

연구보고서

안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발 연구 - 추락방지대 중심 -

김영찬 · 방민규

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발 연구(추락방지대 중심)”의 최종 연구결과 보고서로 제출합니다.

2019 년 11월

연구기관 : 주식회사 티앤블루랩

연구기간 : 2019.06. ~ 2019.11

연구책임자 : 김영찬(주식회사 티앤블루랩 대표이사)

연구 원 : 방민규(주식회사 티앤블루랩 과장)

요 약 문

연구기간

2019년 6월 ~ 2019년 11월

핵심 단어

스마트안전대, 추락방지대, 수직구명줄

연구과제명

안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대
개발 연구 - 추락방지대 중심

1. 연구배경

최근 3년간 건설업 중대재해 조사 현황에 따르면 달비계와 곤돌라 등의 작업 중 추락방지대 미착용 등의 원인으로 35명의 사망자가 발생하였다. 건설현장에서는 달비계 등의 작업 시 추락방지를 위해 안전교육, 안전 순찰 등을 통해 관리 감독하고 있지만, 작업자가 추락방지대의 무게 및 작업상의 불편함이나 추락방지대 체결여부 미확인(부주의) 등의 미체결 경우에 대하여 100% 인지한다는 것은 현실적으로 불가능해 재해 발생 예방에 한계가 있다.

따라서, 수직구명줄에 추락방지대 체결에 대한 기존의 한계가 있는 예방/대응체계에서 벗어나, 선제적 대응으로 작업자의 산업재해를 획기적으로 향상시킬 수 있는 ICT/IoT 기술을 적용하여, 작업자 자신이 자발적으로 추락방지대 체결을 할 수 있도록 독려하고, 안전관리자에게 작업자의 수직구명줄에 추락방지대 체결 여부를 통보하여 관리할 수 있는 신개념 예방 시스템 도입이 필요하다.

2. 주요 연구내용

추락방지대 중심의 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발을 위하여, 기존 개발되어 있는 특허 및 제품의 기술 도입 가능성을 검토하고, 실제 적용 시나리오를 분석하여, 이를 기술적으로 구현하고 이를 바탕으로 시제품 제작하였으며 시현을 진행하였다. 그리고 시현 및 현장 의견을 수집하여, 스마트 안전대의 고도화 방향을 제시할 예정이다.

1. 개발된 추락방지대 중심의 스마트 안전대는 Start Beacon, End Beacon을 도입하여, 작업구간을 특정 할 수 있어, 작업자 및 관리감독자에게 개선된 장비 적용에 의한 불편함을 최소화 할 수 있고, 작업자가 임의로 조작할 수 없어 작업 공간 및 경고에 대하여 신뢰할 수 있는 방식이다.
2. 추락방지대 내부의 스프링 와이어와 터치패드 방식 수직구멍줄 인식 방식은 작업자에게 불편을 주지 않으며, 이물질 등의 간섭을 최소화 하여 16mm ~ 18mm의 수직구멍줄에 대하여 정확한 체결여부를 확인 할 수 있다.
3. 개발된 시스템은 수직구멍줄에 추락방지대 미체결 시 경고부를 통하여 노동자에게 음향(부저)으로 경고하고, LED로 관리 감독자에게 표시하고 알린다.
4. 추후, 고도화를 통하여, 작업자의 위치, 작업 시간, 추락방지대의 수직구멍줄 부착 상태, 스마트 안전대의 전원 등을 안전관리자(관리감독자)가 실시간으로 확인 할 수 있는 Platform 구축이 가능하다.

