January 2, 2024 / Revised: January 23, 2024

Accepted: January 31, 2024

**Corresponding Author: ahndh@dyu.ac.kr

Dept. of Construction Engineering, Dongyang University, Korea

한 세부지침에서 궤도성능평가의 절차와 실시방법 등에 관한 필요사항을 나타내고 있다. 그러나 외관조사(육안조사)에 의해 레일표면손상을 진단하고 등급을 산정하는 것이 결정된다[1-4].

점검자의 주관적인 판단에 따른 정성적인 평가에 의존할 수밖에 없고 레일손상을 점검, 진단하고 등급을 산정하기 위한 레일의 안전성능 조사항목은 그림 1과 같이 점검자의 주관적인 판단에 따른 정성적인 평가에 의존할 수밖에 없는 외관조사(육안조사)에 의해 결정되는 실정이다.

II. 레일표면 및 내부손상 데이터 구축

1. 현장조사

본 연구에서는 레일표면손상 진단에 어플리케이션에 적용하기 위한 학습데이터로서 레일표면손상 이미지 데이터 확보를 위해 현장조사를 실시하였다. 현장조사 결과, 그림 1과 같이 레일에 발생된 손상(Headcheck/파상마모/RCF/망상균열 등)은 일정한 패턴으로 손상이 진행되고 있는 것으로 분석되었다.



그림 1. 현장조사 결과
Figure 1. Field investigation results

그림 1과 같이 RCF로 인해 레일에 발생되는 손상패턴은 총 3단계로 분석되었다. 그림 1과 같이 레일두정면에 확장형 균열이 미세하게 발생된 상태에서 지속적인 하중

(윤중, 속도에 의한 충격, 내·외측 윤중부담율, 과캔트 등)을 부담하게 되면 그림 2와 같이 레일연마로도 레일표면을 복구할 수 없을 정도로 심각한 손상이 발생된다.



그림 2. 레일손상 진행도
Figure 2. Rail damage progression

주기적인 육안점검 및 선로순회작업을 통해 레일표면의 결함을 발견하는 것은 매우 중요하다. 그러나 점검자의 주관적 판단에 의해 레일표면의 결함의 경중을 평가하는 것은 레일 내부의 손상을 예측하기에 상당한 제약이 따른다. 그림 2와 같이 경미한 수준의 표면결함에서 심각한 수준의 결함까지 진전되는 과정에서는 겉보기와 내부의 손상수준은 상당한 차이가 있음을 파악할 수 있다[5]. 차륜의 정상적인 연삭기능에 의해 표면의 균열 또는 결함이 일부 제거되거나 눌러서 표면결함이 다소 완화(개선)된 것으로 오인할 소지가 크다. 또한 이로 인해 적절한 연마시기를 놓치게 되어 레일손상을 가속화시키고 이에 따라 갑작스런 레일절손을 초래할 소지가 있다. 따라서 외부에서 관찰 가능한 육안조사결과를 정량적으로 내부 손상까지 평가할 수 있는 점검기법 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

2. 실내시험

본 연구에서는 레일내부손상 수준을 정량화하고 레일 내부손상 이미지데이터를 획득하고자 실내시험을 수행하였다[1].

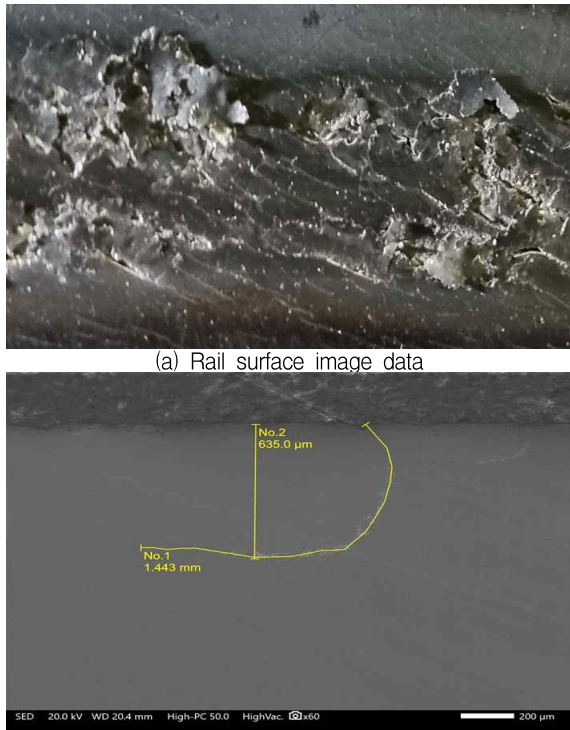
본 연구에서는 각 시료에 대해 수행한 단면부 관찰 방법은 균열 반대방향으로 절단하여 단면을 Mounting 하였으며, Mounting 후 Diamond suspension으로 Polishing을 하여 시료를 가공하였다. 이후 주사전자현미경(JEOL JSM-IT500)으로 레일내부손상 단면을 관찰하여 균열길이, 깊이 및 각도를 각각 측정하였다. 전자주사

현미경을 이용한 레일 조직검사 시험전경 및 시험결과 예시는 그림 3과 같다[1].



