



열화상이미지와 딥 러닝을 활용한 자동 누수탐사기술 연구

최영환*, 조완섭**

Research of Automatic Water Leak Detection Technology Used on Thermography and Deep Learning

Young-Hwan Choi*, Wan-Sup Cho**

요 약

수도관의 누수탐사는 다양한 탐사장비의 개발 보급에도 불구하고 여전히 전문가의 개인역량에 의존하고 있는 실정이며, 전문가가 부족하여 누수탐사 성과도 부진하다. 최근 물 산업 전반에서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 상용화된 열화상 이미지와 지능정보기술을 결합하여 수도관의 누수를 쉽고 정확하게 진단하는 기술이 국내외에서 개발 중이다. 본 연구는 자동 누수탐사기술을 대상시설에 직접 적용하여 수도관의 유지보수 예산을 절감하고, 국내의 물 산업의 기술경쟁력을 확보하고자 하였다. 연구방법은 첫째, 누수 의심지역을 대상으로 열화상이미지를 취득하여 데이터를 구성하고, 둘째, 데이터 영상인식에 특화된 DCNN(Deep Convolution Neural Network) 기법을 통해 누수이미지와 비누수이미지를 반복하여 기계학습 함으로써 누수구간을 판별하며, 셋째, 수도관이 매설된 위치를 따라 이동하면서 온도변화가 심한 지점을 누수지점으로 최종 확정하는 것이다. 이런 과정에서 지중에 매설된 수도관에 누수가 발생하면 수돗물이 지면으로 전달되어 지면의 온도가 변화할 것이라는 가설과, 지면의 온도변화는 물의 흐름방향으로 확대되어 누수지점 확인이 가능할 것이라는 가설을 검증하였다. 열화상이미지를 활용한 자동누수탐사는 수도관의 기초정보와 운영정보를 추가로 활용하면 누수여부를 판별하는 정확도를 향상할 수 있다.

Abstract

The water leak detection of water pipes still depends on expert's personal abilities, despite the development and supply of diverse exploration equipment, the shortage of experts leads to poor performance of the water leak detection. So it is needed to develop of automatic leak detection techniques to minimize leakage. Recently, a technique which is to diagnose of leakage with easy and accuracy is being developed at domestic and abroad with combining commercial thermography and intelligent information technologies to solve these problems throughout the water industry. The objective of this study seeks to reduce the maintenance budget of water pipe and ensure the technical competitiveness of domestic and abroad at water industry through researching the automatic leak detection technique and apply it directly to the target facility. The methods of this study are three steps. Firstly, data are acquired by obtaining large amounts of thermography from suspected area of water leakage. Secondly, leakage areas are certificated using the deep convolution neural network(DCNN) which is specialized in image data recognition and machine learning leakage images and non-leakage images repeatedly. Finally, making a final confirmation the area which has severe temperature change is determined as a leak point by moving along the buried pipe area. This study verifies the hypothesis if water pipes have leakage, the ground temperature will change by transferring of leakage water and the ground temperature will be expanded to direction of water flow that it is possible to confirm the leak point. The automatic water leak detection using thermography data can improve the accuracy of determining leakage with the basic information of the water pipes and the operational information.

Keywords

thermography, water leak detection, deep learning, deep convolution neural network, smart water management

* 충북대학교 경영정보학과 박사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2429-5627>
** 충북대학교 경영정보학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4395-1979>

• Received: Jun. 20, 2018, Revised: Jul. 18, 2018, Accepted: Jul. 21, 2018
• Corresponding Author: Wan-Sup Cho
Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, Korea.
Tel.: +82-43-261-3258, Email: wscho@chungbuk.ac.kr

1. 연구배경 및 목적

수도관의 누수탐사는 다양한 탐사장비의 개발보급에도 불구하고 여전히 숙련된 전문가의 개인역량에 의존하고 있는 실정이며, 전문가 부족으로 누수탐사 성과도 부진하다. 누수는 수돗물공급자가 수돗물을 생산·공급하는 과정에서 지중으로 유출되어 요금회수가 안 되는 수돗물이며, 누수탐사는 이러한 수도관의 누수지점을 찾아내는 과정을 말한다.

누수탐사는 그림 1과 같이 단순 청음봉, 전자 청음봉, 전자식 탐지기, 원격 누수감지시스템이 있다 [1]. 누수탐사 장비는 누수의심 지역의 범위를 광범위하게 제시하게 되는데, 보다 정밀하고 자동화한 누수탐사 방법의 개발이 시급한 실정이다.

최근 물 산업에서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 상용화된 열화상이미지와 지능정보기술을 결합하여 수도관의 누수를 쉽게 탐사하는 기술이 국내외에서 개발 중이다[2].

