

산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 적용 방안에 관한 연구

김시문, 강종민, 김재훈, 양규성, 조윤찬, 김해별, 이대원, 이종훈, 최승규
 건양대학교 재난안전소방학과
 e-mail: skchoi@konyang.ac.kr

A study on the Application of Safety Band for Human Safety in Industrial Sites

Si-Moon Kim, Jong-Min Kang, Jae-Hoon Kim, Kyu-Seong Yang, Yoon-Chan Cho,
 Hae-Byul Kim, Dae-Won Lee, Jong-Hoon Lee, Seung-Kyou Choi
 Dept. of Disaster Safety & Fire, Konyang University

요약

고용노동부의 2022년 산업재해 현황자료에 따르면 사망자 수는 2,223명으로 전년 대비 143명(6.9%) 증가하였고, 재해자 수는 130,348명으로 전년 대비 7,635명(6.2%) 증가하였다. 이러한 산업재해의 주요한 원인은 작업자가 구획실과 같은 폐쇄적인 공간에서 단독으로 작업하는 단독작업이다. 산업현장의 재해는 구획된 작업실의 단독 작업자가 떨어짐, 끼임에 의해 심박동 이상이 발생하고 결국, 심정지로 사망에 이르게 된다. 이에 본 논문에서는 산업현장의 재해를 예방하기 위하여 작업장의 출입 인원을 비교하여 2명 이상의 복수작업자를 실시간 확인하고, 심박동 이상이나 심정지 생체신호 발생 시 관리자 및 동료에게 전송할 수 있는 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 적용 방안을 제안한다. 또한 제안한 세이프티 밴드의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이터를 구현하고 시험한 결과 작업장의 잔류 위험 인원을 방지하고 응급상황 발생 시 신속한 응급조치가 가능해 산업현장의 인명 안전에 기여할 것으로 기대한다.

1. 서론

산업재해는 재해를 입은 본인의 육체적 고통은 물론 가족의 정신적 고통을 초래하고, 일시 또는 영구적인 노동력의 상실을 가져온다. 노동력의 상실은 본인과 가족의 생계에 막대한 지장을 초래할 뿐만 아니라 사망자 또는 신체장애인의 유족을 계속 누적시켜 나감으로써 이들에 대한 생계 안전 및 사회적 부양 등의 문제를 일으킨다.[1] 산업의 고도화와 함께 산업구조가 복잡하고 다양해짐에 따라 산업현장에서는 예기치 못한 재해가 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인한 인명피해와 재산상의 손실이 국가 발전에 커다란 장애 요인으로 작용하고 있다. 산업안전공단에서 발표한 산업재해 사망사고 자료에 따르면 떨어짐, 끼임, 부딪힘이 가장 많으며, 중대재해처벌법 시행 이후 산업재해 사망자 수가 700명으로 감소할 것으로 고용노동부에서 전망하였으나, 전망과 달리 증가하고 있는 상황이다. 한편, 한국산업안전보건공단의 동시 작업 인원별 사망자 수(2021년) 자료에 따르면, 총 726명의 사망자 중 단독 작업한 경우 사망한 수는 452명(62.26%)이고, 2~3명인 경우 190명(26.17%), 4명 이상은 67명(9.23%), 분류 불능은 17명(2.34%)이다.[2]

이는 산업재해의 문제가 단지 정부 차원의 지도·감독만으로는 한계가 있다는 것을 의미하는 것으로 단독작업에 의한

근원적인 안전성 확보 방안과 산재 예방 및 효과적 감소 방안의 필요성이 요구된다.

이에 본 논문에서는 산업현장의 재해를 예방하기 위하여 작업장의 출입 인원을 비교하여 2명 이상의 복수작업자를 실시간 확인하고, 심박동 이상이나 심정지 생체신호 발생 시 관리자 및 동료에게 전송할 수 있는 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 적용 방안을 제안한다. 또한, 제안한 세이프티 밴드의 시뮬레이터를 구현하고 시험하여 유용성을 확인한다.

2. 산업재해의 발생 현황 및 사고 사례분석

고용노동부의 2022년 산업재해 현황자료에 따르면 표1과 같이 사망자 수는 총 2,223명으로 전년 동기대비 143명(6.9%) 증가하였고, 재해자 수는 130,348명으로 전년 동기 대비 7,635명(6.2%) 증가하였다.

