

## 화학물질 누출 조기감지 기술 개발

김재호 전무 \_ 삼성물산 ENG 센터



화학물질을 사용하는 산업현장에서의 산성 및 염기성 물질 누출 사고는 단 한번의 사고로도 대형 인적·물적 피해가 발생할 수 있어 화학물질 취급 시설의 안전에 대한 사회적 관심이 증가하고 있으며, 또한 화학물질관리법 대응을 위한 유해물질 취급·관리 및 작업자 안전 확보 기술이 요구되고 있다. 제조시설 관련 사업장은 다양한 화학 약품을 취급하고, 이 중 상당 부분이 화재 위험 및 인체 유해성 물질에 해당하여 누출 사고의 발생은 작업자 위험, 고가의 설비 피해로 이어질 수 있다.

기존 특수 설비 배관의 누액 감지는 [그림 1]에 나타난 바와 같이 누출 리스크가 높은 밸브, 플랜지 등 이음 부위에 감응형 테이프를 부착하는 방법과 배관 누출액이 바닥에 설치한 감지선(케이블)에 접촉되었을 때 발생하는 전기신호 알람을 통해 인지하는 방법이 있다. 감지선 방법은 누출 발생 후 누출액이 감지선에 도달하는 데까지 시간이 소요되어 해당 시간 동안 위험 물질에 작업자가 노출될 위험성이 있으며 사각지역의 확인은 불가능하다. 감응형 테이프는 내구연한이 짧아 수시로 교체해야 하고, 감지선 방법은 부착면에 따라 감지불량이 잦은 것으로 알려져 있다.



(a) 누출 감지 테이프 (출처: ㈜씨티에이)

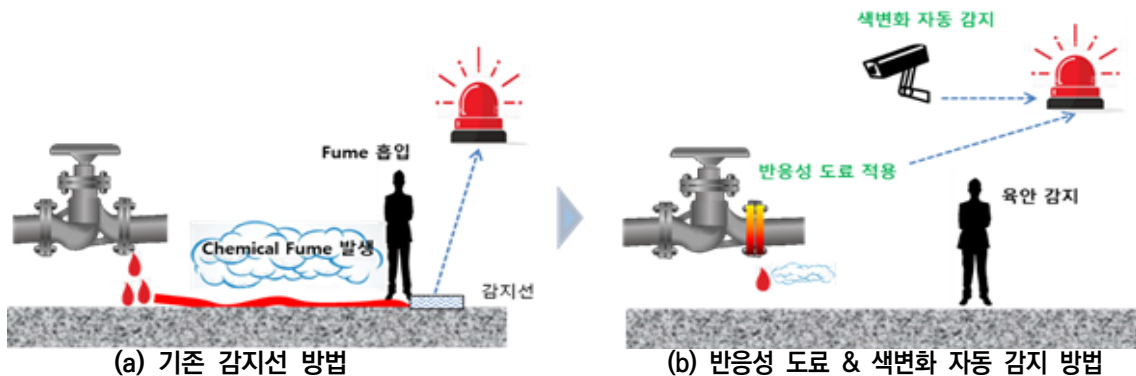


(b) 누출 감지선 (출처: ㈜유민에스티)

### [그림 1] 기존 누출 감지 방법

본 기술에서는 사고 감지 시간 지연, 사각지역 발생, 센싱 오류 등의 기존 감지 공법의 한계를 극복하기 위해 누출 상황을 육안으로 즉시 인지할 수 있는 「반응성 도료」와 실시간으로 누출 상황을 자동 감지할 수 있는 「색변화 자동 감지 카메라 시스템」을 확보하였다. 각각의 시스템에 대한 대표적인 특징은 다음과 같으며, [그림 2]는 시스템의 개요도이다.

