

인공지능 융합 유해화학물질 탐지 기법 및 성능평가

조숙경, 김희훈, 백성하*, 박봉섭**, 김경배***

(주)바이브, *인하공업전문대학, **소방청, ***서원대학교

{skcho, mdouble}@vaiv.kr, *bshzeratul@gmail.com, **leeraksa@korea.kr, ***gbkim@seowon.ac.kr

Artificial Intelligence Convergence Hazardous Chemicals Detection Techniques and Performance Evaluation

Cho Sook Kyoung, Kim Hee Hoon, Baek Seong Ha*, Park Bong Seop**, Kim Gyoung Bae***

Vaiv Co.,Ltd., *Inha Technical College, **National Fire Agency, ***Seowon Univ.

요약

본 논문은 10종의 유해화학물질을 판독하기 위해 영상 데이터를 인공지능 학습을 통해 물질 종류를 검출하는 방법과 인공지능 모델의 성능을 평가한다. 유해화학물질 판독 방법은 이미지 인식에 좋은 성능을 보이는 CNN 계열 모델로 학습을 한 후 유해화학물질 특성에 맞는 알고리즘을 적용하고, 이미지 Threshold, 영상 Threshold, 인식 판정 Threshold로 물질 종류를 판독하도록 한다. 또한, 제안한 인공지능 모델의 성능을 평가하여 Top1, Top3 목표인 40%, 50% 이상을 달성하였음을 보였다.

I. 서론

국내 화학산업의 규모가 늘어나고, 많은 종류의 상업용 화학물질이 유통됨에 따라 화학적 요인의 사고 및 화재 건수가 증가하고 있는 추세이다[1, 2]. 국내 화학사고의 인적/물질 피해를 줄이고자 소방청에서는 부처 합동 전국 7개 화학센터 운영 중이지만 화학사고 전문가 부족 및 대응 시스템의 기능 미비로 즉각적이고 신속한 대처가 어려운 상황이다[3, 4]. 이를 해결하기 위해 소방청은 인공지능 기술과 소방 데이터 기반의 유해화학물질 판독 시스템을 구축 중이다[3].

인공지능 기술을 활용한 유해화학물질 판독 시스템에서는 누출/화재/폭발 같은 상황에서 사고 현장 촬영 영상을 받아 원인 물질이 무엇인지 알려주는 기능이 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 원거리에서 촬영한 영상을 입력으로 받아 누출/화재 물질 종류를 탐지하는 방법과 판독을 위한 인공지능 모델의 성능을 평가한다. 제안 방법에서 사용될 인공지능 기술 분야는 시각 지능이며, 입력된 영상에서 객체를 인식 후 판독 시스템에서 탐지 물질을 10초 내에 전송 완료함을 목표로 한다. 이를 위해 물질 10종을 학습시키고, 검증 데이터에서 임의로 영상을 추출 후 학습된 인공지능 모델에 적용하여 Top1, Top3 정확도와 응답 시간을 측정한다.

II. 본론

2.1 유해화학물질 판독을 위한 인공지능 모델[5]

유해화학물질은 액체, 고체, 기체 상태로 한가지 상태로 존재할 수 있고 공기 중에 노출된 경우 다른 형태로 변환할 수도 있다. 고체/액체/기체 상태의 유해화학물질 사고시 특유의 색상을 가지고 액체/기체 누출, 고체/액체/기체 연소 등이 발생한다. 이 때 나타나는 색상이 다양하며 혼합물이 될 경우 고유 색상이 아닌 다른 색상으로 기체/액체를 누출 할 수 있다. 이러한 특성을 반영하여 물질 판독을 위한 인공지능 학습에 사용할 물질 10 종류의 특성은 다음 표 1과 같다.

유해화학물질 판독을 위한 인공지능 모델은 각 물질의 시각적 특징을 고려해 볼 때 머신 러닝 기법 중 CNN이 적합하며, CNN은 입력되는 영상의 품질, 크기, 양과 분류하고자 하는 대상의 규모에 따라 AlexNet,

Inception, VGGNet 등 실체화된 다양한 모델이 존재한다[6, 7].

