

# IoT와 딥러닝 영상분석을 이용한 스마트 안전모 서비스 연구

곽우찬<sup>1</sup>, 허지웅<sup>1</sup>, 김민정<sup>2</sup>, 심보경<sup>3</sup>, 김현<sup>4</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 <sup>2</sup>한남대학교

<sup>3</sup>용인대학교 <sup>4</sup>CJ대한통운

misba78@naver.com, bonawoo@naver.com

## A Study on Smart Safety Helmet Service Using IoT and Deep Learning Video Analysis

Woo-Chan Kwak<sup>1</sup>, Ji-Woong Hur<sup>1</sup>, Min-Jeong Kim<sup>2</sup>,

Bo-Kyoung Sim<sup>3</sup>, Hyun Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Chungang University

<sup>2</sup>Dept. of Business Statistics, Hannam University

<sup>3</sup>Dept. of Logistics Statistics Information, Yongin University

<sup>4</sup>CJlogistics

### 요 약

2019년 산업재해 현황 분석 결과 복장, 보호구의 잘못 사용으로 사고가 발생한 비율이 20%로 높은 비율을 차지했고, 전체 사고자 중 두부 손상을 입은 비율이 41%로 가장 높은 비율을 보였다[1]. 고용노동부가 발표한 ‘건설현장 추락위험 일제점검 결과(2021.7)’에서는 안전모 미착용 근로자가 32.6%를 차지하였다[2]. 우리는 ICT기술을 활용해 안전모의 기능개선 가능성을 확인하였고, 안전사고를 예방하고, 빠르게 감지할 수 있는 스마트 안전모를 개발하고자 하였다. 그리고 본 연구를 통해 IoT 센서들과 딥러닝 영상분석을 이용한 스마트 안전모 서비스는 작업 전 부정착용 방지, 작업 중 위험감지, 사고 발생 시 빠른 감지를 통한 신속한 대처를 목표로 하여, 안전한 작업환경을 만들 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

### 1. 서론

지난 21년 3월 2일 서울시 강서구 작업현장에서 한 근로자가 추락하여 사망하는 사고가 있었다. 조사결과 이 근로자는 안전모 등 개인 보호구를 미착용하였던 것으로 드러났다. 또한 하청근로자의 사망사고 비율 중 안전모 등 보호구 미착용으로 인한 사고는 15.1%를 차지했다. 또한 지난 5월 31일에도 질소가스 질식으로 추정되는 사망사고가 발생하기도 했다.

본 연구를 통해 ICT와 딥러닝 기술을 기반으로 작업 전 부정착용 방지, 작업 중 위험감지, 사고 발생 시 빠른 감지를 통한 신속한 대처를 목표로 하는 스마트 서비스를 개발하였다. 그리고 우리는 본 연구를 통해 ICT 기술을 이용한 스마트 안전모를 통해 안전한 작업환경을 만들 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

### 2. 관련 연구

안전장구에 IoT 기술을 접목하여 안전사고를 줄

이려는 노력이 다양한 연구를 통해 진행됐다.

“아두이노를 이용한 스마트 안전모”[3]에서는 센서 감지를 통하여 근로자의 위험 상태를 관리자에게 알리는 시스템을 개발하였고, “딥러닝을 이용한 마스크 착용자의 안전모 착용 감지 연구”[4]에서는 딥러닝 기술을 이용하여 안전모 착용 감지를 할 수 있는 모델을 제시하고 모바일 환경에 적합한 안전모 객체 탐지 모델을 개발하였다. “무선 센서 네트워크를 이용한 안전모 착용 확인 시스템”[5]에서는 안전모의 턱끈에 센서를 부착하여 안전모 미착용 확인을 하는 방식을 제시하였다. 이러한 연구들은 진행이 빠른 실제 현장에서 작업자 사고 예방과 위험감지, 사고 발생 시 대처 모드를 아우를 수 없어 작업자는 안전모 선택에 제약이 생기고 안전모 미착용 확인 방식이 센서나 영상인식 중 한쪽에 국한되어 페이크(부정착용) 판별에 한계가 있다.

