

라이터 제조공정의 불량 검출 시스템

최성준*, 박상현*, 이강희*, 신연순*

*동국대학교 컴퓨터공학과

cydphj@dgu.ac.kr, powerful104@dgu.ac.kr, dlrkdgml1998@dgu.ac.kr, ysshin@dgu.edu

A Study on The Fault Detection System in Gas Lighter Manufacturing Process

Sung-June Choi*, Sang-Hyun Park*, Kang-Hee Lee*, Youn-Soon Shin

* Department of Computer Science and Engineering, Dongguk University

요 약

국내에서 유통되는 일회용 가스라이터 점유율의 약 절반은 국내 유일의 한 공장에서 생산하고 있다. 저렴한 외국산 가스라이터로부터 국내 사업을 보호하기 위해 품질 향상과 원가경쟁력 확보의 중요성이 매우 커진 것이 현실이다. 본 논문에서는 YOLOv4 머신러닝 객체인식 모델과 OpenCV 실시간 이미지 처리 오픈소스를 활용해 개발한 불량품 자동 검출 시스템을 제안한다. 대표적인 불량인 ‘액화가스 부피 불량품’을 검출하는 시스템을 개발하고 실험을 통해 그 정확성을 검증하였다. 제안한 시스템은 97%의 정확도로 상태를 분류하였으며, 이를 통해 100%의 불량을 검출할 수 있었다.

1. 서론

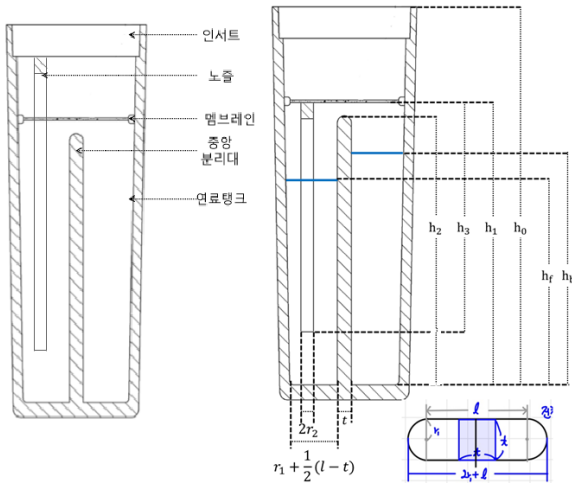
최근 정부 및 중소벤처기업부는 국내 중소기업 보호 및 매출-고용 증가율을 높이기 위해 ‘중소기업 스마트 팩토리 구축 지원 사업’을 추진하고 있다.[1] 국내 특화 사업을 보호하고 증진하려는 시도는 정부부처 뿐만 아니라 학교 및 기업에서도 다양한 방향으로 이뤄지고 있다. 본 연구진은 최근 공정의 스마트화를 추진하고 있는 국내 한 제조기업과의 협력을 통해 일회용 가스라이터 내부에 주입된 액화가스 부피에 대한 불량을 자동으로 검출하는 시스템을 1년 간 개발해 왔다.

국내에서 유통되는 일회용 가스라이터의 약 절반은 국내 유일의 이 생산 공장에서 제조되고 있다.[2] 해당 기업은 지금까지 제조 공정에 대한 원천기술을 통해 품질경영 및 원가경쟁력 확보 전략을 사용해왔지만, 저렴한 외국산 일회용 가스라이터와의 경쟁에서 점유율을 빼앗기고 있는 어려움을 겪고 있다. 이에 상품의 품질 향상과 생산력 증진을 통해 원가경쟁력을 높이고자 공정의 스마트 팩토리화를 결정했다. 종래의 공정에서는 액화가스 불량을 식별하기 위해 사람이 직접 4 회의 점화 테스트를 시행하고 있다. 점화 테스트는 내부 액화가스 부피가 정상 범위를 초과할 경우 불꽃의 높이가 기준보다 높아진다는 점을 이용해 CDS 조도 센서로 불량 여부를 판단하는 방법이다. 종래의 방법은 액화가스 부피를 정확히 측정할 수 없

고, 불량 판단의 정확도가 낮으며, 공정속도를 낮춰 생산량을 감소시키는 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 YOLOv4 머신러닝 객체 인식 모델과 OpenCV[3~7] 실시간 이미지 처리 오픈소스를 활용해 개발한 불량품 자동 검출 시스템을 제안하여 실제 공정에서 발생 가능한 가스 라이터 내부의 가스 주입 불량 상황을 검출한다. 제안한 시스템은 제조 공정에서 주입된 액화가스의 양을 초과, 정상, 미달, 극소의 4 가지 상태로 분류하며 실험을 통해 약 97%의 정확도를 보였다.