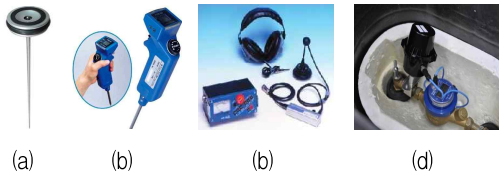


그림 1. 수도관의 누수탐사장비, (a) 단순 청음봉, (b) 전자 청음봉, (c) 전자식 탐지기, (d) 원격 누수감지시스템
Fig. 1. Water leak detection of water pipes, (a) Simple sound meter, (b) Electric sound meter, (c) Electric detector, (d) Remote leakage monitoring system

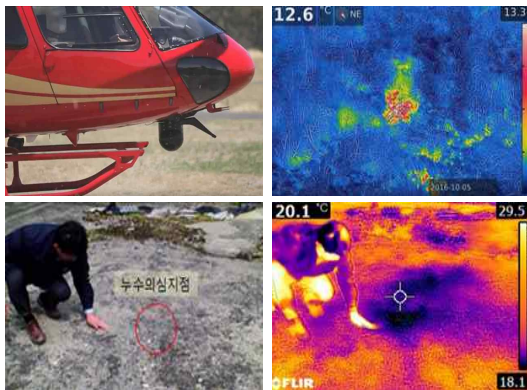


그림 2. 열화상카메라의 적용사례[2]
Fig. 2. Cases of thermography camera[2]

열화상이미지는 수도분야에서 그림 2와 같이 열화상 카메라를 헬기에 탑재하여 누수탐사에 적용하거나 탐사업체에서 가정 배관이나 옥실 누수를 찾는 용도로 활용하고 있다.

또한, 지능정보기술을 수도관의 누수탐사에 적용하고 있는데, 지능정보기술은 고차원적인 정보처리를 정보통신기술(ICT, Information Communication Technology)을 통해 구현하는 기술이며, 인공지능으로 구현되는 “지능”과 네트워크기술 기반의 “정보”가 결합된 형태를 말한다.

의료분야는 그림 3과 같이 엑스레이 영상을 활용한 결핵 판독, 단층촬영 이미지를 이용한 뇌졸중 진단 등 딥 러닝 기술을 적용하여 의사의 진단을 지원하고 있다. 해양분야는 권중만 등이 저고도 표면 수운을 열화상카메라로 측정하기 위한 자동 관측시스템 기초연구를 진행하여 적조 및 녹조, 양식어장 관리에 활용 중이다[3].

본 연구는 열화상이미지와 딥 러닝 기술을 활용한 자동 누수탐사기술을 개발하여 수도관의 유지보수 예산을 절감하고, 물 산업 기술경쟁력을 확보하고자 한다. 1장은 연구배경과 목적, 2장은 국내외 선행연구, 3장은 연구모형 및 가설이며, 4장에서 검증하고, 5장에서 결론과 발전방향을 도출하였다.

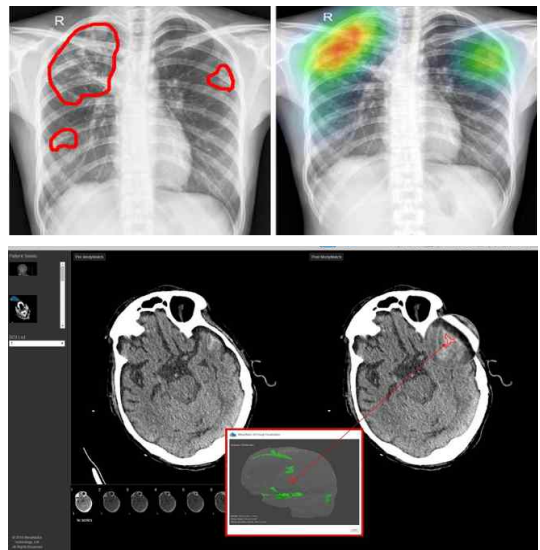


그림 3. X-ray 결핵판독(상)과 CT 뇌졸중 진단(하)[2]
Fig. 3. X-ray tuberculosis picture(up) and CT cerebral apoplexy picture(down)[2]

II. 이론적 배경 및 선행연구

2.1 캐나다

2010년 Mohamed Fahmy 등은 캐나다에서 수도관의 기존 누수탐사 방법에 대하여 한계를 극복하기 위해 열화상 카메라를 활용한 누수탐사 가능성을 조사하였다. 봄과 가을에 발생한 누수는 누수지점과 비누수지점 도로지면의 온도 차이를 탐지하여 누수 지점을 찾을 수 있는 가능성을 확인하였다[4].

2009년 Mohamed Fahmy 등은 그림 4와 같이 계절별로 수도관 온도, 주변온도, 도로노면 온도가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 조사하였다. 겨울에는 수도관 온도가 주변온도, 도로노면 온도보다 높은 것을 확인할 수 있는데, 이것은 계절적 영향으로 겨울에는 수도관 온도가 주변과 도로노면의 온도보다 뚜렷하게 높은 것을 알 수 있다. 봄과 여름의 경우는 주변온도와 도로노면 온도가 올라가서 세 종류의 온도가 동일한 수준으로 조사되어 온도차를 활용하기가 쉽지 않음을 알 수 있었다[5]. 가을에는 다시 추워지면서 수도관 온도가 주변온도, 도로노면 온도보다 높은 것을 확인할 수 있는데, 이때 온도차를 활용할 수 있음을 보여준다. 세 종류의 온도차만을 고려할 때, 봄과 여름을 제외한 겨울과 가을에 누수탐사가 가능한 것으로 보이지만 캐나다의 겨울은 눈이 많이 내려서 적용하기가 어려웠다[5].

