

공동구의 스마트 운영을 위한 결로 예방 방법 연구

김봉완, 김광수
한국전자통신연구원

kimbw@etri.re.kr, enoch@etri.re.kr

A Study on the Condensation Prevention Methods for Smart Operation in Utility Tunnels

Bong Wan Kim and Kwang Soo Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문은 공동구의 운영자들이 관리상의 어려움으로 지적하는, 공동구 벽체의 결로 현상을 예방하는 방법에 대한 연구를 기술하고 있다. 공동구는 주로 지하에 위치하고 있으며, 지하공간의 특성상 습도가 높아, 벽체에 결로 현상이 발생하기 쉬운 구조를 갖고 있다. 이에 본 논문에서는 공동구 내부의 결로 현상의 특징을 분석하고, 기존보다 정확히 결로 현상을 예측하고, 이를 방지할 가능성을 높이는 방법을 제시하고자 한다.

I. 서 론

본 논문에서는 공동구의 스마트 운영을 위해, 공동구 벽체에서 발생하는 결로 현상을 예방하는 방법에 대한 연구를 진행한다. 공동구는 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물로 정의할 수 있다.

저자를 비롯한 공동구 활성화를 위한 연구를 진행 중인 연구진은, 수 차례에 걸쳐 국내 공동구를 운영 중인 운영진들과 면담을 통해, 공동구 관리에 있어서 공동구 벽체의 결로 문제가 관리 및 해결하기 힘든 문제로 지적되고 있으며, 해결 방안에 대한 요청을 받고 있다.

주로 지하에 위치하는 공동구는 지하 공간의 특성상 지상의 온도 변화에는 둔감한 작은 온도 변화를 보이나, 지상에 비해 높은 습도를 갖는 특징을 갖는다. 이러한 이유로 결로가 발생하는 다양한 조건이 만족되는 상황이 발생하고 있다.

본 논문에서는 공동구에서 결로 현상을 조기에 예측하고, 이를 효과적으로 예방할 수 있는 방법을 연구하고, 이를 제시하고자 한다.

II. 본론

결로는 물체의 표면 온도가 주변 공기의 이슬점 온도보다 같거나 낮아질 때, 물체 표면에 물방울이 맺히는 현상이다. 다음의 식으로 표현될 수 있다 [1].

$$T_{\text{dew}} \geq T_{\text{surface}} \quad (1)$$

문제는 이 조건식의 두 온도 값을 알아내는 것이 쉽지 않다는 점이다. 이슬점 온도는 기본적으로 대기 온도와 습도의 함수이다. 여기에는 풍속도 영향을 미친다. 공동구는 지하의 밀폐 시설이라 주기적으로 관리자의 안전을 위해 환기를 실시한다. 따라서 이슬점 온도를 정확히 분석하기 위해서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 분석이 필요하다 [2]. 공동구 벽체 표면 온도도 벽체의 재질과 위치 등 여러 변수가 관여되어, 정확한 예측에 어려움이 있다. 현실적으로 결로가 예상하는 모든 지점에서 CFD 분석을 실시하기 어렵다는 점을 감안하여, 본 논문에서는 비교적 간단한 구조의 하드웨어 구성과 소프트웨어로 공동구 결로를 예방하는 방법을 연구해 보고자 한다.

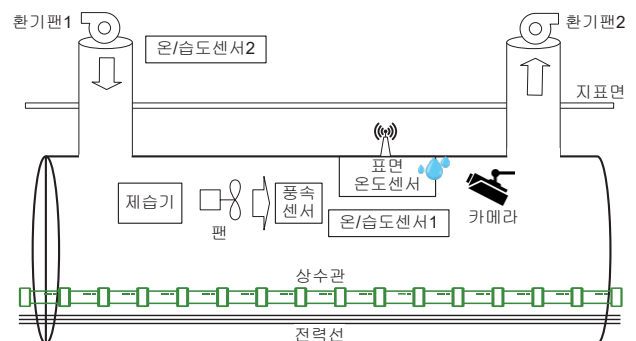


그림 1. 공동구 결로 예방을 위한 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 제시하는 공동구에서의 결로 예방을 위한 시스템 구성을 보여주고 있다. 공동구는 그림과 같이, 지하의 콘크리트 구조물 안에 상수관, 전력선 등이 공동으로 수용되고 있으며, 공기질 유지를

위해 대형 환기 팬과 같은 환기 시설을 갖추고 있다. 공동구 관리를 위한 여러 환경 센서들도 갖추고 있는데, 그림은 이러한 기존의 환경 센서나 감시 카메라를 활용하거나 혹은 추가하여 결로를 예방하기 위한 시스템 구성을 보여주고 있다. 기존에 환경 센서가 잘 갖추어져 있다면, 제습기와 추가 팬, 그리고 약간의 센서 정도만의 추가 구성으로, 본 논문의 결로 예방 시스템을 갖추 수 있다. 본 구성의 제습기는 결로 지점 보다 습도가 낮은 외기의 순환이나 비슷한 효과를 볼 수 있는 장치로 대체될 수 있다.