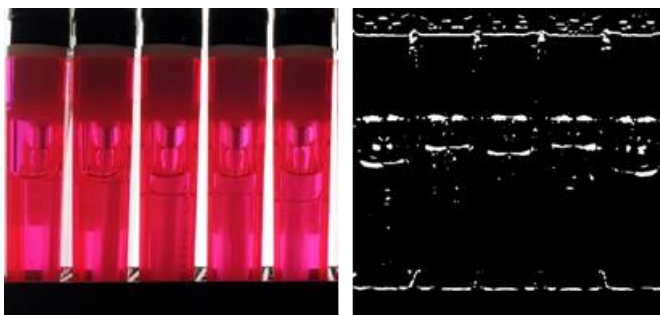
2. 불량품 판단 기준과 과정

본 시스템은 촬영한 이미지를 바탕으로 반투명 연료탱크 속 투명 액화가스의 부피를 간접적으로 계산하는 방법을 통해 불량 여부를 판단한다. 액화가스의 부피에 따라 초과, 정상, 미달, 그리고 가스량이 카메라에 인식되지 못할 만큼 극소량으로 들어있어 이를 인식하지 못하는 4 가지 경우의 상태가 나타날 수 있으며 이를 올바르게 판단하기 위해서는 간접적으로 측정된 부피에 대한 타당성과 설정한 정상 기준에 대한 타당성을 모두 확보해야 한다.



(그림 1) 연료탱크 구조 및 규격

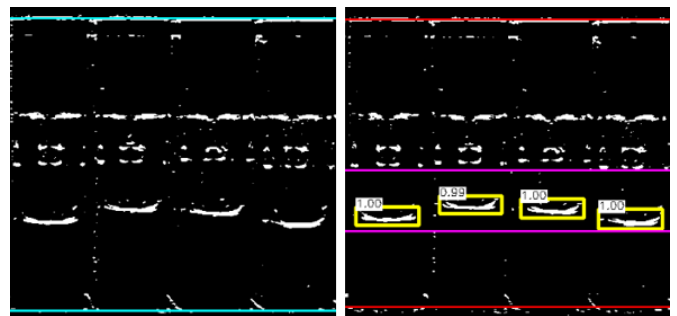
그림 1 은 가스라이터를 구성하는 연료 탱크의 구성을 보여주는 단면도 및 각 구성 소자의 길이를 미지수로 나타낸 것이다. 가스라이터의 연료탱크의 밀면은 직사각형의 긴 변의 길이가 l 이고, 짧은 변은 반지름이 r_1 인 원주 형태이고 옆면은 사다리꼴 형태다. 노즐이 있는 부분을 가스라이터의 앞면이라고 하고 반대면을 뒷면이라고 할 때, 연료탱크의 밀면으로부터 앞면에서 보이는 액화 가스 수면까지의 높이를 h_f , 뒷면에서 보이는 액화 가스 수면까지의 높이를 h_b , 상부에 형성된 개구를 밀폐시키는 인서트까지의 높이를 h_0 이라 하고, 상단 멤브레인까지의 높이를 h_1 , 연료탱크 중앙 분리대까지의 높이를 h_2 , 노즐의 밀면으로부터 멤브레인까지의 높이를 h_3 라고 가정한다. 이때 전체 용적은 V_{total} , 액화가스의 부피는 V_{calc} 라고 하자. 국가기술표준원의 기술표준원 고시 제 2010-530호 「안전인증대상공산품의 안전기준」에 의거, 액화가스의 부피는 전체 용적의 85% 이상을 초과하면 안되므로 $V_{calc} \leq 0.85 \times V_{total}$ 로 표현할 수 있다. h_f, h_b 를 제외한 모든 변수는 연료 탱크의 규격을 측정함으로써 상수로 정의할 수 있다. 또한, 가스라이터가 누워있는 공정이 있기 때문에 뒤쪽 액화가스 수면의 높이인 h_b 도 상수로 정의할 수 있다. 결과적으로 이미지에서 계산하는 앞쪽 액화가스의 높이 h_f 값을 통해 전체 액화가스 부피를 간접적으로 추론할 수 있다.



(그림 2) 라이터 액화가스 수면 측정 과정

반투명 플라스틱 연료탱크 내부의 투명한 액화가스의 부피를 영상으로 측정하기 위해서는 적절한 선택

조치가 필요하다. 우선 피사체인 가스라이터의 앞뒤에 LED 투광기를 설치해서 주변 환경적 요소에 프로그램의 정확도가 악영향을 받지 않도록 하고 투명한 액화가스의 수면을 도드라지게 만든다. 판단 속도와 정확도를 함께 높이기 위해 OpenCV의 흑백처리 및 'sobel' 윤곽선 추출 알고리즘을 적용해 액화가스의 수면을 뚜렷하게 만든다. 그림 2는 기존 라이터의 이미지를 앞서 말한 이미지 처리 과정을 거쳐 변환된 사진에서 액화가스의 수면을 라벨링 한 뒤 기계학습을 수행해 YOLOv4-tiny 객체 인식 모델을 생성한다. 일련의 과정을 통해 조도와 라이터 색상과 같은 주변 환경으로부터 영향을 받지 않은 채로 투명한 액화가스의 수면을 빠르게 인식하게 된다. 참고로 실험에 사용하는 라이터의 가스탱크는 빨강, 파랑, 노랑, 초록, 보라색의 5 가지 색상으로 제작되었다.