[표 1] 산업재해 인명사고 현황

항목 \ 년도	2020	2021	2022
사망	2,062	2,080	2,223
부상	108,379	122,713	130,348
사망자 수 증감률	2.1%	0.9%	6.9%
부상자 수 증감률	-0.8%	13.2%	6.2%

사상자들의 주요 특징으로는 건설업(402명, 46.0%), 60세 이상 근로자(380명, 43.5%), 떨어짐(322명, 36.8%)이 가장 많이 발생하였으며, 특히 5인~49인 사업장에서는 365명(41.8%)으로 매년 증가하고 있다.[3]

산업재해의 주요 사례를 분석해 보면, [표 2]와 같이 2018년 12월 11일 새벽 충남 태안군 화력발전소에서 석탄 이송 컨베이어 벨트에서 현장점검을 위한 단독 순찰 업무를 하던 도중 컨베이어 벨트에 끼여 사망한 사고로 현장 동료는 전날 밤 근무에 투입된 사고자가 전화를 받지 않아 찾다 보니 기계에 끼어 숨진 사고자를 발견한 사례이다. 또한, 2022년 10월 15일 새벽 경기 평택시 샌드위치에 쓰이는 소스를 만드는 작업을 하던 공장 노동자가 원료를 섞는 기계에 끼어 숨진 사고로 밤샘 야간 근무 막바지에 혼자 소스를 나르다 배합기에 몸이 끼인 것을 동료들에게 발견되었다.

[표 2] 산업재해 인명사고 주요 사례분석

일 자	사고 개요
2015.05.28	서울 지하철 2호선 구의역에서 스크린도어 외주 정비업체 직원이 수리 도중 열차에 부딪침.
2017.11.09	제주 서귀포시 음료공장에서 기계가 갑자기 오작동을 일으켜 작업자가 해결하기 위해 기계속으로 들어가다 컨베이어에 깔림.
2018.12.11	충남 태안군 화력발전소에서 작업자가 석탄 이송 컨베이어 벨트에 끼임.
2022.10.15	경기 평택시 한 공장장에서 작업을 하던 노동자가 원료를 섞는 기계에 끼임.

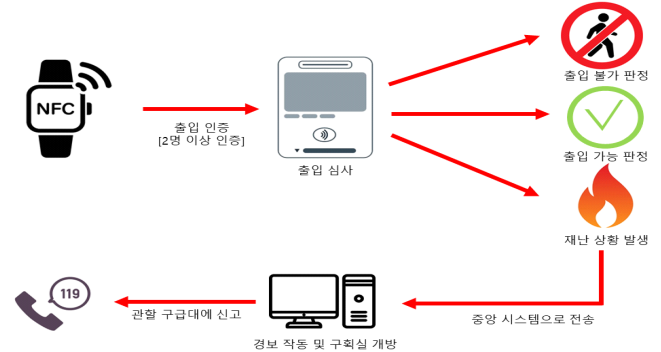
상기 산업재해의 주요한 원인은 2인 1조 복수작업 원칙을 무시한 1인 작업으로 이러한 재해를 예방을 위해서는 단독작업을 방지하여 산업현장의 인명을 안전하게 보호하는 대책과 방안이 요구된다.

3. 인명안전을 위한 산업현장의 세이프티 밴드 적용 방안과 알고리즘

산업현장의 재해 사례분석에서 주요한 인명사고 원인은 작업자가 구획실과 같은 폐쇄적인 공간에서 단독으로 작업하는 단독작업으로 작업실의 단독 작업자가 떨어짐, 끼임에 의해 심박동 이상이 발생하고 결국, 심정지로 사망에 이르게 된다. 이러한 단독작업에 의한 인명사고를 예방하기 위하여 본 논문에서는 그림 1과 같이 작업자의 단독작업과 심박동 이상 및 심정지 생체신호 발생 시 관리자 및 동료에게 실시간으로 전송할 수 있는 세이프티 밴드 시스템을 제안한다.

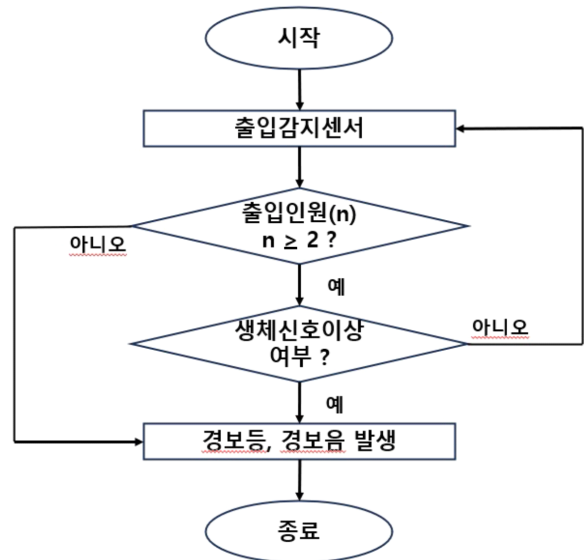
제안한 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 시스템은 공사 현장에 출입하는 근로자가 착용하는 웨어러블 세이프티 밴드를 통해 작업자가 어느 작업 구역에 출입하였는

지를 확인한다. 또한, 작업자의 심박수 등 생체신호를 감지하여, 관리자나 동료에게 통보함으로써 작업자의 단독작업을 방지하고 생체 위험 상황을 인지시키고 조치할 수 있어 산업현장의 인명사고를 예방할 수 있다.