본 논문에서는 이러한 한계점을 보완하기 위하여 사고 예방과 위험감지 및 사고 발생 대처까지의 안

전관리를 효율적으로 할 수 있는 해결책을 제시하고자 한다. 센서와 딥러닝 영상기술을 혼용하여 안전모 미착용 관리를 진행한다. 또한, 사고 감지를 위하여 가스 센서와 모션 센서를 사용하였고 사고 대처를 위해 근로자 현재 위치와 상황에 대한 이미지를 관리자에게 실시간으로 전달할 수 있도록 설계하였다.

### 3. 본론

#### 3.1 센서기반 안전모 착용 여부 인식

##### 1) 압력 센서

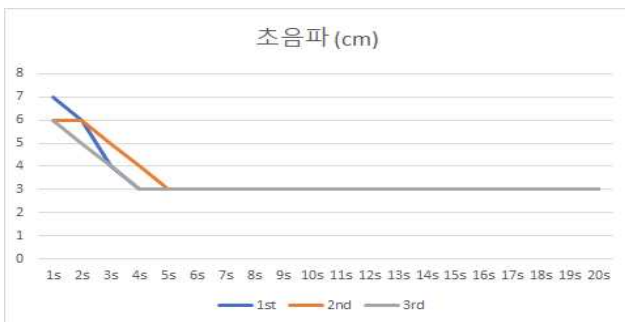
압력 센서는 두부에 부착한다. 더 많은 힘이 가해지면 저항이 감소하여 압력을 측정하는 압력 센서의 경우 미세한 압력에도 민감하게 반응하기 때문에 압력 센서의 값이 0이 나오면 부정착용으로 간주한다.



<그림1. 압력 센서 실험 그래프>

##### 2) 초음파센서

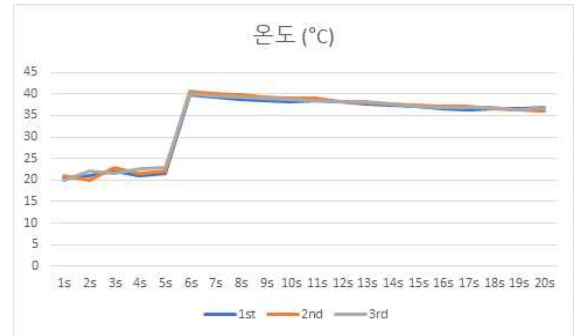
5μs의 짧은 펄스를 신호로 사용하여 거리를 측정하는 초음파센서는 정수리 부분에 부착하여 3cm 이상으로 거리가 벌어질 경우 부정착용으로 간주하여 보고한다.



<그림2. 초음파 센서 실험 그래프>

##### 3) 온도 센서

온도 센서 또한 정수리 부분에 부착한다. 온도 센서는 34.5℃ 이하 혹은 38.5도 이상일 경우 부정착용으로 간주한다.



<그림3. 온도 센서 실험 그래프>

##### 4) 착용 여부 판단

세가지 센서의 기준값을 모두 충족해야 안전모를 정확히 착용한 것으로 판단하고, 그렇지 않을 경우 부정착용으로 판단한다.

센서의 기준값을 충족 여부에 따라 bluetooth 모바일 앱에 데이터를 전송한다. 안드로이드와 연결된 아두이노는 앱으로 시리얼값을 보내고 app은 service에서 실시간으로 센서값 판단에 대한 데이터 값을 전송받아 안전모 미착용 여부에 대해 판단한다.

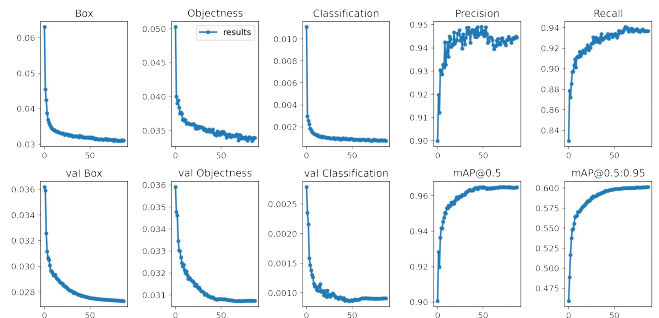
#### 3.2 작업 중 위험 요소 인식

##### 1) 안전모 미착용 영상인식

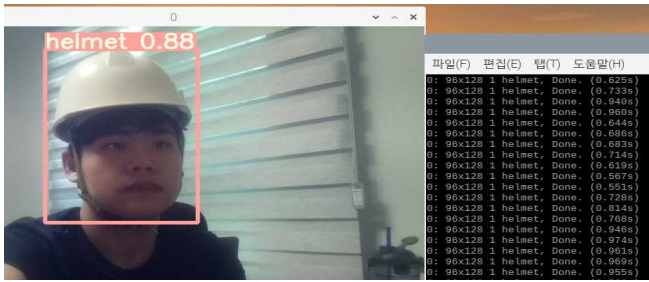
yolov5를 활용하여[6] 데이터셋(4GB, train images 약 15,000개)을 사용하여 학습한 가중치 모델을 기반으로 작업자의 안전모 착용 여부를 판단한다.