표 1] 물질 10 종류의 특징

	학습 대상	상태
물질01	노란색 연기	기체 누출
물질02	주황색 연기	기체 누출
물질03	주황색 연기	기체 누출
물질04	흰색 연기	기체 누출
물질05	주황 불꽃/검은 연기	액체 연소
물질06	주황 불꽃/검은 연기	액체 연소
물질07	노란색 불꽃	고체 연소
물질08	초록색 불꽃	고체 연소
물질09	보라색 불꽃	고체 연소
물질10	투명과 흰색이 섞인 용액	액체 누출

본 논문에서 사용된 영상은 FHD 급 이하의 컬러 이미지를 사용해야 하고, 인식 대상 레이블의 종류는 10개이므로 해당 조건에서 좋은 성능을 보인다고 입증된 AlexNet 급과 Yolo v5를 적용하여 학습을 진행하면서 최적 모델을 개발하였다. 개발된 모델은 10종류의 물질 특성으로 인해 불꽃과 연기 인식에서 이미지 프레임 1장으로는 물질 판독이 어렵다. 불꽃 인식의 경우 기본적으로 연주황의 색상을 모든 물질에서 포함하고 있으므로 프레임 단위로 보면 연소 물질 모두를 동일한 물질로 판독한다. 그러므로, 연소의 경우 물질 양, 불꽃 온도, 다른 물질과 혼합되어 연소될 때 각 물질의 특징을 추출할 수 있는 형태의 인식 모델이 필요하다. 연기 인식은 물질에 따라 색상 차이가 크지 않은 경우가 있어 색상 뿐만 아니라 색상의 세부 차이나 각 프레임 간 변화를 물질 판독 요소로 사용해야 한다. 이와 같이 불꽃/연기 인식 특성으로 유해화학물질의 이미지 프레임 1장으로는 분류가 어렵기 때문에 동영상 내의 연속적인 이미지를 모두 사용한다. 동영상 내의 연속적인 이미지를 사용한 유해화학물질 판독 방법은 이미지의 인식 평균으로 물질을 결정하거나 차별성이 있는 이미지 중 가장 많이 발견된 물질로 결정하는 두 가지 알고리즘으로 구현한다. 동영상 단위 인식을 위한 파라미터 및 인식 기준을 결정할 때 이미지 프레임 처리 방법과 물질 판독 기준 알고리즘은 다음 표 2와 같다. 알고리즘에서 사용한 각 이미지 프레임의 신뢰도는 Yolo v5를 사용한 객체 탐지 알고리즘으로부터 추출한 영역의 물질이 무엇인가를 백분율로 표시한 수치값이다.

표 2] 유해화학물질 판독 알고리즘

입력 : 유해화학물질 누출/화재 동영상 mp4, 이미지 threshold T1 : 70%, 동영상 threshold T2 : 60%, 인식판정 threshold T3 : 80%
begin
1. 동영상을 이미지 프레임으로 분할
2. 유해화학물질 판독 AI 모델
2.1 각 이미지 프레임의 신뢰도 측정
2.2 이미지 threshold T1 이상의 신뢰도를 가진 이미지 추출
2.2.1 전체 이미지에서 추출된 이미지의 비율 r1 계산
2.2.2 계산된 r1이 동영상 threshold T2 이상이면 판독 가능 이미지로 결정, 아니면 판정 불가 결정 후 종료
2.2.3 판독 가능 이미지 중 특정 물질로 인식한 비율이 인식판정 threshold T3 이상이면 Top1 물질로 판정, 아니면 판정 불가 결정 후 종료
3. 종료
end

2.2 인공지능 모델 성능 평가

물질 인식을 위한 인공지능 모델을 평가하기 위해 정확도(accuracy)와 응답 시간을 성능평가 지표로 결정하였다. 정확도는 모델이 응답한 전체 응답 중에 올바르게 예측한 응답의 비율로 계산하는데, 평가 대상 데이터가 분류별로 균등에 가까울 때 적합한 지표이다. 정확도는 다음과 같이 산출한다.

$$Accuracy = \frac{\text{모델이 올바르게 예측한 응답의 수}}{\text{모델이 평가한 전체 응답의 갯수}} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

TP(True Positive) : 유해화학물질의 판독결과로 예측한 화학물질의 종류가 실제 화학물질의 종류와 일치함

TN(True Negative) : 유해화학물질의 판독결과가 정답과 다르다고 판단한 경우 실제 정답도 틀림

FP(False Positive) : 유해화학물질의 판독결과로 예측한 화학물질의 종류가 실제 화학물질의 종류와 다름

FN(False Negative) : 유해화학물질의 판독결과가 정답과 다르다고 판단했는데 실제로는 정답임

성능 평가를 위한 입력 데이터는 동영상 형식으로, 인식 대상은 액체, 연기, 불꽃이다. 영상의 시각적 다양성을 충족시키기 위해 영상의 크기, 각도, 거리, 영상 품질(FDH, HD, HD 이하), 이미지 크기(1920*1080 이하)를 변화시켜 입력하였다.