3. 연구 활용방안

- 수직구멍줄에 추락방지대 부착 유무를 감지하고 자체 경고하여 추락방지대 부착을 향상으로 추락방지대 사용 작업 시 활용
- 건설현장의 설계단계 안전성 확보를 위해 설계도서에 반영
- 현장 시현 및 고도화를 통한 스마트 안전대 보급
- 스마트 안전대 고도화로 건설현장 전체 작업자의 추락방지대 체결 현황을 실시간 모니터링 할 수 있는 IoT/ICT 플랫폼(스마트폰 앱 등) 구축

4. 연락처

- 연구책임자 : 주식회사 티앤블루랩 대표이사 김영찬
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 연구기획부 차장 박주동
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 연구기획부 과장 강준혁
- ☎ 052) 703-0815
- E-mail likeaceo99@kosha.or.kr

차 례

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 국내 기술 동향	5
3. 연구내용 및 방법	5
II. 스마트 안전대 - 추락방지대 관련 기술	7
1. 국외 특허 및 관련기술	7
2. 국내 특허 및 관련기술	8
3. 수직구멍줄 체결 감지 스마트안전대 관련 기술 특성	9
III. 스마트 안전대 기술의 개발방안	11
1. 사용 시나리오에 따른 접근	11
2. 기술적 구현에 따른 접근	14
IV. 스마트 안전대 시험 및 고도화 방안	21
1. 스마트 안전대 시제품 시험	21
2. 스마트 안전대 전문가 심의	24
3. 고도화 방안	25
V. 결 론	27
참고문헌	29
Abstract	31

표 차 례

<표 1-1> 최근 3년 기인물별 사망자수 및 사망률	3
<표 1-2> 최근 15년간 수직구명줄 및 안전대에 따른 사고재해자수	4
<표 1-3> 최근 3년간 추락방지대 체결 의무화된 건설업 기인물(달비계 및 곤도라)에서의 중대재해	4
<표 1-4> 추락방지대 부착여부 감지 방안에 대한 비교	6
<표 2-1> Multidisciplinary팀에서 제시한 4가지 위험상황	7
<표 3-1> 추락방지대 사양	15
<표 3-2> 경고부 사양	17
<표 3-3> 비콘부 사양	18
<표 3-4> 비콘부 외부함체 관련	19
<표 4-1> 전문가 심의	24

그림 차례

[그림 2-1] 특허 출원된 고소용 안전벨트 사시도 및 블록 구성도	9
[그림 3-1] 달비계 작업순서 및 스마트 안전대 경고 구간	12
[그림 3-2] 스마트 안전대 동작 시나리오	14
[그림 3-3] 추락방지대 3D 렌더링	15
[그림 3-4] 추락방지대 기구물 설계	16
[그림 3-5] 경고부 기구물 설계	17
[그림 3-6] 비콘부 외부 함체	19
[그림 4-1] 추락방지대 기구물	21
[그림 4-2] 경고부 기구물	22
[그림 4-3] 추락방지대 체결 상태에 따른 경고부 LED 점멸 방식	22
[그림 4-4] 비콘부 기구물 및 외부 함체	23
[그림 4-5] 시제품 시현 및 전문가 심의	24

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

최근 3년간 산업재해현황 통계에 따르면, 사망자수가 가장 많이 발생했던 기인물 상위 20위 중 재해자수 대비 사망률이 가장 높은 기인물은 달비계로(29.7%)로 나타났다. (<표 1-1> 참조) 이와 같이 달비계 작업은 사망사고 재해 발생 빈도가 높고, 사망률이 높아 사고 원인에 대한 분석과 사고에 대한 예방이 필요하다는 것을 알 수 있다.