또한, 누수지점과 비누수지점의 도로노면 온도차를 활용한 누수탐사의 적용가능성 여부를 검증하기 위해서 현장에서 전문가가 단순 청음봉을 이용하여 직접 누수여부를 확인하는 작업도 진행되었다 [5]. 열화상 이미지를 활용한 누수탐사 방법과 전문가의 단순 청음봉을 활용한 누수탐사 방법을 통해 확인한 누수탐사 지점을 그림 5와 같이 비교하였으며, 누수지점의 오차는 1.01~2.30m로 비교적 정확한 것으로 조사되었다[5].

2.2 영국

2015년 Bubaker Shakmak 등은 영국에서 비교적 건조한 지역의 누수탐사를 위해 고해상도와 저해상도 적외선시스템의 적용가능성을 실험하였다. 실험

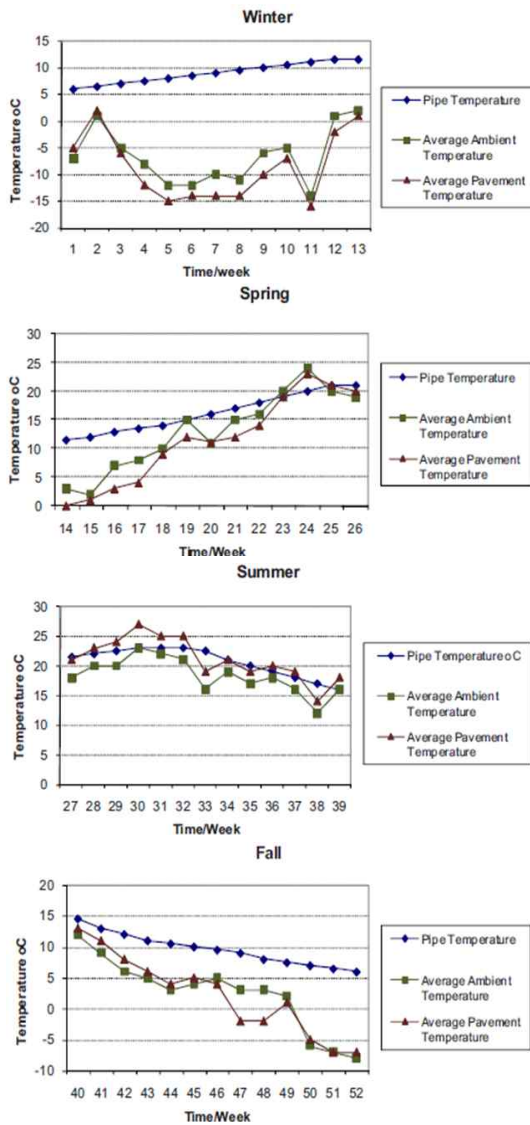


그림 4. 계절별 수도관/주변/노면의 온도변화 비교[4]
 Fig. 4. Comparison between temp in four season[4]

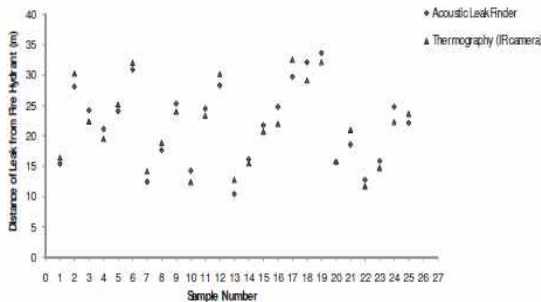


그림 5. 열화상이미지와 청음봉을 이용한 누수지점[5]
 Fig. 5. Leak location using thermography and acoustic detection[5]

4 열화상이미지와 딥 러닝을 활용한 자동 누수탐사기술 연구

은 리비아의 “The Great Man-Made River Project”에서 누수를 모의하기 위해 노면의 온도변화를 감지하여 누수를 탐지하였다. 실험조건은 그림 6과 같이 11cm 깊이의 지면에 직경 20mm 관로를 통해 지속적으로 물을 흘려보내면서 누수가 없을 때와 있을 때의 고·저해상도 촬영이미지를 비교하였다[6].

그림 7은 누수가 없는 관로를 고·저해상도 열화상 카메라로 촬영한 이미지이다. 세로의 가운데 파란색 선이 물이 흐르는 관이며, 주변보다 온도가 낮음을 알 수 있다[6]. 3개 지점(A, B, C)의 횡단면 온도를 분석했을 때 지점별 온도가 유사하여 누수는 없는 것으로 조사되었다[6].