물질 인식의 성능은 영상에서 10종의 유해화학물질을 제대로 분류하는가를 평가한다. 사고 유형은 누출과 화재이며, 단일 유해화학물질이 포함되어있는 10초 이상/25fps 이상의 영상을 입력하고, 10종의 유해화학물질 종류 중 1개를 식별하여 0~9의 숫자 중 하나를 반환한다. 응답 시간은 영상 파일 재생 종료 후 10초 이내에 결과를 반환하는가를 측정하며, 정확도는 유해화학물질을 분류하는 Top1 Accuracy 40%, Top3 Accuracy 50%를 목표로 설정한다. 성능 평가를 위한 시스템 사양은 표 3과 같다.

표 3] 성능 평가를 위한 시스템 사양

종류	OS	CPU	메모리	Disk
판독 클라이언트	Windows 10 Pro	11thGen Intel(R) Core(TM) i7-11700@2.50Ghz	32GB	C:364GB D:931GB
판독 서버	Windows 11 Pro	11thGen Intel(R) Core(TM) i7-1195G7@2.90Ghz	16GB	C:230GB E:931GB

판독 성능은 1회 수행시 전체 검증용 동영상 중 임의의 100개를 선택하여 성능을 측정하였고 Top1, Top3 정확도는 총 10회 수행한 평균값으로 다음 표4와 같이 평균 46%, 66%, 평균소요시간은 3.21초의 결과를 얻었다.

표 4] 성능 평가 결과

측정 항목 회차	Top1 정확도(%)	Top3 정확도(%)	평균 소요 시간(초)
1	46	70	3.04
2	48	68	3.21
3	43	69	3.02
4	49	66	3.24
5	39	66	3.08
6	43	65	3.15
7	47	67	3.42
8	52	57	3.71
9	42	65	3.15
10	49	68	3.10
평균	46	66	3.21

III. 결 론

본 논문에서는 유해화학물질을 판독하기 위한 인공지능 학습 모델의 판독 알고리즘을 제안하고 성능을 평가하였다. 유해화학물질 판독을 위한 인공지능 모델은 유해화학물질의 사고 형태와 사고에 따라 나타나는 물질의 형태 및 색상에 따라 구분할 수 있음에 착안하여, 10종 물질의 연기 및 액체 누출, 고체 및 액체 연소 동영상을 학습하였다. 유해화학물질 판독 인공지능 모델은 동영상 내의 연속적인 이미지를 모두 판독하여 이미지 인식 평균을 사용하거나 차별성이 있는 이미지가 가장 많은 물질을 특정 유해화학물질로 결정하는 두 가지 방법을 이용하는 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘에 따른 학습 후 검증용 동영상으로 성능을 평가하여 Top1, Top3 각각 46%, 66%로 목표 성능인 40%, 50% 이상 달성하였으며, 평균 소요 시간 3.21초로 목표 10초 이하를 달성하였다. 향후 총 50종의 유해화학물질 판독을 목표로 설정하여, AI 융합 유해화학물질 판독 시스템을 개선해야 한다. 또한, 제안 모델이 색상이 뚜렷한 물질을 기준으로 학습되었기 때문에 coloeless 물질에 적용 가능한지에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부와 정보통신산업진흥원 주관으로 소방청 컨소시엄에서 수행하는 “AI융합 유해화학물질 판독시스템 사업”(2022~2024)의 지원을 받았다

참 고 문 헌

- [1] 화학물질안전원 (<https://nics.me.go.kr/>)
- [2] “한국 화학산업의 경제 및 사회적 영향 분석,” 최종보고서, 한국화학산업협회, Dec. 2020.
- [3] 김연진, 박봉섭, 김경배, “인공지능기술 기반의 유해화학물질 사고 대응에 관한 연구,” 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp.359-360, June, 2022.
- [4] 조철희, 이동원, 김홍필, “산성 화학물질 누출 시 향상된 염기중화제 선정에 관한 연구,” 한국위험물학회지, 8(1), pp.54-59, 2020.
- [5] 조숙경, 백성하, 박봉섭, 김경배, “인공지능기술을 활용한 유해화학물질 탐지 방법,” 한국통신학회 추계종합학술발표회, pp.264-265, Nov., 2022.
- [6] P. Lubin, et.al. “Advances in Deep Space Exploration via Simulators & Deep Learning,” <https://www.researchgate.net/publication/339199431>, pp.1-16, Feb. 2020.
- [7] <https://medium.com/coinmonks/paper-review-of-alexnet-caffenet-winner-in-ilsvrc-2012-image-classification-b93598314160>