1. 반응성 도료: 도장 표면에 산성 및 염기성 물질 접촉 시 즉각적인 색변화가 일어나 작업자 및 관리자가 화학물질 누출 상황을 육안으로도 확인 가능하며 도료 타입으로 적용하고자 하는 대상의 형태에 크게 영향을 받지 않음
2. 색변화 자동 감지 카메라: 반응성 도료와 결합하여 화학물질 누출로 인한 도료의 색변화를 자동 감지하여 즉각적인 상황 조치가 가능하며 적절한 카메라 배치를 통해 사각지역 없이 작업장 감시가 가능함



### [그림 2] 기술 개요도

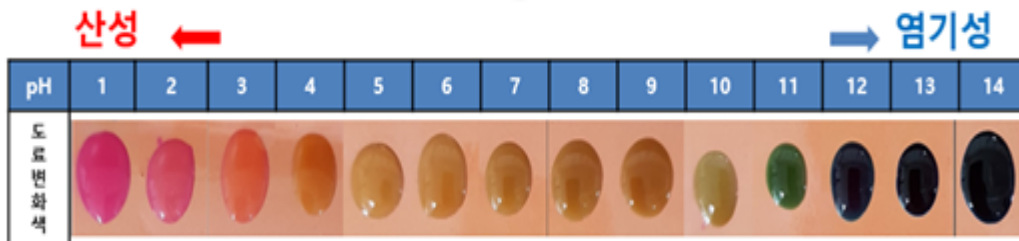
현재 용액 산도에 따라 색이 변하도록 설계된 상용 도료가 일부 시판되고 있는데 이는 리트머스 시험지와 같이 도료 표면에 액체가 접촉되면 화학 반응에 의해 표면 색상이 변화하는 방식이다. 기존 상용 제품은 산성 또는 염기성 전용 반응성 도료로 개발되어 범용성이 낮으며, 고가의 안료 기반 제품이라는 한계가 존재한다. 기존 상용 제품과 달리, 본 기술은 강산성에서 강염기성까지 pH 전체 범위에서 반응하도록 설계된 경제적인 염료 기반 도료첨가제라는 것이 특징이다. [그림 3]은 개발된 도료의 표면에서 수초 내에 용액과 반응함으로써 색상이 전개되는 실시 예를 보여준다. 색 변화는 산 계열 용액에서 적색으로, 염기 계열 용액에서 청색으로 변화되도록 설계되었다.



(a) 수성 도료



(b) 우레탄 도료



(c) 에나멜 도료

[그림 3] 반응성 도료의 색변화 예

색변화 감지 카메라 시스템에는 기존 감지선 공법에 포함된 사용자 자동 알림 기능을 구현하기 위한 색변화 인지 기능이 포함되었다. 즉, 누출 상황을 설치된 카메라가 365일/24시간 감시하여 누출을 감지하며 담당자에게 알람을 주고, 긴급배기 자동 작동, 관련 밸브 자동 잠김 등의 기능을 수행할 수 있다. 기존의 영상 정보는 단순한 2차원 색 분류에 의한 색 표현으로 구성되어 색을 인식하였으나

조도, 채도 등 정확한 색을 분류하기 위해 3차원 색좌표에 표현하는 방식을 사용하였다. 또한 작업자의 의류 및 안전모의 색상으로 인한 감지 오류를 방지하기 위해 A.I 딥러닝에 기반한 영상 인식 기술이 사용되었다. 딥러닝 영상 분석 기술과 3차원 색좌표 알고리즘을 융합한 영상 분석으로 정확한 색변화 인지를 통해 소량의 화학물질 누출에 의한 감응형 도료의 색변화로 정확히 인식할 수 있다.

지능형 카메라 사용으로 CCTV 본래의 기능과 누출 감지를 동시에 수행 가능하며, 카메라 자체 영상 처리(분석 모듈 탑재)로 현장 설치가 간편하다는 장점을 갖고 있다.



[그림 4] 색변화 자동 감지 순서

요약하면 본 기술은 산성 및 염기성 물질에 색변화를 일으키는 반응성 도료와 딥러닝에 기반한 색 변화 감지 카메라 시스템으로 구성되어 화학 기술과 광학 기술이 융복합 된 기술이다. 화학물질을 사용하는 산업현장의 작업장 안전 개선을 통해 누출 사고 발생에 의한 인명 사고를 예방하여 국민의 건강과 안전을 확보하고, 기존 해외 제품 대비 고성능 및 저비용 화학 물질 사용 관리 기술로 산업 전반으로 확대가 가능할 것으로 기대된다. 또한 지속적인 연구 개발을 통해 카메라를 설치가 어려운 곳은 전도성 나노 입자를 통한 전기신호 발생 누출 감지 도료, 산성/염기성 물질외에 LNG 누출 감지 도료 개발로 기술 확대를 추진 중이다.