(a) 전자주사현미경 시험전경 (b) SEM 시험 결과 예시
 그림 3. 실내시험 전경
 Figure 3. Laboratory test overview

본 연구에서는 그림 4와 같이 공용중인 도시철도 레일 표면손상 구간에서 레일표면 이미지와 레일내부 손상이미지를 매칭하여 약 1,300개의 학습 데이터셋을 확보하였으며, 학습데이터를 머신러닝 알고리즘의 학습데이터로 적용하였다[1].



(a) Rail surface image data
 (b) Rail internal image data
 그림 4. 레일표면 및 내부데이터 예시
 Figure 4. Example of rail surface and internal data

III. 레일표면손상 진단시스템

1. 개요

본 연구에서는 그림 5와 같이 균열이미지를 추출하는 딥러닝 모델로서 인공신경망기반의 객체 탐지 및 분할 모델을 적용하고자 하였다. 딥러닝은 심층 신경망을 기반으로 구성된 학습 모델이며, 인공 신경망의 과적합 문제를 해결하고, 컴퓨터 음성 인식, 비전, 자연어 통역 및 이미지 인식 등의 다양한 비형식 데이터 처리 분야에서 머신러닝 알고리즘보다 뛰어난 성능과 범용성을 보여주고 있다. 딥러닝은 응용 분야에 따라 CNN(Convolutional neural network), RBM(Restricted boltzmann machine), RNN(Recurrent neural network), DBN(Deep belief network) 등으로 다양한 학습 모델이 존재한다.[6]. CNN(합성곱신경망)은 여러 층으로 이루어진 Convolutional 계층과 Neural network의 구조로 설계되어, Convolutional layer를 이용한 학습 이미지의 특징을 추출하고 Neural network를 통하여 추출한 특징을 기반으로 학습 이미지를 분류한다[6].

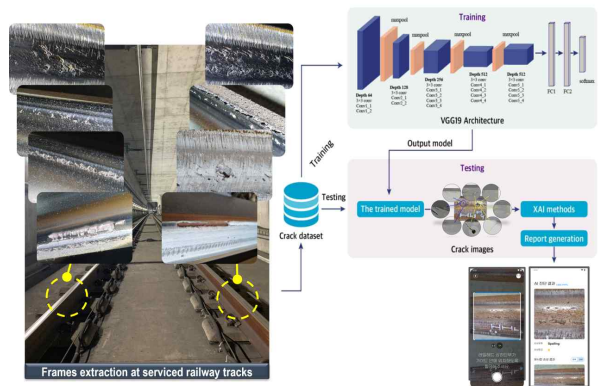


그림 5. 레일표면손상 진단 프로세스
 Figure 5. Rail surface damage diagnosis process

본 연구에서는 Fast R-CNN 모델을 이용하여 애플리케이션의 개발을 수행하였으며, Fast R-CNN은 입력된 이미지에 대해 ConvNet을 수행하고 생성된 Feature map을 가지고 Region proposal method를 통해 ROI(Region of interest)를 추출한다. 추출된 ROI를 ROI pilling 기법을 이용하여 각각의 Region들에 대해 Feature에 대한 정보를 추출한다. 다음 Fully connected layer로 진행하여 Classification과 Regression을 진행한다.

본 연구에서는 실제 진단 업무에 수행 가능한 레일표면손상 애플리케이션을 개발하고자 궤도시설의 성능평가에 관한 세부지침의 레일표면손상의 기준을 활용하여 훈련데이터 셋을 분류하여 적용하였으며, 머신러닝 알고리즘을 통해 레일표면손상을 평가기준과 수렴하는 시점을 학습시키고자 하였다[1,7,8].

레일표면손상 이미지 데이터를 딥러닝이 적용된 분석 기법을 사용 시 종래의 육안조사가 아닌 인적오류를 최소화하며 관리자 및 점검자에게 레일표면손상을 진단할 때 신뢰성 높은 유의미한 데이터를 제공할 수 있으며, 분석이 정확성이 높은 분석이 가능할 것으로 판단된다 [9-11].