[그림 1] 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 시스템 구성도

산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 시스템이 작동하는 알고리즘을 [그림 2]와 같이 제시한다.



[그림 2] 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 작동 알고리즘

세이프티 밴드가 작동하는 알고리즘을 [그림 2]와 같이 구체적으로 설명하면,

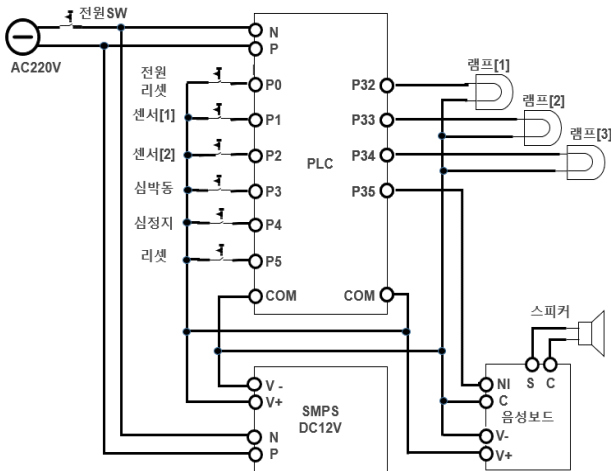
- [Step1] 출입 감지 센서를 지나 작업자가 출입한다.
- [Step2] 출입 감지 센서를 지나간 작업 인원을 확인하여 최소 출입 인원이 2명이 맞는지 감지하여 확인한다.
- [Step3] 생체 이상 신호가 발생하였을 경우 경보음과 경보등이 울린다.
- [Step2-1] 출입 인원이 출입 감지 센서를 지나갔을 시 최소 출입 인원이 맞지 않을 때 경보음과 경보등이 울린다.

[Step3-1] 생체 이상 신호가 발생하지 않았을 경우 [Step1] 단계를 반복한다.

제시한 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 작동 알고리즘을 적용하면 작업자의 단독작업을 방지하고 생체 위험 상황을 관리자 및 동료에게 인지시키고 조치할 수 있어 산업현장의 인명사고를 예방할 수 있다.

4. 세이프티 밴드의 시뮬레이터 구현 및 시험 결과 분석

산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드는 단독 작업자 파악과 신체 이상 신호를 감지할 수 있는 시뮬레이터를 구현하기 위하여 그림 3 세이프티 밴드 시뮬레이터 회로도이며, 그림 4는 시스템의 PLC를 제어하기 위한 MP Studio 리더도이다.