그림 8은 누수가 발생한 관로를 고·저해상도 열화상 카메라로 촬영한 이미지이다. 누수가 발생했을 경우 횡단면 온도가 전체적으로 상승(고해상도 22℃→30℃)하였으며, 누수지점의 노면온도가 다른 지점보다 낮음(고해상도 30℃→27℃)을 알 수 있다[6]. 그리고 저해상도와 고해상도 이미지를 동시에 관찰하였으나 동일한 실험결과를 보여서 해상도에 관계없이 열화상이미지를 활용한 누수탐사가 가능함을 검증하였다[6]. 고해상도 카메라를 활용할 경우 헬륨 풍선, 드론을 이용하여 높은 고도에서 원거리 누수탐사도 가능한 것으로 연구되었다.

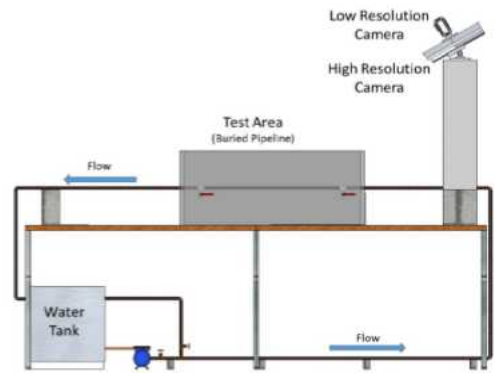


그림 6. 고·저해상도 카메라를 이용한 누수실험[6]
Fig. 6. The experimental test with the high and low-resolution cameras[6]

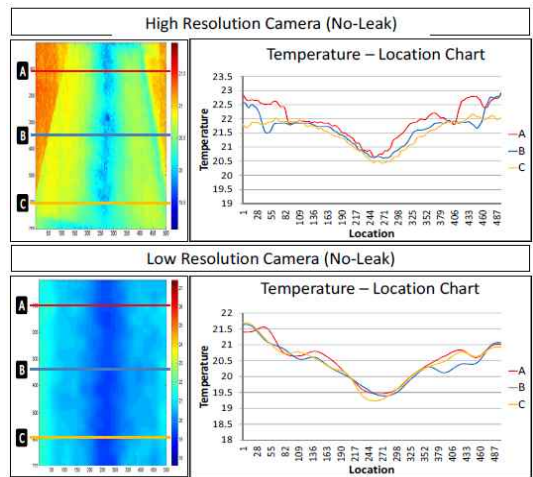


그림 7. 두 종류의 카메라를 이용한 비누수 현황[6]
Fig. 7. Water no-leak condition for both camera[6]

2.3 한국

2016년 한국전자통신연구원은 딥 러닝 기반의 화재영상 인식기술을 개발하여 무인기에 탑재하였고, 국지적 재난감시 및 위기상황 대응을 위한 스마트아이(Smart Eye) 사업을 진행하였다[7].

한국전자통신연구원이 제시한 연구모형은 그림 9와 같으며, 원시 데이터(Raw Data)를 정제(Cleaned)하고 범위설정(Scaled)하여 학습용(Training) 데이터와 검증용(Validation) 데이터로 분류한다[7]. 학습용 데이터를 활용하여 1차 모델(Model Creation)을 만들고, 튜닝과정을 반복하여 검증용 데이터를 만족하면 최종 모델(Final Model)을 확정한다[7]. 이렇게 확정된 최종 모델에 새로운 데이터를 입력(Incoming)하면 학습된 결과에 따라 원하는 성과를 도출하며, 이 최종 모델도 지속적으로 학습을 반복하여 업데이트하게 된다[7].

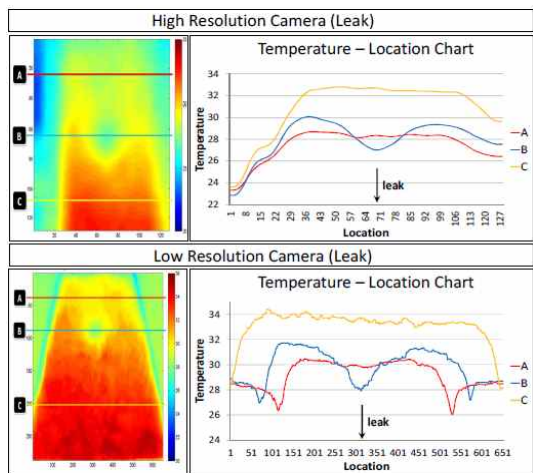


그림 8. 두 종류의 카메라를 이용한 누수 현황[6]
Fig. 8 Water leak condition for both camera[6]