Precision(정밀도)가 94%~95%로 학습되었고 Recall(재현율)이 92%~94%로 학습된 것을 확인할 수 있다.

합성곱 신경망(CNN)의 모델 성능 평가를 하는 데 주로 사용되는 mAP(mean average precision)를 보면 IoU가 0.5보다 클 때는 96%이상의 정밀도를 보이고 0.5부터 0.95까지의 IoU에 대한 평균 ap(average precision)는 60%를 상회한다.



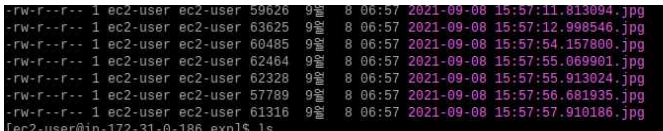
<그림4. 데이터 학습 결과>



<그림5. 학습된 모델로 인식시킨 예시 사진>

작업자의 동작이 많은 부분을 고려하여 안전모 미착용 확률이 85% 이상일 시 OpenCV의 imwrite 함수를 이용하여 라즈베리파이에 사진을 캡처하여 저장한다. 배터리로 전원을 공급하기 때문에 영상 인식 코드(detect.py)를 라즈베리파이의 실행과 함께 10초의 딜레이를 갖고 켜지도록 설정한다. autostart에 코드를 추가하여 라즈베리파이 윈도우 실행 명령인 startx까지 모두 실행한 후에 명령어를 실행하므로 crontab으로 불가능한 부분을 가능하게 개발하였다. 라즈베리파이에서 서버의 핑을 받아오는 방식을 사용하여 와이파이 통신이 제대로 연결되었는지 확인 후 연결되었다면 ssh 원격 접속 프로토콜을 기반으로 scp 명령어를 사용하여 AWS 서버에 이미지 파일을 전송한다.

라즈베리파이의 crontab을 사용하여 설정한 주기로 파일 전송 코드(wifi\_uploader.sh)를 실행한다.



<그림6. AWS 서버로 전송된 파일 확인>

## 2) 추락 감지

안전모와 핸드폰이 블루투스로 연결되어 작업 중에 핸드폰을 소지하고 있으므로 핸드폰에 내장되어 있는 모션 센서(자이로스코프, 가속도, 지자기)를 활용하여 알고리즘을 구축한다. 가속도 센서나 자이로 센서를 바로 사용하기에는 오차가 누적되는 현상이 발생하기 때문에 필터링 작업이 필요하다. “스마트폰을 이용한 실시간 낙상 감지”[7]의 계산식으로 가속도 센서와 지자기 센서를 이용하여 아래와 같은 회전 행렬을 구한다.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

오일러 각에 비해 계산이 빠르고 직관적인 쿼터니

언으로 변환한다.

$$Q = (q_0, q_1, q_2, q_3) \quad (q_0 \text{는 실수}, q_1, q_2, q_3 \text{는 허수})$$

$$q_0 = \frac{1}{2} \sqrt{1 + r_{11} + r_{22} + r_{33}}$$

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{4q_0} \begin{bmatrix} r_{32} - r_{23} \\ r_{13} - r_{31} \\ r_{21} - r_{12} \end{bmatrix}$$

쿼터니언 원소들을 아래와 같은 식을 통해 회전량을 파악한다.

$$\theta = 2\arccos(q_0)$$

$$\theta_x = q_1 * \frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

$$\theta_y = q_2 * \frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

$$\theta_z = q_3 * \frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

구해진 각도의 변화량을 절댓값 처리를 하여 기준값 이상 회전이 감지될 시 추락 가능성을 파악한다. 각도의 변화량을 합산한 값이 기준값 미만일 경우 가속도 변화량과 관계없이 추락이라고 감지하지 않는다.

$$\|A\| = \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2 + (A_z)^2}$$

가속도 센서 값의 변화를 측정하여 이 SMV(Signal Vector Magnitude) 값이 기준값(35) 이상일 경우 작업자의 추락이라고 판단한다.