(그림 3) 라이터 액화가스 수면 판단 과정 및 결과

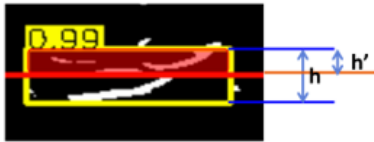
그림 3 은 상단 기준선과 하단 기준선 내부에 인식한 수면이 존재하는 지 판단하는 과정을 나타낸 그림이다. 인식한 수면이 정상 범위 내부에 있는지 판단하기 위해 인서트를 상단 기준선으로, 라이터 10 개가 담긴 플라스틱 트레이를 하단 기준선으로 설정한다. OpenCV의 허프 변환 알고리즘을 통해 상·하단 기준선의 좌표를 추출할 수 있는데, 해당 기준선들의 y 좌표 차이를 이용하여 검출 정상 범위를 판단한다.

<표 1> 라이터의 실제 규격과 설명

라이터의 높이:	60mm
트레이에 가려지는 높이:	22mm
상단 인서트의 두께:	2mm
멤브레인의 두께:	10mm
멤브레인-중앙 격벽 차이:	5mm
하단 정상 기준선:	33mm
상단 정상 기준선:	40mm
※ 미달 조건은 업체와의 협의 를 통해 용적의 60%가 되는 지 점으로 설정	

표 1 은 측정장비를 사용해 실측한 가스 라이터의 부품 별 길이를 수식에 대입해 정상 영역을 계산한 것이 이다. 뒤쪽 액화가스 수면이 가득 차 있으므로 앞쪽 수면은 지면으로부터 33mm에서 40mm 일 때 전

체 용적의 75%~85%이다. 따라서, 이미지 상에서 보이는 라이터 높이는 38mm 이며 정상영역의 하단 기준선은 높이의 11/38 인 지점, 상단 기준선은 18/38 인 지점이며 이는 그림 3 에서 분홍색 직선으로 표현돼 있다. 결과적으로 객체 인식 모델로 인식한 액화가스 수면의 y 좌표가 해당 영역내에 있다면 정상, 상단 기준선을 넘었다면 초과, 하단 기준선을 넘지 못한다면 미달로 판단한다.



오차 = h'/h
n번째 라이터에 대한 k장의 사진.
k개의 오차의 평균으로 판단함.

(그림 4) 판단 시 오차 계산 방법

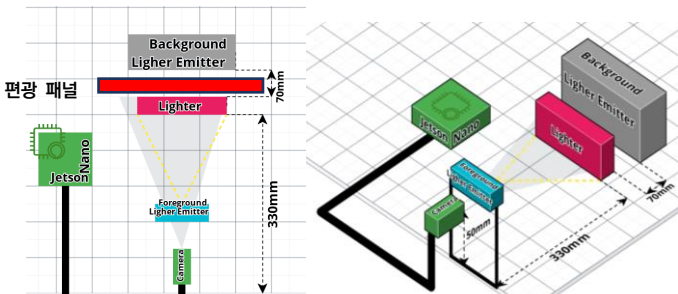
그림 4는 인식한 수면이 상단 기준선 또는 하단 기준선에 위치할 경우 불량 여부를 객관적으로 판단하기 위한 오차를 계산하는 방법을 설명한 것이다. 수면을 인식했을 때 생성되는 박스(Bounding box) 넘었을 때, 넘어간 높이 h' 과 박스 높이 h 의 비율을 오차라 명명한다. 따라서 n 번째 라이터에 대해 k 번 판단을 수행했을 때 오차의 평균치가 50%를 넘어갈 때 초과 또는 미달 불량품으로 판단한다.

3. 실험

3.1. 실험 목적

실제 공정에서 발생할 수 있는 가스탱크에 주입된 가스량 미달, 초과, 가스량이 극소량으로 주입되어 가스를 인식하지 못함, 정상 총 네 가지의 경우를 검출하는 정확도를 측정하여 본 논문에서 제안하는 시스템의 실용성을 확인하고자 한다.