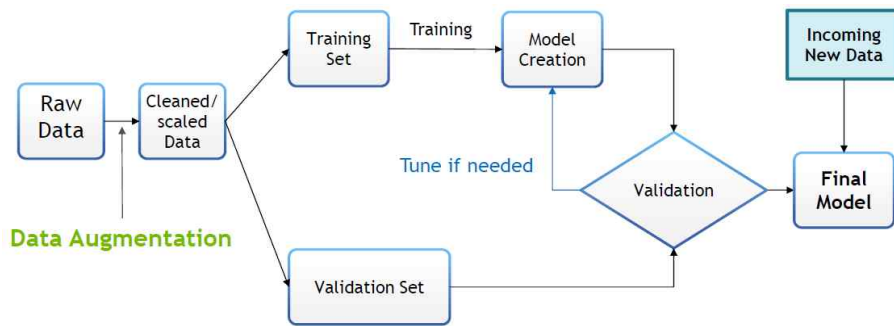


그림 9. 한국전자통신연구원의 연구모형[7]
Fig. 9. Supervised learning workflow[7]

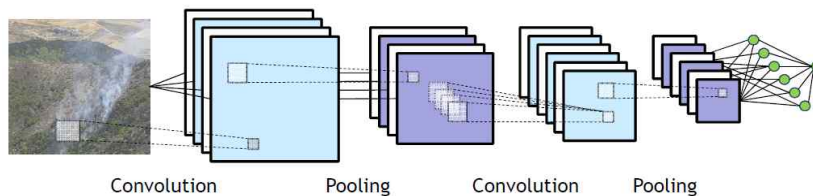


그림 10. 조합신경망[7]
Fig. 10. Convolution neural network[7]

이미지 데이터를 분류하기 위한 딥 러닝 기법은 조합신경망(CNN, Convolution Neural Network)을 이용하였으며, 그림 10과 같이 여러 이미지를 형상화하여 조합(Convolution)하고, 데이터의 크기를 축소(Pooling)하는 과정을 2회 반복하여 최적의 알고리즘을 생성하게 된다.

무인기에서 취득한 화재영상 이미지와 지상에서 취득한 기후, 기상, 계절 데이터를 딥 러닝 기반의 실시간 처리·분석을 통해 재난을 감지·예측하고, 통합정보시스템과 연동하여 재난상황 대응을 지원함으로써 대국민 재난정보 서비스를 향상할 수 있게 되었다[7].

Mohamed Fahmy 등은 다양한 계절의 환경에서 열화상이미지를 이용한 누수탐사 가능성을 연구하였고, Bubaker Shakmak 등은 고·저해상도 카메라를 활용하여 지면의 온도변화를 통해 누수의 진행방향을 검증하였다. 이것은 열화상이미지와 노면 온도변화를 활용하여 누수탐사가 가능한지에 대한 연구이고, 사용 중인 수도관에 직접 적용한 사례는 없다.

한국전자통신연구원은 화재영상과 조합신경망을 활용한 영상인식시스템 기술을 개발하여 화재여부를 자동으로 판별하게 되었는데, 누수탐지 열화상이

미지를 확보한다면 자동 누수탐사 기술의 개발도 가능해 보인다.

본 연구에서는 국외의 열화상이미지를 활용한 노면 누수탐사 연구와 국내의 조합신경망을 활용한 영상인식시스템 연구를 기반으로 열화상이미지와 딥 러닝을 활용한 자동 누수탐사기술을 연구하였다.

III. 연구모형 및 가설설정

3.1 연구모형

본 연구는 열화상이미지와 지능정보기술을 결합하여 지중에 매설되어 있는 수도관의 누수를 탐사하는 기술을 개발하기 위하여 그림 11과 같은 연구모형을 설계하였다.

연구모형은 첫째, 누수가 의심되는 지역을 대상으로 열화상이미지를 취득하여 데이터를 구성하고, 열화상이미지는 기계학습을 위해서 누수 이미지와 비누수 이미지를 적정한 비율로 확보하여야 한다. 이때, 지중의 수도관에 대한 구경, 종류, 매설년도, 매설깊이, 도로 포장형태, 과거 사고이력, 평균수압 등의 누수와 관련된 정보를 동시에 입력한다.

둘째, 열화상이미지 데이터를 영상인식에 특화된 DCNN(Deep Convolution Neural Network) 기법을 활용하여 누수이미지와 비누수 이미지를 반복하여 기계학습하고, 누수지점의 열화상이미지 특징을 추출하여 누수구간을 확정한다. 열화상이미지 데이터를 전처리하고 변환, 저장하는 기술은 특징을 추출하는 신경망과 영상을 분류하는 신경망으로 구성하였다.

셋째, 확정된 누수구간을 대상으로 수도관이 매설된 위치를 따라 이동하면서 도로노면 열화상이미지를 추가적으로 반복수집하여 판단모델에 입력하면 온도변화가 심한 지점의 열화상이미지가 최종 누수지점으로 선정된다[8].

넷째, 누수탐지 판단모델을 통해 누수로 판단되는 의심지역은 현장에서 굴착작업을 통해서 최종적으로 누수여부를 확정하고, 판단모델의 정확성을 검증하고 오류를 보완한다[9].

딥 러닝 기반의 지능정보기술은 한국전자통신연구원의 CNN 모델을 응용하여 조합신경망을 적용하였다. 연구모형을 통해 우선 실험실에서 물 이동 변화를 모의 실험하여 가설을 검증하였고, 한국수자원공사에서 운영 중인 청주정수장 2단계의 원수계통 수도관에 현장 적용하여 실증적으로 검증하였다.