추락이라고 판단되면 작업자의 GPS(위도, 경도) 정보를 서버로 전송한 뒤 관리자 핸드폰으로 Push 알림을 전송한다.



<그림7. 관리자 앱에 표시되는 추락 감지 작업자>

## 3) 가스 누출 감지



&lt;그림8. 가스 센서 실험 그래프&gt;

“일산화탄소감지기 안전실태 조사”[8]에서 산업안전보건법에 따르면 작업장 공기 중 일산화탄소 농도를 15분 이하를 기준으로 200ppm으로 규정하고 있다. 이에 본 논문에 쓰인 가스 센서의 기준값을 200ppm으로 선정하였다. 실제로 본 논문에서는 해당 센서가 유의미한 값을 낼 수 있는지 CO 농도 데이터를 얻기 위해 10초간 3회에 걸쳐 실험하였다. 다음의 그래프는 CO 농도를 측정된 결과이다. ppm 농도 값을 보면 CO를 주입하지 않은 평소에는 30 언저리에 머물지만, CO를 주입한 후에는 대부분의 값이 200을 웃도는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 논문에서는 기준값을 200ppm으로 결정할 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문은 현재 작업 현장에서 일어나는 사고 중 비율이 높은 안전모의 기능적인 한계를 극복해 작업자에게 안전한 작업환경을 제공하기 위해 작성되었다. 가스 감지, 안전모 부정 착용 방지, 작업자 관리 애플리케이션과 같은 다양한 기능들이 단순히 이론에만 그치는 것이 아니라 작동을 확인함으로써 해당 연구의 완성도를 높일 수 있었으며, 선행 연구에서는 한 가지 기능만을 다뤘던 반면에 해당 연구는 다양한 기능을 선보임으로써 선행 연구들에서 있었던 한계점을 보완할 수 있었다. 다만, 본 연구에서 다소 저렴한 센서들을 썼고, 영상인식에 데이터가 부족하여 정확도가 떨어질 수 있다는 단점이 있다.

하지만, 이번 연구가 설계에만 그치지 않았고, 작동까지 완료가 되었기 때문에 해당 연구에서 쓰인 모델보다 고가의 정확도가 높은 모델을 사용하고, 영상인식에 데이터를 늘리고 학습 횟수를 증가시켜 보다 정확도가 높은 모델을 사용한다면, 안전모로 인한 사고와 작업장 내에서의 사고를 줄이는 데에 큰 역할을 할 것으로 기대된다. 또한, 작업장에서만 아니라 전동킥보드나 자전거 대여 서비스 등에서

도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 프로젝트는 과학기술정보통신부  
정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한  
ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

## [참고문헌]

- [1] 고용노동부. “2019년 산업재해 발생현황”, 9-11(2020)
- [2] 고용노동부. “3대 안전조치 현장점검의 날 건설 현장 추락위험 일제점검(7.14 (수)) 결과 발표”, 1-2 (2021)
- [3] 이동진, 김원범, 김중수, 임상근, 공기석. “아두이노를 이용한 스마트 안전모.” 19.1 : 77-83.(2019)
- [4] 이재성, 구윤경, 김선형, 최유라, 권영우. “딥러닝을 이용한 마스크 착용자의 안전모 착용 감지 연구.” 한국통신학회 학술대회논문집. : 1517-1518.(2021)
- [5] 장문석, 염문진, 송인용, 권오상, 이웅혁, 최상방. “무선 센서 네트워크를 이용한 안전모 착용 확인 시스템.” 대한전기학회 학술대회 논문집. : 209-210.(2007)
- [6] 안전모 미착용, 착용 여부 판단 데이터셋. <https://www.kaggle.com/vodan37/yolo-helmethead>
- [7] Hwang, Soo-Young, Ryu, Munho, 김제남, and Yang, Yun-Seok, “스마트폰을 이용한 실시간 낙상 감지” 한국IT서비스학회지, vol. 11, 113 - 121, Nov. 2012.
- [8] 안전감시국 제품안전팀, 일산화탄소감지기 안전실태 조사 (n.p.: 한국소비자원, 2019), 13.