

# 지능형 교량 신축이음 손상 탐지 시스템

허빈, 이소연, 김민승, 김예서, 김대영\*

순천향대학교

{heobin0319, lsy8647, alstmd525, chinkl, dyoung.kim}@sch.ac.kr

## Intelligent bridge expansion joint damage detection system

Bin Heo, So-Yeon Lee, MinSeung Kim, Yeseo Kim, Dae-Young Kim\*

Soonchunhyang Univ.

### 요약

교량의 신축이음장치는 온도와 하중 등 여러 가지 요인들에 의해 지속해서 손상이 발생한다. 신축이음의 손상을 미리 탐지하지 못했을 경우 교량의 구조적 손상과 신축이음 돌출로 인한 차량파손 및 교통사고가 발생하게 될 수도 있다. 현재 신축이음 장치 점검은 반기에 1회로 점검 주기가 짧지 않아 손상을 제때 찾아내기가 어렵다. 해당 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 차량이 교량의 신축이음 위를 지나갈 때 발생하는 소음 데이터를 활용해 지능형 교량 신축이음 손상 탐지 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 교량에 설치된 사운드 센서를 통해 수집되는 소음 데이터에 CNN 모델을 적용하여 신축이음의 손상을 실시간으로 탐지할 수 있다. 이를 통해 신축이음의 손상이 야기할 수 있는 차량파손 및 교통사고를 예방할 수 있다.

### I. 서론

교량의 신축이음장치는 교량의 온도변화와 교통 하중에 의해 발생하는 신축 거동을 흡수하여 구조물이 원활하게 거동할 수 있도록 하는 역할을 담당한다. 그러나 과도한 상부구조 신장으로 신축이음장치의 유간이 협착되면 교량의 구조적 손상과 신축이음 돌출이 야기된다. 이는 차량파손 및 교통사고로 이어진다[1]. 신축이음장치는 차량 하중이 직접 가해질 뿐만 아니라 노면 배수, 염화칼슘 등의 제설체에 노출된 환경에서도 손상될 수 있기 때문에 지속적인 유지관리가 필요하다[2]. 기존의 신축이음 정기안진점검은 반기에 1회로 점검 주기가 길어 신축이음의 손상을 사전에 찾아내기가 쉽지 않다[3]. 따라서 본 논문에서는 CNN 모델을 적용한 지능형 교량 신축이음 손상 탐지 시스템을 제안한다. 교량에서 차량이 신축이음 위를 지나갈 때 발생하는 소음 데이터의 특징 파악을 위해 MFCC 이미지로 변환한 뒤, CNN 모델에 입력하여 스펙트럼 특징을 학습하여 신축이음의 손상과 정상 상태를 실시간으로 탐지한다.

### II. 본론

#### 2-1. 학습 데이터 셋

모델 학습에 사용한 데이터는 기반시설 데이터레이크에서 제공하는 청담대교 신축이음부 손상과 정상에 대한 구간에서 차량이 신축이음 위를 지나갈 때 발생하는 소리 데이터를 사용하였다[4]. 모델의 높은 정확도를 위해 데이터 증강 기법을 사용하였으며, 이 과정에서 노이즈를 추가하고 음파의 위상을 반전시킨 데이터를 추가하여 데이터 셋을 구축하였다. 그 결과, 손상데이터 539개, 정상데이터 908개로 증강된 총 1,447개의 데이터가 모델에 입력된다. 음향 데이터를 이미지 기반 학습 모델인 CNN에 학습시키기 위해서 본 논문에서는 Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) 알고리즘을 적용하였다. MFCC 알고리즘은 오디오 신호를 프레임별로 나누고 Fast Fourier Transform (FFT)을 적용해서 구한 Spectrum에 Mel Filter Bank를 적용해 구한 Mel Spectrogram에 log 및 DCT 연산을 취하는 알고리즘으로 그림 1과 같이 변환된 MFCC 이미지를 시각화하여 최종 학습 데이터 셋을 구축하였다[5].