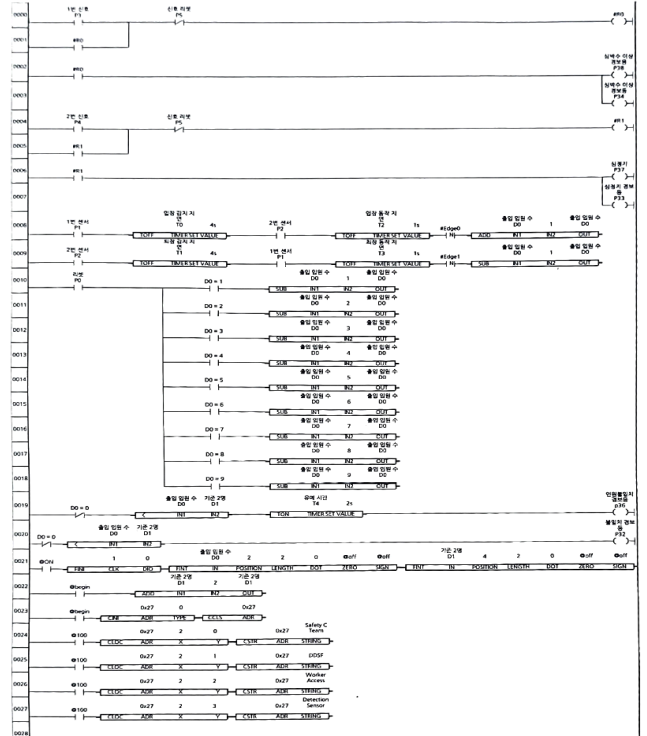


[그림 3] 세이프티 밴드 시뮬레이터 회로도

회로와 PLC 리더도의 P3(1번 입력신호)가 작동하면 P38, P34(출력신호로 각각 심박수 이상 경보음 & 경보등)가 실행된다. 또한, P4(2번 입력신호)가 작동하면 P37, P33(출력신호로 각각 심정지 경보음 & 경보등)이 실행된다. P5 입력신호는 심정지, 심박수 경보음 & 경보등의 리셋신호 버튼이며, P1(첫 번째 출입 감지 센서)이 입력되면 TOFF 작동 출입 감지 센서의 입장 감지 지연됨으로써 TIMER가 끝나기 전에 P2(두 번째 출입 감지 센서)가 입력되면 7Segment장치에 인원수가 추가 입력되며 이는 구획실 내 작업자 입장하는 것이며, 그 반대도 동일하게 P2(두 번째 출입 감지 센서)가 입력되면 TOFF 작동 출입 감지 센서의 입장 감지 지연됨으로써 TIMER가 끝나기 전에 P1(첫 번째 출입 감지 센서)이 입력되면 7Segment장치에 인원수가 감소 입력되며 이는 구획실 내 작업자 퇴장하는 것이다. P0는 인원수 리셋 입력신호이며 입

력되면 7Segment에 입력된 인원수가 0명으로 리셋된다.

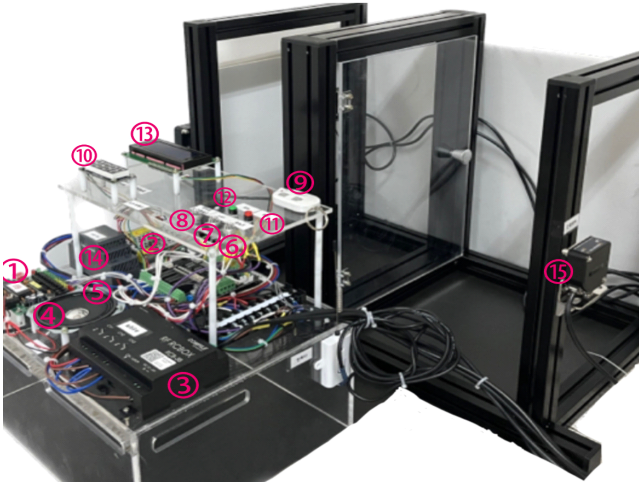
출입 인원수가 기준 2명보다 적을 시 2초가 지나면 인원 불일치 경보음과 경보등이 울린다. 항상 켜져 있는 상태의 FINT를 사용하여 현재 인원수와 최소수용 인원수를 각각 POSITION 2와 4에 표시하게 설정해 두었고 ADD를 이용하여 최소수용 인원수를 2명으로 표시되도록 설정한다. 마지막으로 CINI와 CLOC를 사용하여 X와 Y 좌표를 정하여 팀명과 장치에 관한 설명이 표시되도록 설정한다.



[그림 4] PLC 리더도

상기의 세이프티 밴드 회로도 와 PLC 리더도를 바탕으로 시뮬레이터를 구현한다. 그림 5는 구현한 시뮬레이터이다. 시뮬레이터의 구성기기를 설명하면, ①은 PLC(제어기)로 MP Studio를 통해 짠 회로를 PLC에 입력시켜 작품을 작동시키는 역할을 한다. ②는 SMPS(전원공급장치)로 전원을 연결해 작품에 전기를 공급한다. ③는 수신기로 발신기에서 보낸 신호를 받아 장치를 작동시킨다. ④는 스피커 장치로 입력된 음성녹음을 출력한다. ⑤는 음성제어기로 음성녹음을 제어기에 녹음하고 PLC와 연동하여 상황별로 녹음 내용을 저장한다. ⑥은 심박동 이상 상태 경보등, ⑦은 심정지 이상 상태 경보등, ⑧은 인원 불일치 경보등으로 관리자 및 동료에게 알리는 역할을 한다. ⑨는 발신기(세이프티 밴드)로 현재 상태를 수신기로 보내주는 장치 역할을 한다. ⑩는 7 Segment 장치로 구획실 내 현재 인원수와 최소수용 인원수 표시해 주는 역할을 한다. ⑪는 전원 스위치로 on/off 장치이다. ⑫는 리셋 스위치로 시스템상 오류가 발생하였을 경우 스위치를 통해 현

재 인원을 리셋해주는 역할을 한다. ⑬은 표시기로 작품 이름 등을 표시한다. ⑭는 DC 24V 장치로 12V의 전기를 24V로 전환해 주는 장치이다. ⑮는 출입 감지 센서로 문 입·퇴장 시 동작 감지를 해주는 역할을 하며 앞뒤로 총 4개의 센서가 부착되어 있다.



