

# 합성곱 신경망과 초음파 기반 상수도관 수질 및

## 부식 분석용 이중모드 진단 시스템

문소연<sup>1</sup>, 전현주<sup>2</sup>, 성영호<sup>1</sup>, 김민서<sup>3</sup>, 김대훈<sup>4</sup>, 최재엽<sup>5</sup>, 오정환<sup>6</sup>, 이오준<sup>7</sup>, 임해균<sup>6</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 스마트헬스케어학부 의공학전공 학부생

<sup>2</sup>차세대수치예보모델개발사업단 연구원

<sup>3</sup>가톨릭대학교 인공지능학과 학부생

<sup>4</sup>부경대학교 4차산업융합바이오닉스공학과 석사과정

<sup>5</sup>부경대학교 스마트헬스케어학부 의공학전공 박사후연구원

<sup>6</sup>부경대학교 스마트헬스케어학부 의공학전공 교수

<sup>7</sup>가톨릭대학교 인공지능학과 교수

ans7890@pukyong.ac.kr, hjjeon@kiaps.org, dudgh5426@pukyong.ac.kr, kms39273@catholic.ac.kr,  
eogns504@pukyong.ac.kr, jaeyeopchoi@pknu.ac.kr, jungoh@pknu.ac.kr, ojlee@catholic.ac.kr, hglim@pknu.ac.kr

## Dual-mode diagnosis system for water quality and corrosion in pipe using convolutional neural networks (CNN) and ultrasound

So Yeon Moon<sup>1</sup>, Hyeon-Ju Jeon<sup>2</sup>, Yeongho Sung<sup>1</sup>, Min-Seo Kim<sup>3</sup>, Daehun Kim<sup>4</sup>, Jaeyeop Choi<sup>1</sup>,  
Junghwan Oh<sup>1</sup>, O-Joun Lee<sup>3</sup>, Hae Gyun Lim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biomedical Engineering, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea

<sup>2</sup>Data Assimilation Group, Korea Institute of Atmospheric Prediction Systems, Seoul, Republic of  
Korea

<sup>3</sup>Dept. of Artificial Intelligence, The Catholic University, Bucheon, Republic of Korea

<sup>4</sup>Dept. of Industry 4.0 Convergence Bionics Engineering, Pukyong National University, Busan,  
Republic of Korea

### 요 약

상수도관의 수질 및 부식도 검사에는 파이프에 손상을 입히지 않고 지속적인 방법이 필요하다. 초음파는 이를 만족하면서 상태를 확인할 수 있고 주파수가 높을수록 해상도가 좋아져 정밀한 측정이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 특성을 이용해 상수도관 모니터링 시스템으로 초음파 기반의 Scanning Acoustic Microscopy(SAM)과 Convolutional Neural Network(CNN)을 사용하는 새로운 방법을 제안한다. 기존의 Non-Destructive Testing(NDT)방식의 단점을 보완하면서 더 높은 해상도로 상수도관을 점검하는 방식으로, SAM 을 이용하여 부식으로 인한 파이프 두께 변화와 부유물의 여부 및 수질을 동시에 감지하고 얻은 데이터를 CNN 으로 분석했다. CNN 의 높은 정확도 결과로 이 시스템의 파이프 부식도 및 수질 모니터링에 대한 적합성을 보여주었다.

### 1. 서론

이 때문에 시간이 지나면 부식이 진행되고 산화철 입  
상수도관은 주로 주철, 강철 등 금속으로 구성된다. 자가 식수로 흘러 들어오게 된다. 산화철 입자는 수

질을 저하시키며, 음용 시에 인체에 유해하다[1]. 따라서 상수도관 부식과 수질을 검사하기 위한 비파괴적이고 지속적인 방법이 필요하다. Non-Destructive Testing(NDT)는 대상에 손상을 주지 않고 결함을 찾는 비파괴 검사 기술로 광학, 초음파, 센서 등 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 특히 초음파에서는 대부분 배열형 초음파 트랜스듀서(array transducer)를 사용하고 있지만, 이는 고주파로 제작하기 힘들다. 반면 이번 실험에 사용된 SAM은 단일 초음파 트랜스듀서(single element transducer)를 사용하기 때문에 고주파로 제작하기 유리하고, 일정 범위를 스캔함으로써 한 번에 많은 양의 데이터를 얻을 수 있다.

이 연구에서 Scanning Acoustic Microscopy(SAM)의 장점을 활용하여 수질 검사와 파이프의 부식 모니터링을 동시에 진행하는 새로운 방법을 제시하였다. 수질 검사에 합성곱 신경망 즉 Convolutional Neural Network(CNN)을 이용했는데, CNN은 딥러닝 분야의 네트워크 중 하나로 주로 이미지 분류에 사용된다[2]. SAM으로 얻은 데이터를 CNN을 통해 분석함으로써 높은 정확도의 수질 예측 시스템 개발 가능성을 제시했다.