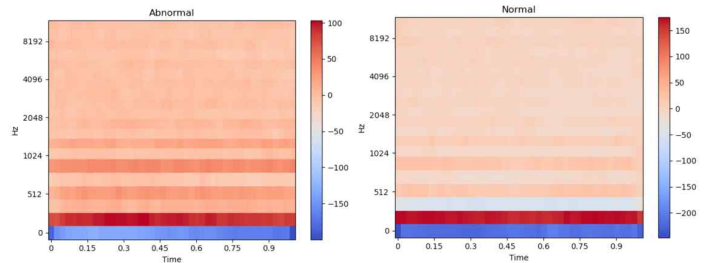


그림 1. 손상(Abnormal) / 정상(Normal) MFCC 이미지

#### 2-2. 시스템 구조

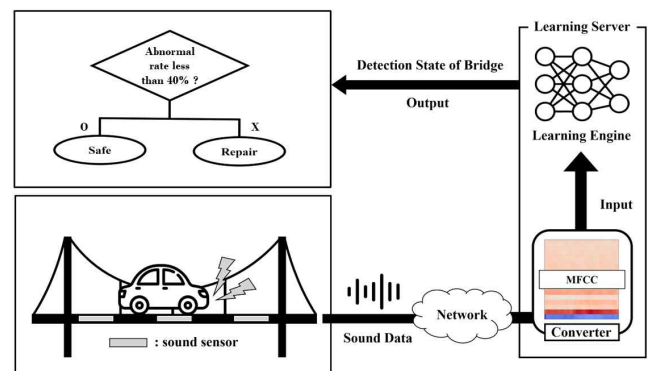


그림 2. 시스템 구조

본 논문에서는 그림 2와 같은 구조로 시스템을 설계했다. 교량 위 신축이음부에는 음향 데이터 수집을 위한 사운드 센서를 설치하여 차량이 지나갈 때마다 발생하는 소음 데이터를 수집하고 네트워크를 통해 학습 서버(Learning Server)로 전달된다. Learning Server에서 변환기를 통해 전달받은 음향 데이터를 MFCC 알고리즘을 적용한 뒤, 해당 결과를 이미지로 출력한다. 변환된 MFCC 이미지는 학습 엔진(Learning Engine)에 전달되고 사전에 학습된 CNN 모델을 통해 실시간으로 입력되는 신축이음

부의 손상 또는 정상을 판단한다. 1시간마다 모델의 출력 결과가 손상의 비율이 40% 미만일 경우, 신축이음 장치가 정상이라고 판단해 관리자에게 Safe 메시지를 보내고, 손상의 비율이 40% 이상일 경우에는 신축이음 장치가 손상되었다고 판단해 관리자에게 Repair 메시지를 보내 관리자가 손상된 신축이음 장치를 수리할 수 있도록 한다.

### 2-3. 모델 구조

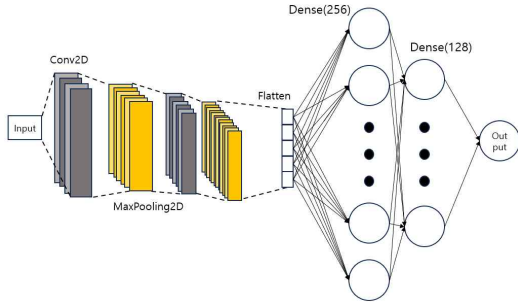


그림 3. 모델 구조

사용한 모델은 그림 3과 같이 Conv2D layer와 MaxPooling2D layer를 각각 2개씩 쌓고 Dense layer를 2개씩 쌓은 CNN 모델을 사용하였고 층 사이에 Dropout을 25% 사용해 모델이 과적합 되는 것을 방지하였다. 모델 학습 시, 출력층을 제외한 각 계층의 활성화 함수는 ReLU를 사용하였으며, 출력층의 활성화 함수는 이진 분류 모델 특성에 맞는 sigmoid를 사용하였다.

### 2-4. 학습 결과

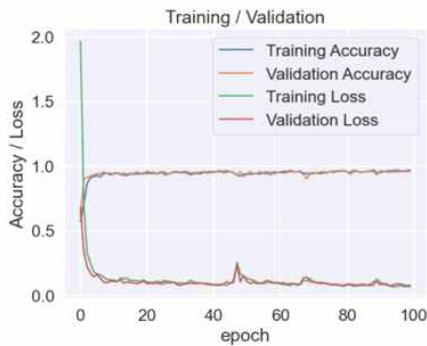


그림 4. Training / Validation 학습 그래프

그림 4는 총 1,447개의 데이터를 학습용으로 60%, 평가용으로 20%, 테스트용 20% 비율로 랜덤하게 나누어 CNN 모델에 입력하여 epoch = 100, batch\_size = 128로 학습을 진행한 결과 그래프이다. 학습 결과로 loss 약 0.7, 정확도 약 95% 성능을 보였다.