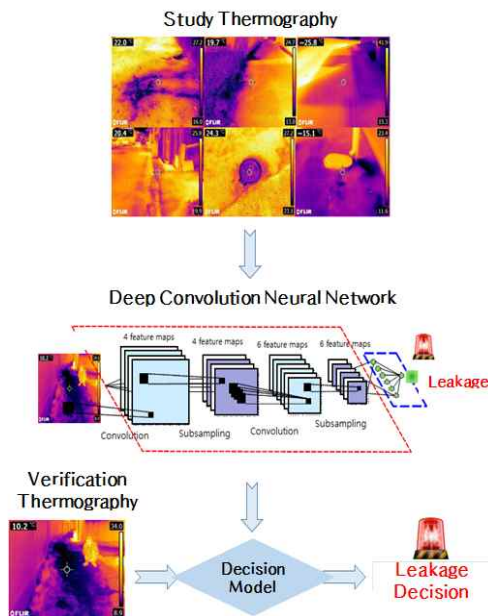


그림 11. 누수탐지 연구모형
Fig. 11. Study model of water leak detection

3.2 가설설정

그림 12, 13에서 계절별로 수돗물의 수온과 지면·지중 온도 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다. 만약, 수도관에 누수가 발생한다면 수돗물의 수온이 지중에서 지면으로 전달되어 누수가 없는 지점의 지면과 다른 온도분포를 보일 것이며, 누수에 따른 지면의 온도변화는 시간이 지남에 따라 물의 흐름 방향으로 확산될 것으로 예상된다.

지중에 매설되어 있는 수도관에 누수가 없을 경우 4-8월은 지면 온도가 지중 온도보다 높게 나타나며, 지중에서 누수가 발생할 경우 새는 물이 지표면으로 전달되어 지면의 온도는 하강할 것이다. 이때 지면을 촬영한 열화상이미지를 활용하여 누수여부를 자동으로 판별할 수 있게 된다.

연구모형과 수돗물의 계절별 온도변화를 기초로 두 가지 가설을 설정하였다.

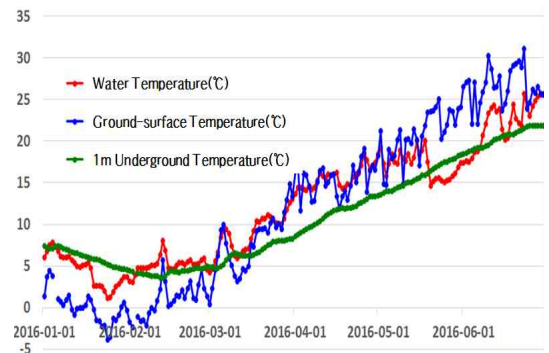


그림 12. 2016년 1~6월 온도변화(°C)
Fig. 12. Temperature change of 1~6 months in 2016(°C)

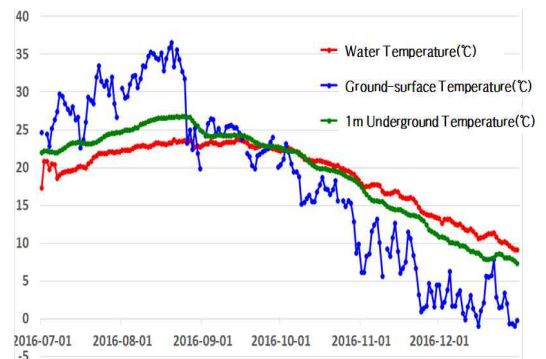


그림 13. 2016년 7~12월 온도변화(°C)
Fig. 13. Temperature change of 7~12 months in 2016(°C)

가설1은 지중에 매설된 수도관에 누수가 발생하면 수돗물이 도로표면으로 흡수되어 도로표면의 온도가 변화하는가에 대한 가설이고, 가설2는 도로표면의 온도변화는 물의 흐름방향으로 확산되어 누수 지점의 정확한 확인이 가능한가에 대한 가설이다.

[가설1] 수도관 누수가 발생하면 수돗물이 도로표면으로 전달되어 도로표면 온도가 변화할 것이다.

[가설2] 누수가 발생하는 지점의 도로표면 온도변화는 물의 흐름방향으로 확산될 것이다.