[그림 5] 세이프티 밴드의 시뮬레이터 구현

구현한 시뮬레이터를 아래와 같은 조건으로 시험을 수행하여 작동상태를 확인하였다.

[Step1] 출입 시

세이프티 밴드를 착용한 근로자가 첫 번째 출입 감지 센서에 사람이 통과하고 문을 열고 들어간 후 두 번째 출입 감지 센서를 통과하게 되면 인원이 들어온 걸로 확인이 된다. 7Segment를 통해 최소수용인원과 현재 입장해 있는 인원이 표시되는데, 한 명이 들어오게 되면 현재 인원이 1이라고 뜨고 2명이 들어오게 되면 2라고 현재 인원란에 뜨게 되어있다. 또한 최소수용인원에 미치지 못하게 되면, 인원 불일치 경고등에 불이 들어오면서 스피커를 통해 '인원 불일치'라는 음성 뒤에 사이렌이 울린다. 이를 통해 최소수용인원을 충족되지 못했다는 것을 알려준다. 이후 또 다른 근로자가 두 개의 출입 감지 센서를 통과하게 되면 최소수용인원을 충족시켜서 경고음과 사이렌은 안 들리게 된다.

[Step2] 구획실 내 응급상황 발생

근로자가 현장에서 작업을 하면서 응급상황이 발생할 수 있는 상황이 일어날 수 있는데 세이프티 밴드를 통해 신체 신호 분석을 통해 현재 상태를 심박동, 심정지 이상 경고등을 통해 파악할 수 있다. 심박동 이상이 있을 때 심박동 경고등에 불이 들어오면서 스피커에서 '심박동 이상이 확인되었습니다.'라는 음성 안내 후 사이렌을 울리게 하여 구획실 내 다른 근무자들과 관리자에게 통보한다. 이와 같은 방식으로 심정지 상태에 이상이 생겼을 시 심정지 상태 경고등에 불이 들어오면서 스피커에서 '심정지 이상이 확인되었습니다.'라는 음성

이 나온 후 사이렌이 울리게 된다.

[Step3] 퇴장 시

근로자가 근무를 마치고 구획실을 나가고 있을 때, 마지막 한 명이 남게 되면, 한 명만 들어왔을 때와 같이 '인원 불일치' 음성이 나온 후 사이렌이 나오게 되는데, 이후 구획실 내에 마지막 근무자까지 나가게 되면 경고음이 꺼지게 되면서 구획실 내에 아무도 없다는 것을 확인할 수 있게 된다.

상기와 같이 구현한 시뮬레이터를 시험한 결과, 작업장에서의 단독작업 방지와 심정지 등의 응급상황을 관리자 및 동료에게 알릴 수 있어 산업현장의 재해 예방과 작업자 안전 확보에 효과적임을 확인하였다.

5. 결론

산업재해의 주요한 인명사고 원인은 작업자가 구획실과 같은 폐쇄적인 공간에서 단독으로 작업하는 단독작업으로 작업실의 단독 작업자가 떨어짐, 끼임에 의해 심박동 이상이 발생하고 결국, 심정지로 사망에 이르게 된다.

이러한 산업현장의 인명사고를 예방하기 위하여 본 논문에서는 작업장의 출입 인원을 비교하여 2명 이상의 복수작업자를 실시간 확인하고, 심박동 이상이나 심정지 생체신호 발생 시 관리자 및 동료에게 전송할 수 있는 산업현장의 인명 안전을 위한 세이프티 밴드 적용 방안을 제안하였다. 또한, 제안한 세이프티 밴드의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이터를 구현하고 시험한 결과 작업장의 잔류 위험 인원을 방지하고 응급상황 발생 시 신속한 응급조치가 가능해 산업현장의 인명 안전에 기여할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] 한국산업안전보건공단 21년 산업재해 분석
- [2] 한국산업안전보건공단 산업재해의 원인분석 및 감소방안연구 :산업재해 통계분석을 중심으로 Centered around the Statistical Analysis on Industrial Accidents = A Study on the Causal Analysis and the Prevention of Industrial Accidents : Centered around the Statistical Analysis on Industrial Accidents
- [3] 고용노동부 2020~2022년 산업재해현황 자료