3.2. 실험 환경



(그림 5) 실험환경 평면도 (그림 6) 실험환경 조감도

그림 5 와 6 은 실제 공정에 적용할 수 있는 거리에 카메라와 전면 투광기, 후면 투광기 및 편광 패널을 설치한 실험 환경을 보여주는 그림이다. 그림 6 과 같이 전면 투광기는 지면으로부터 50mm 떨어진 위치에

서 라이터 세트의 전면부를, 후면 투광기는 라이터 세트와 70mm 떨어진 위치에서 라이터 세트의 후면부를 비추도록 설치하였다. 후면 투광기와 라이터 세트 사이에 편광 패널을 사용하여 라이터 세트의 후면부에 빛이 고르게 비추지도록 하였다. 카메라와 라이터 세트 사이의 거리는 실제 공정에서 적용할 거리와 같은 330mm로 설정하였다. 아래의 표 2는 본 연구에서 실험에 사용한 하드웨어의 종류 및 소프트웨어 버전이다.

<표 2> 하드웨어 종류 및 소프트웨어 버전

하드웨어	
Nvidia Jetson NANO B01	
Raspberry Pi HQ Camera 12.3MP	
16mm Telephoto Lens for Raspberry Pi HQ Camera	
LED 투광기 50W	
소프트웨어	
Nvidia JetPack 4.5.0	
OpenCV 4.5.2	
Python 3.8.9	
YOLO v4	

3.3 실험 방법

총 10 개의 정상 범위 내의 라이터를 하나의 테스트 세트로 구성하고, 1 번부터 10 번까지의 라이터를 순차적으로 미달, 초과, 인식하지 못함, 정상의 경우를 가진 라이터로 교체하여 각각의 경우에 따라 30 회씩, 총 1200 회의 실험을 진행하였다.

3.4. 실험 결과

<표 3> 실험 결과

	미달		초과		극소량		정상	
	성공	실패	성공	실패	성공	실패	성공	실패
1번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
2번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
3번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
4번 자리	30	0	30	0	23	7	30	0
5번 자리	30	0	30	0	23	7	30	0
6번 자리	30	0	30	0	22	8	30	0
7번 자리	30	0	30	0	15	15	30	0
8번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
9번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
10번 자리	30	0	30	0	30	0	30	0
합계	300	0	300	0	263	37	300	0
인식 성공률	100%		100%		87.6%		100%	

표 3 은 총 1200 회의 실험에 따른 결과를 나타낸 것이다. 미달, 초과, 정상의 경우에는 모두 100%의 검출 정확도를 보였으며 가스량이 극소량으로 이를 인식하지 못함의 경우는 실험 300 회중 37 회의 오류가 발생하여 총 1200 회 중 37 회의 오류로 약 97%의 분류 정확도를 나타낸다. 가스량이 극소량 주입되어 인식하지 못하는 단일의 경우 불량 검출 정확도는 약 87.6%를 나타낸다. 37 회의 오류는 3, 4, 5, 6 번의 라이터에서 발생하였으며 이 경우 해당 불량을 가스량 초과로 인식하는 오류가 발생하였다. 이는 가스 라이터 내부의 멤브레인 및 중앙 분리대의 말단부를 가스 수면으로 인식하여 가스량이 초과된 것으로 판단한 것

이다. 하지만 해당 오류 또한 불량 라이터를 정상 라이터로 인식하는 것이 아닌, 불량 라이터로 인식하기 때문에 사실상 불량 검출에 대한 정확도는 100%라고 할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 YOLOv4 머신러닝 객체인식 모델과 OpenCV 실시간 이미지 처리 오픈소스를 활용해 일회용 가스라이터 제조공정에서 주입된 액화가스의 부피 불량품을 자동으로 검출하는 시스템을 제안했다. 실제 공정과 유사한 환경 조건에서의 테스트케이스에서 발생하는 초과, 미달, 가스량이 극소량으로 이를 인식하지 못하는 불량에 대해 높은 정확도로 판단하였다. 본 연구의 확장으로는 다음으로 빈번하게 발생하는 ‘바코드 스티커 부착 불량’에 대해 이미지 기반 해결 방안을 적용하고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음
(2016-0-00017)

참고문헌

- [1] 중소기업기술정보진흥원 부설 스마트제조혁신추진단 <https://www.smart-factory.kr/#>
- [2] 라이터 시장, '독주' 불티나 두고 BIC 맹추격 (edaily.co.kr)
- [3] 이세우, 파이썬으로 만드는 OpenCV 프로젝트, 인사이트, 2019
- [4] 정성환, 배종욱, OpenCV-Python으로 배우는 영상처리 및 응용, 생능출판사, 2020
- [5] [Install OpenCV 4.5 on Jetson Nano - Q-engineering \(qengineering.eu\)](http://qengineering.eu)
- [6] [OpenCV: OpenCV modules](https://github.com/opencv/opencv)
- [7] [opencv/test_cuda.py at 4.0.1 · opencv/opencv · GitHub](https://github.com/opencv/opencv/blob/master/test/test_cuda.py)