### 2-5. 테스트 결과

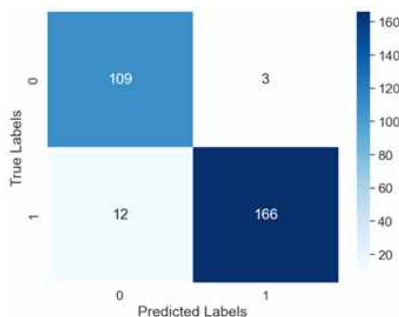


그림 5. 모델 예측 결과 손상(0) / 정상(1)

Confusion Matrix는 딥러닝 분야의 분류 모델에 대한 평가에 사용되고 있으며, 오류를 포함한 모든 경우의 수를 표현하는 딥러닝 모델의 성능평가 지표이다[6]. 그림 5는 학습 데이터 셋의 20%를 바탕으로 테스트한 Confusion Matrix 결과이다. 해당 결과에 따르면, 학습된 모델이 약 94%의 높은 정확도로 신축이음장치의 손상과 정상을 구분할 수 있었다.

### III. 결론

본 논문에서는 CNN 모델을 이용하여 차량이 신축이음 위를 지나갈 때 발생하는 소음을 통해 신축이음의 손상을 탐지하는 시스템을 제안하였다. 사운드 센서에서 수집된 데이터에 MFCC 알고리즘을 적용하여 이미지 데이터로 변환하였으며, 해당 이미지 데이터를 CNN 모델에 입력하였을 때 약 94%의 정확도를 가지는 분류 결과를 보여주었다. 해당 시스템은 차량이 지나갈 때마다 신축이음의 손상을 실시간으로 탐지하기 때문에 기존의 인력 위주의 점검 방식은 점검 주기가 길고 시간이 걸린다는 단점을 보완할 수 있으며, 관리자에게 즉각적인 수리 요청을 할 수 있어 신축이음이 손상되어 발생하는 이음부 돌출 현상을 사전에 예방이 가능할 것으로 보인다. 향후 다른 신축이음장치의 음향 데이터를 수집하고 수집한 데이터와 본 연구를 바탕으로 여러 종류의 신축이음장치에서도 손상을 탐지할 수 있으며, 현재 결과에서 더 높은 정확도를 가지는 시스템을 연구할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1C1C1013133).

### 참고 문헌

- [1] ByeongJu Lee, ChaeOon Im, JongKyu Ahn, ChangKeun Lee, "Evaluation of the Stability of Expansion Joint in the Seohae Bridge", KSCE 2019 CONVENTION, pp. 732-733, Oct. 2019.
- [2] Soung-Yon Kim, WeonCheol Lee, KyongSup Jung, JungHyun Yoon, "Application and Damage Patten of Bridge Expansion Joints". MAGAZINE AND JOURNAL OF KOREAN SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION, vol. 26, no. 4, pp. 7-14, 2014.
- [3] 서울시설공단 도로시설처, "교량 신축이음장치 유지관리 지침 (도로시설처-15405)", 2020, ([https://www.sisul.or.kr/open\\_content/main/bbs/bbsMsgFileDown.do?bcd=sanction&msg\\_seq=13096&fileno=1](https://www.sisul.or.kr/open_content/main/bbs/bbsMsgFileDown.do?bcd=sanction&msg_seq=13096&fileno=1)).
- [4] SOC Datalake, ([https://www.socdatalake.or.kr/sch/schPartMngDetail.do?data\\_sn=11](https://www.socdatalake.or.kr/sch/schPartMngDetail.do?data_sn=11)), last accessed 2024.01.04.
- [5] Yun-A Jung, Dong-Hoi Kim, "Performance analysis by kernel size and pooling layer in MFCC-based environmental sound classification CNN", Journal of Digital Contents Society, vol. 23, no. 5, pp. 913-920, 2022.
- [6] Yeonjun Cho, Eui-Chul Jung, "A Study on UX Design Possibilities Using Confusion Matrix for Trust Repair of Intelligent Cleaning Robots", KSDS Conference Proceeding, pp. 136-137, Nov. 2022.