## 2. 실험 방법

산화철( $Fe_2O_3$ )농도는 국가수자원관리종합정보시스템의 호소수수질환경기준표에 따라 각각 1 mg/L, 5 mg/L, 15 mg/L으로 설정했고 더 많은 범위를 측정하기 위하여 농도를 20배 높인 20 mg/L, 100 mg/L, 300 mg/L까지 총 6가지 그룹으로 실험을 진행했다. 두께가 각각 0.93 mm, 0.73 mm, 0.55 mm, 0.43 mm의 파이프를 실험에 사용했고, Syringe pump를 이용해 용액이 식수와 비슷한 속도로 흐르게 설정한 상태에서 파이프를 스캔했다(그림 1). 파이프 두께 측정은 20 MHz의 초음파 트랜스듀서로 B-scan을 통해 분석했고, 파이프 안 산화철 농도는 5 MHz의 초음파 트랜스듀서로 측정한 뒤, A-scan의 데이터를 CNN으로 분류했다.

연구에 이용한 AlexNet은 총 8개의 레이어로 이루어진 심층 신경망 아키텍처로, 두 개의 Graphics Processing Unit(GPU)를 사용해 병렬 처리를 하여 빠른

학습이 가능하며 Rectified Linear Unit(ReLU) 활성화 함수를 통해 빠른 수렴과 그래디언트 소실 문제를 해결했다는 특징을 가지고 있다.

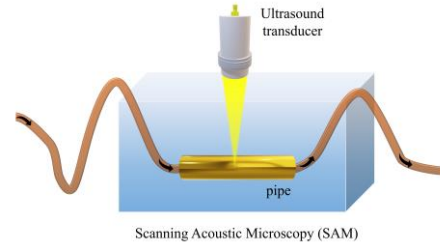


그림 1. 실험 세팅

## 3. 실험 결과

각각 정밀 측정자로 측정한 파이프의 실제 두께는 약 930  $\mu$ m, 730  $\mu$ m, 550  $\mu$ m, 430  $\mu$ m로, 초음파로 파이프를 스캔하여 929.2  $\mu$ m, 736.0  $\mu$ m, 542.8  $\mu$ m, 441.6  $\mu$ m로 측정되었다(그림 2). 실제 파이프 두께와 측정값의 차이는 0.8~11.6  $\mu$ m 정도로 근소한 차이를 보여준다.

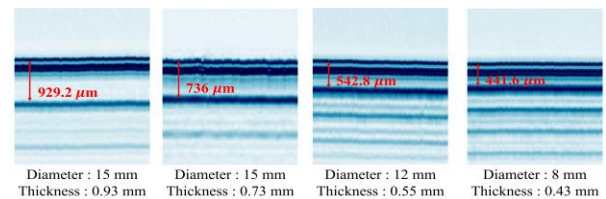


그림 2. 파이프 두께 B-scan 결과

초음파로 파이프 속 수질을 검사해 얻은 데이터를 CNN으로 분석한 결과 96%의 높은 정확도를 보여주었고 해당 모델의 loss function이 그림 3에 나와있다.

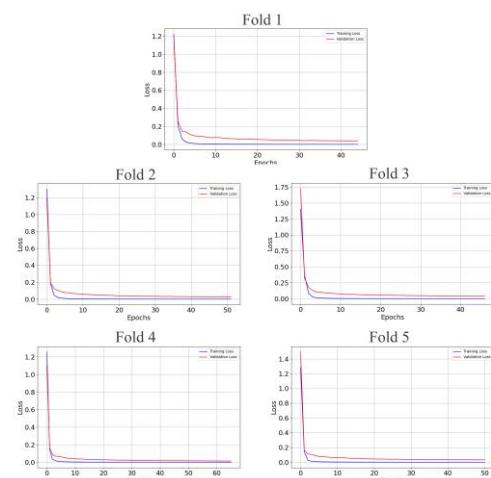


그림 3. 산화철 농도에 대한 CNN 분석 결과

## 4. 논의 및 결론

상수도관의 부식으로 인해 발생하는 산화철 부유물은 파이프 속 물을 오염시키지만 오염의 여부 및 수질 정도를 감지하는 기술은 그리 많지 않다.

따라서 SAM을 이용해 비파괴적이고 연속적으로 상수도관의 부식 정도와 산화철이 얼마나 물에 섞여 있는지 동시에 모니터링하는 새로운 시스템을 고안해냈다. 산화철 농도의 정량화는 CNN을 이용함으로써 수질 검사의 정확도를 높였다. 추가로 고주파로 제작이 용이한 단일 초음파 트랜스듀서를 사용하여 기존 방식에 비해 더 좋은 해상도로 파이프 내부를 확인할 수 있었다. 산화철 농도 정량화에 사용한 CNN은 overfitting을 방지하기 위해서 대량의 데이터가 필요하다. 실험에 사용한 SAM은 한 번에 많은 양의 초음파 신호를 얻어서 이미징하는 원리로 작동하며, 이를 이용해 CNN에 적용하기 위한 대량의 초음파 신호를 쉽고 빠르게 얻을 수 있었다. 이 연구를 통해서 SAM과 CNN을 결합한 시스템에 대한 성능과 장점을 입증하였고 추가적인 연구에서 활용 가능성을 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] P. Sarin, V. L. Snoeyink, J. Bebee, W. M. Kriven and J. A. Clement "Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes" Water Research 2001 Vol. 35 Issue 12 Pages 2961-2969
- [2] Z. Li, F. Liu, W. Yang, S. Peng and J. Zhou "A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects" IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 2022 Vol. 33 Issue 12 Pages 6999-7019