공동구 결로 예방 절차 흐름도

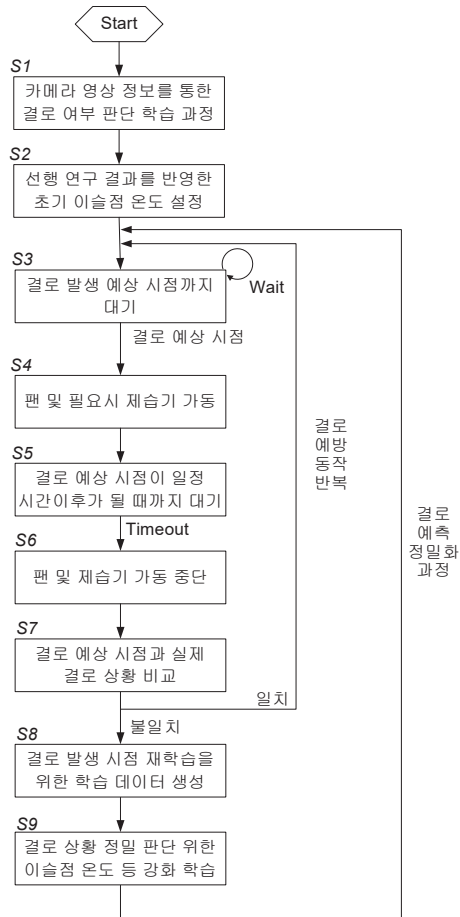


그림 2. 공동구 결로 예방을 위한 절차 흐름도

그림 2 는 본 연구에세 제시하는 공동구에서의 결로 예방을 위한 절차 흐름의 예시를 보여주고 있다. 공동구의 천정과 벽면의 결로 존재 여부에 대한 영상 이미지 파일을 통해, 선행적으로 카메라를 통한 결로 여부를 판단할 수 있는, 영상 기반 인공지능 학습을 수행한다 (S1). 기존의 다른 공동구나, 설치될 공동구 위치의 여러 사진 자료, 그리고 표면 물기에 대한 이전의 수많은 사진 자료들을 활용하면, 영상 학습이 가능하다. 본 연구 이전에 이러한, 영상 학습은 많은 연구가 되어 왔으므로, 본 논문에서는 상세한 설명은 생략한다.

이전의 연구를 통한 이슬점 온도에 대한 기존의 수학적 모델을 적용한, 초기 이슬점 온도를 설정한다 (S2). 이후의 절차는 결로를 예방하기 위한 장치들의 구동을 제어하는 부분과, 이슬점 온도 등 결로 발생 시점을 정확히 예측하기 위한 강화 학습 등을 실시하는 부분으로 구성된다.

결로 예상 지점 근처의 대기 온도와 습도 등 이슬점 온도에 영향을 주는 환경 값들의 변동 및 결로 예상 지점의 표면 온도를 계속 모니터링하며, 초기에는 표면 온도가 이슬점 온도보다 같거나 낮아지려고 할 때까지 대기하고, 후술할 결로 발생 시점에 대한 학습이 진행된 이후에는 학습된 결로 발생 예상 직전 혹은 일정 시간 전 시점까지 대기한다 (S3).

결로 예상 시점이 되면, 팬들을 가동하여 공기의 순환을 만든다 (S4). 만일 공동구 외부의 습도가 공동구 내부의 습도보다 높다면, 제습기를 가동하여 습도를 낮춰서 결로 예상 지점에 공급한다 (S4). 이를 통해 이슬점 온도를 낮춰서, 결로 예상 시점을 늦추게 된다. 이슬점 온도가 표면 온도에 비해 충분히 낮아져, 예상 결로 시점이 일정 기준 시간 이상으로 길어지면, 팬과 제습기 가동을 중단한다 (S5). 팬이 멈추고 공기 흐름이 안정적인 된 상태에서 카메라를 통해 결로 여부를 확인하며, 실제 결로 여부가 기존의 학습된 이슬점 온도 등 결로 예상 시점 예측과 일치하면 S3 단계로 돌아가고, 아니면 다음 단계로 진행한다 (S8). 현재의 결로 예상 지점 근처의 표면 온도, 대기 온/습도, 풍향, 그리고 외부 온/습도, 풍속 등을 입력값으로 이슬점 온도 및 결로 예상 시점에 대한 학습 자료를 추가하여 강화 학습 등 인공지능 재학습을 통해, 이슬점 온도 및 결로 예상 시점 예측을 정교하게 한다 (S9). 재학습 과정을 수행 후에, S3 단계로 돌아가 반복적인 결로 예방 절차를 수행한다.

III. 결론

본 논문에서는 공동구 운영의 어려움으로 지적되는 공동구 천정 및 벽체 표면의 결로 현상을 예방하기 위한, 인공지능 학습을 활용한 결로 예상 시점 예측 방법과, 결로 예방을 위한 시스템 및 절차 방법을 제시하고 있다.

본 논문이 제시한 방법을 통해, 공동구 내의 결로 취약 지점에서 발생하는 결로 현상을 줄일 수 있게 되어, 공동구 표면에서의 결로에 의한 각종 장비의 고장을 줄이고, 각종 장비 및 시설물의 사용 내구 연한도 늘릴 수 있게 되어, 공동구 운용 비용의 줄일 수 있게 된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2023-00245334).

참 고 문 헌

- [1] 최상일, 김정훈, 공석민, 변요셉, 이성원. "공동구 내 결로 예방을 위한 경고 알고리즘 및 모니터링 시스템 개발," 한국터널지하공간학회 논문집, pp. 551-561, 2024 년 9 월.
- [2] 김민성, "지하공동구 현장실측과 시뮬레이션을 이용한 결로방지에 관한 연구," 가천대학교 일반대학원 석사 학위논문, 2015 년 2 월.
- [3] 성남철, 김지현, 윤동원, "시뮬레이션을 통한 지하공동구의 결로 판별에 관한 연구," 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 2014 년 10 월.