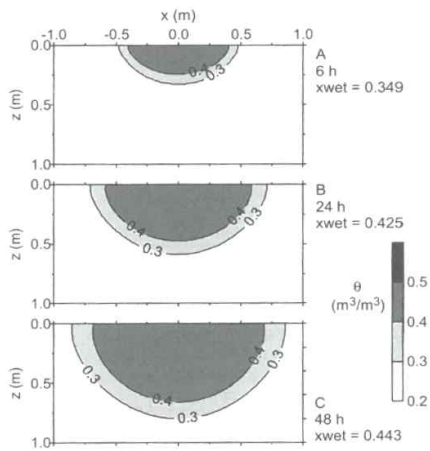


그림 14. 도로표면의 물 이동 변화
Fig. 14. Water moving change of ground surface

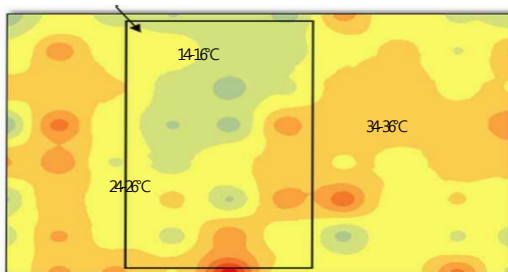


그림 15. 도로표면의 온도 변화
Fig. 15. Temperature change of ground surface

IV. 연구성과 및 발전방향

4.1 가설검증

수도관의 누수 시 지중의 물 이동 변화를 모의하기 위하여 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 압력으로 $4\ell/\text{h}$ 의 수돗물을 주입했을 때, 시간경과에 따라 지중으로 점차 확대되는 그림 14와 같은 결과를 얻었다. 지중 수도관의 누수 발생 시 수돗물이 도로표면으로 전달되고, 온도가 변화되어 가설1은 유효한 것으로 채택하였다.

누수에 따른 도로표면의 온도변화를 모의하기 위하여 그림 15와 같이 실험하였고, 지하 1m 깊이의 누수 시 도로표면 온도를 관찰하면, 물의 흐름 방향으로 온도가 상승하는 것을 확인하였다. 누수는 누수지점에서 물의 흐름 방향으로 계속 확산되어 가설2는 유효한 것으로 채택하였다.

4.2 연구성과

연구모형 대상지역에서 수집된 열화상이미지를 활용한 조합신경망의 적용성과 누수판단 모델의 정확성을 검증하기 위해 연구를 수행하였으며, 열화상 이미지 중에서 누수가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우에 대해 기계학습 및 검증을 위해 자료를 표 1과 같이 분류하였다.

표 1. 열화상이미지 데이터

Table 1. Thermography data

Sortation	Water leak	Water no-leak	Rate
Training	60	20	72.7%
Validation	20	10	27.3%
Total	80	30	100%

열화상이미지는 누수인 경우 80장, 비누수인 경우 30장으로 모두 110장을 수집하였으며, DCNN 연구모형의 정확도를 향상하기 위하여 학습용 72.7% (학습 80, 전체 110), 검증용 27.3%(학습 30, 전체 110) 분류하였다.

DCNN 학습을 위해서 그림 16과 같은 열화상 이미지 전처리를 “RGB → Gray → BW” 단계로 수행하였다.

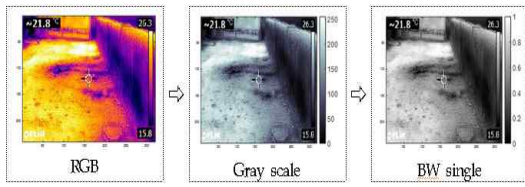


그림 16. 열화상이미지 전처리
Fig. 16. Pre-processing thermography

열화상이미지 데이터를 분석하기 위한 DCNN은 그림 17과 같이 구성하였다. 전단의 특징 추출 신경망의 구성에서 입력이미지는 크기가 28×28 픽셀인 흑백이미지로 입력노드를 784개로 구성하였다. 컨벌루션 계층(W_1)은 9×9크기의 컨벌루션 필터를 20개 포함한다.

컨벌루션 계층의 출력은 ReLu 함수를 통과해 출력되고, 그 다음에 풀링 계층을 통과한다. 이어서 영상 분류 신경망은 은닉층(W_5)과 출력층(W_0)으로 구성하였으며, 활성화함수로 ReLu를 사용하였다. DCNN 구조와 1,000회 반복학습을 통해 가중치 행렬을 아래와 같이 도출하였다.

$$W_1: 9 \times 9 \times 20, \quad W_5: 100 \times 361,920, \quad W_0: 2 \times 100 \text{ matrix}$$

학습 열화상이미지와 검증 열화상이미지는 모두 누수여부에 관한 정보를 가지고 있었고, 누수는 “1”, 비누수는 “0”으로 표시하였다. 학습 열화상이미지를 DCNN을 통하여 반복학습을 한 다음에 검증 열화상이미지를 판독한 결과, 정확도는 66.7%(누수 20개, 전체 30개) 수준으로 도출되었다.