2. 사용자 버전(애플리케이션)

사용자 APP 버전에서 그림 6과 같이 애플리케이션을 실행하고 사용자가 애플리케이션의 촬영기법을 이용하여 레일표면손상을 촬영 예시는 그림 6과 같다.

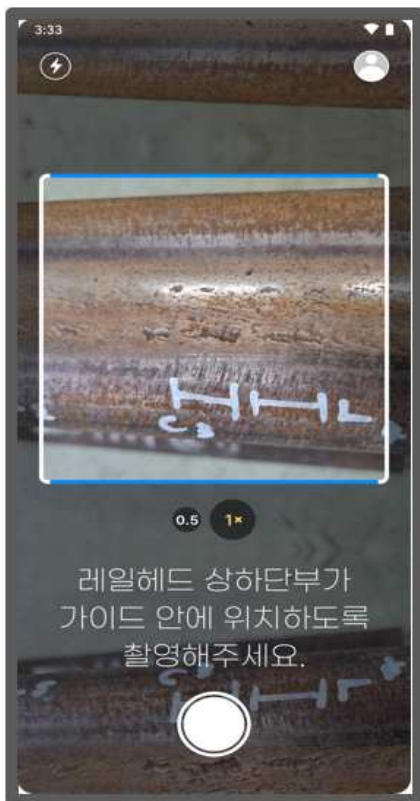


그림 6. 레일표면손상 촬영 예시
Figure 6. Photo example of rail surface damage

사용자가 레일표면 진단 애플리케이션을 이용하여 촬영을 시작하면 그림 6과 같이 현장에서는 레일표면손상 부위를 촬영할 수 있도록 레일 헤드 상하단부가 가이드 라인 안에 위치하면 촬영되도록 구현하였다. 또한 레일 표면손상 부위를 점검자마다 다양한 각도와 앵글로 찍어 버리면 손상의 규모가 왜곡될 수 있기에 레일의 사이즈는 표준화 되었으므로 손상 규모를 정량적으로 레일표면 손상 데이터를 확보할 수 있도록 구현하였다.

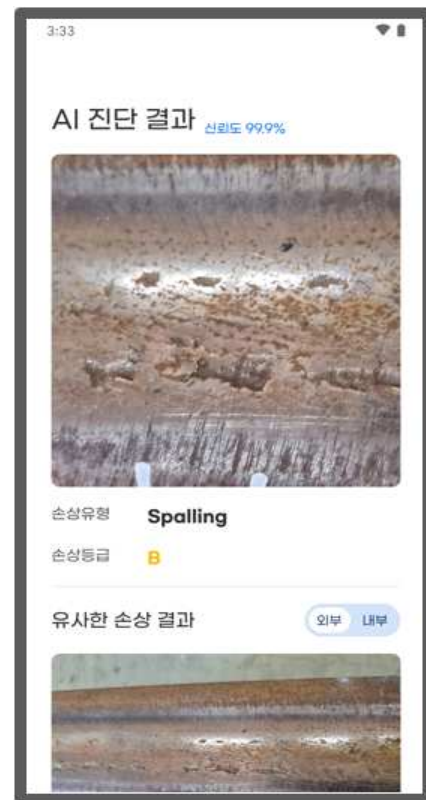
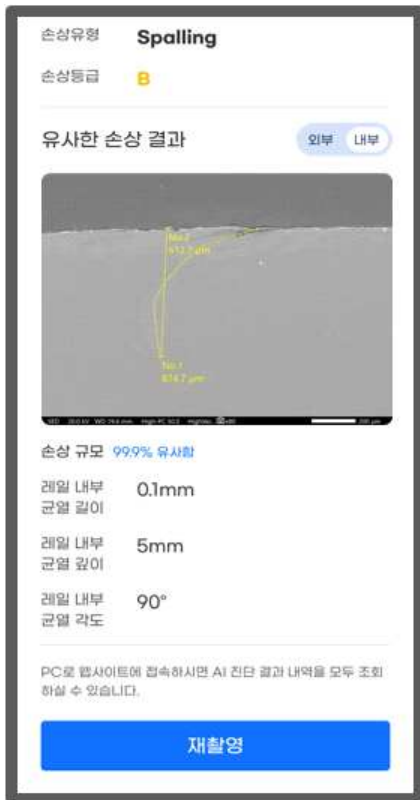


그림 7. 레일표면손상 A.I. 진단결과(사용자 촬영)
Figure 7. Rail surface damage A.I. diagnosis results (user photo)

AI 진단 결과는 그림 7과 같이 사용자가 촬영한 레일 표면손상 이미지를 딥러닝 모델이 학습하여 학습데이터 셋의 결과와 비교하였을 때 신뢰성 지수가 나타나게끔 개발을 하였으며, 촬영된 레일표면이미지를 손상유형 및 손상등급으로 구분하여 결과를 제시하였다. 그림 8과 같이 진단 결과는 크게 두 가지로 외부 손상의 이미지로는 두 가지의 결과를 제시할 수 있고 손상의 유형과 등급을 평가할 수 있다.