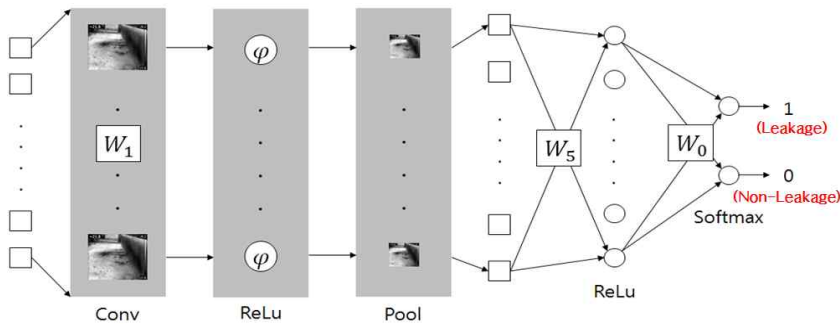


그림 17. DCNN 구조
Fig. 17. DCNN construction

V. 결론

기존에는 열화상이미지를 활용하여 수도관 누수를 확인할 수 있는지에 대한 연구가 다수였지만, 본 연구는 열화상이미지와 DCNN 알고리즘을 조합하여 자동으로 누수를 판별하고 현장에 직접 적용하여 정확도를 검증함으로써 그동안 전문가의 개인적인 역량에 의존하던 누수탐사 기술을 자동화하여 수도관의 유지보수 예산을 절감하게 되었다.

열화상이미지 데이터를 활용한 누수탐사는 누수 이미지와 비누수 이미지를 반복하여 기계학습 함으로써 여러 특징을 추출하고 최종적으로 누수여부를 판별하게 된다. 대부분의 수도관은 포장도로를 사용하는데, 본 실험에서는 도로통행의 편리성을 위하여 비포장도로를 사용하여 열화상이미지의 온도변화를 정확하게 측정하기는 어려웠다.

본 연구에서는 연구모형 적용을 위한 대상지역의 열화상이미지가 부족하여 빅 데이터를 활용한 딥러닝 기반의 모형분석이 어려웠다. 향후 K-겹 교차검증(K-Fold Cross Validation), SVM(Support Vector Machine), KNN(K-Nearest Neighbors) 등의 다른 기계학습 기법을 적용할 필요가 있으며, 보다 정확한 성능평가를 위해 정확도 이외에 Recall, Precision, F1-Score 등을 활용할 수도 있다. 최근 드론으로 촬영한 다량의 열화상이미지를 활용하여 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)과 연계하고, 실시간 누수지점을 시각화하여 사용자에게 제공하는 의사결정시스템으로 발전되고 있다.

References

- [1] Gwang-Suk Oh, "Water leakage detection remote system of Water pipe", 2010.
- [2] Ministry of Science and ICT, "Long-term Master plan of Intelligent Information Society", Sep. 2016.
- [3] Jong-Man Kwon, Chul-Hui Kwown, and Sung-Hyun Park, "Development of Automatic Observation System for Low Altitude Surface Water Temperature Monitoring", Journal of KIIT, Vol. 10, No. 9, pp. 215-220, Sep. 2012.
- [4] Mohamed Fahmy and Osama Moselhi, "Automated Detection and Location of Leaks in Water Mains Using Infrared Photography", J. Perform Constr. Facil, Vol. 24, No. 3, pp. 242-248, May 2010.
- [5] Mohamed Fahmy and Osama Moselhi, "Detecting and locating leaks in Underground Water Mains Using Thermography", ISARC, Vol. 26, pp. 61-67, Jan. 2009.
- [6] Bubaker Shakmak and Amin Al-Habaibeh, "Detection of Water Leakage in Buried Pipes Using Infrared Technology", 2015 IEEE Jordan Conference on AECT, pp. 1-7, Nov. 2015.
- [7] Won-Jae Shin, Eun-Jeong Kwon, Kyeong-Seop Cho, Hyun-Woo Lee, and Yong-Tae Lee, "Implementation of Unmanned Aerial Vehicle Sensor-based Smart Eye Technology for Local Forest Fire Monitoring and Situational Response", ETRI, Vol. 23, No. 1, pp. 704-705, Sep. 2016.
- [8] Athos Agapiou, Dimitrios D. Alexakis, Kyriacos Themistocleous, Apostolos Sarris, Skevi Perdikou, Chris Clayton, and Diofantos G. Hadjimitsis, "Investigation of Ground Remote Sensing Techniques for Supporting an Early Warning Water-Leakage System", INTECH, pp. 13-36, Nov. 2014.
- [9] Ji-Hun Ha, Yong-Hee Lee, and Yong-Hyuk Kim, "Forecasting the Precipitation of the Next day using Deep learning", JKISS, Vol. 26, No. 2, pp. 93-98, Apr. 2016.

저자소개

최 영 환 (Young-Hwan Choi)



1993년 2월 : 경상대학교
전자공학과(공학사)
2006년 2월 : 충남대학교
전자정보통신공학과(공학석사)
2017년 1월 ~ 현재 : K-water
낙동강경영처 지역사업부장
관심분야 : 빅데이터, IoT, ERP,
빅데이터 거버넌스, 비즈니스 인텔리전스

조 완 섭 (Wan-Sup Cho)



1997년 ~ 현재 : 충북대학교
경영정보학과 교수
2012년 ~ 현재 : 충북대학교
대학원 비즈니스데이터융합학과
학과장
2015년 3월 ~ 현재 : 미래부
정부정보화사업 전문위원
관심분야 : 빅데이터, 빅데이터 거버넌스, 비즈니스
인텔리전스, 데이터베이스, ERP, 바이오 인포매틱스