(a) External diagnosis results of rail surface damage



(b) Internal diagnosis result of rail surface damage

그림 8. 레일표면손상 A.I. 진단결과

Figure 8. Rail surface damage A.I. diagnosis results

그림 8(a) 및 그림 8(b)와 같이 레일표면손상으로 발생한 내부손상을 유사하게 제시함으로써 학습데이터셋에 매칭된 내부손상의 손상규모를 정량적으로 제시함으로써 레일표면손상을 평가를 할 수 있도록 프로그램을 연구 하였다. 또한 결과에 대한 신뢰도가 낮을 경우 재촬영 기능을 통해 새로이 진단을 할 수 있도록 구현하였으며, 사용자가 진단결과에 참고할 수 있도록 개발하였다. 여기서의 손상 등급이라는 것은 궤도시설의 성능평가에 관한 세부지침에서 정의하였다. 그리고 내부 손상으로는 손상의 규모를 균열길이, 깊이, 각도와 같은 손상 규모를 정량적으로 제시할 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 딥러닝을 이용한 레일표면손상 진단시스템에 대한 연구로서 레일표면손상 이미지를 이용한 레일표면손상 등급 및 내부결함을 평가할 수 있는 애플리케이션을 연구하였다.

(1) 본 연구에서는 레일표면손상을 이용하여 레일내부 결함까지 진단할 수 있는 진단애플리케이션을 개발하였다. 현장조사에서는 레일표면손상을 조사하고 실내시험에서는 레일내부손상 이미지 데이터를 구축하기 위하여 SEM 시험을 이용하였다. 실내시험 결과를 바탕으로 균열 길이, 깊이 및 각도를 정량화하였다. 본 연구에서는 현장조사와 실내시험에서 구축한 이미지 데이터를 적용한 딥러닝 모델(Fast R-CNN)을 애플리케이션에 적용하였다. 스마트기기에서 사용이 가능한 딥러닝 모델을 이용한 레일표면손상 진단 애플리케이션(App)을 개발하여 향후 궤도진단 및 성능평가 업무에 활용 가능한 레일표면손상 스마트 진단시스템을 개발하였다.

(2) 본 연구결과를 바탕으로 점검자가 레일표면손상을 촬영만으로 내부결함으로 이어지는 손상의 규모를 파악할 수 있는 새로운 레일표면손상 진단기법을 제시하였다. 또한 레일손상상태 및 점검결과 이력을 빅데이터화함으로써 보다 과학적으로 궤도의 손상이력 추적이 가능할 뿐만 아니라 궤도진단결과의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] J.Y. Choi, J.M. Han, Y.K. Kim, "Correlation Analysis of Rail Surface Defects and Rail Internal Cracks", The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 10, No. 1, pp.585-591, 2024. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.1.585>
- [2] Guidelines for regular inspection of railway facilities, etc., Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021
- [3] Detailed guidelines on performance evaluation of track facilities, Korea National Railway, 2021
- [4] Track maintenance guidelines, Korea National Railway, 2020
- [5] Track Inspector Rail Defect Reference Manual, FRA(Federal Railroad Administration), 2011
- [6] E.R. Ha, "Convolution Neural Network(CNN) based Image Processing System, Department of Computer Engineering", Graduate School of Paichai University Daejeon, Korea, Ph.D dissertation, 2014
- [7] Kapoor, A, Schmidt, F, and Fletcher, D, "Managing the critical wheel-rail interface", Railway Gazette International, 2002
- [8] B. NDAO, "Generation et Detection sans Contact des ondes depayleigh par methodes ultrasons-Laser et EMAT Mode Statique et Dynamic Application to the detection of surface defects in the rail head", University of Valenciennes and Hainaut-Cambresis, Ph.D dissertation, 2016
- [9] A. Mednis, G. Strazdins, R. Zviedris, G. Kanonirs, and L. Selavo, "Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers," Proc. IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, Barcelona, Spain. 2011.
- [10] T.Y. Kim and S.K. Ryu, "Review and analysis of pothole detection methods", Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, Vol. 5, No. 8, pp. 603-608. 2014.
- [11] M.K. Lee, and K.S. Seo, "Comparison of Region-based CNN Methods for Defects Detection on Metal Surface", The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 67, No. 7, pp. 865-870, 2018

※ 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00233470, 인공지능경망 이미지 분석을 이용한 레일표면손상 진단시스템 개발)