특히, “달비계작업의 안전성 향상 방안 연구 (안전보건공단 산업안전보건연구원 2018)”에서 조사한 <표 1-2> 최근 15년간 수직구명줄 및 안전대 사용 유무에 사고재해자수에 따르면, 최근 15년간 (2002년 ~ 2017년) 수직구명줄 및 안전대 설치와 착용 유무를 확인할 수 있는 재해 중, 대부분(114건 중 112건)의 사고가 수직구명줄이 미설치 운영(90건)되거나, 수직구명줄이 설치되어 있더라도 수직구명줄에 추락방지대 미체결(22건)로 인한 사고였으며, 수직구명줄에 추락방지대 체결 후 발생한 2건의 경우도 체결 시 추락방지대의 방향이 바뀌어 제 역할을 하지 못한 경우와 원인미상의 화재로 인한 추락방지대가 끊어진 경우였다. 또한, “최근 3년간 건설업 중대재해조사리스트 (2016년 ~ 2018년)”에 따르면(<표 1-3>참조), 달비계 및 곤돌라 등 수직구명줄 설치가 의무화된 작업 현장에서 35건의 중대재해(사망자 35명, 부상자 1명)가 발생하였으며, 그중 대부분이 수직구명줄이 미설치 운영(34건) 되었으며, 설치 운영 중 발생한 1건의 사고는 작업 중 추락방지대를 수직구명줄에서 임의 분리하여 발생한 사고였다. 따라서, 수직구명줄 설치가 의무화된 작업 현장에서는 수직구명줄에 추락방지대만 작업 시작 시에서 작업 종료 시 까지 올바르게 체결 하고, 체결여부를 관리할 수 있다면 해당 재해 발생을 최소화 할 수 있다.

2 ■ 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발 연구 - 추락방지대 중심

건설현장에서 달비계 작업용 추락위험 작업 시 수직 구명줄 설치와 안전대 착용을 의무화 하고 있으며 추락방지대 착용에 대한 안전교육 및 관리감독자의 순찰 등을 통하여 관리 감독 하고 있지만, 작업자가 추락방지대의 무게 및 작업상의 불편함이나 추락방지대 체결여부 미확인(부주의) 등의 미체결 경우에 대하여 100% 인지한다는 것은 현실적으로 불가능해 재해 발생 예방에 한계가 있다.

따라서, 수직구명줄에 추락방지대 체결에 대한 기존의 한계가 있는 예방/대응 체계에서 벗어나, 선제적 대응으로 작업자의 산업재해를 획기적으로 향상시킬 수 있는 ICT/IoT등 최첨단 기술을 적용하여, 작업자 자신이 자발적으로 추락방지대 체결을 할 수 있도록 유도하고, 관리감독자 등에게 작업자의 수직구명줄에 추락방지대 체결 여부를 통보하여 관리할 수 있는 신개념 예방 시스템 도입이 필요하다.

<표 1-1> 최근 3년간 기인물별 사망자수 및 사망률

순 위	기인물	사망율	총 계		2017년		2016년		2015년	
			사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자
1	지게차	3.1%	106	3,408	34	1,099	40	1,190	32	1,119
2	이륜차	1.5%	104	7,096	24	2,359	36	2,388	44	2,349
3	철골, 트러스	18.8%	100	532	34	133	29	182	37	217
4	지붕, 대들보	7.0%	88	1,249	21	376	31	446	36	427
5	택시, 승용차	6.7%	85	1,270	21	366	28	386	36	518
6	백호	6.5%	85	1,298	32	456	26	450	27	392
7	분류되지 않은 특장차	6.0%	77	1,291	20	347	31	419	26	525
8	화물운반트럭	1.9%	77	4,108	28	1,321	20	1,371	29	1,416
9	이동식 사다리	0.7%	76	11,365	26	3,722	26	3,851	24	3,792
10	단부	6.7%	70	1,040	27	260	21	325	22	455
11	바닥개구부	10.8%	68	629	15	182	36	247	17	200
12	상세정보 부족한 육상교통수단	2.2%	61	2,761	19	952	20	885	22	924
13	비계상의 작업발판	4.6%	61	1,325	28	417	20	485	13	423
14	이동식크레인	14.3%	53	371	18	130	22	120	13	121
15	기타 건물·구조물 등	10.9%	45	413	18	81	9	136	18	196
16	분류되지 않은 기타 운반, 인양설비·기계	8.1%	45	558	19	199	13	211	13	148
17	달비계	29.7%	44	148	12	42	14	49	18	57
18	사면 및 암반	11.1%	39	352	15	89	14	141	10	122
19	상세정보 부족한 건축물·구조물 및 표면	0.6%	37	5,983	11	2,215	17	2,183	9	1,585
20	쌍줄비계	2.3%	37	1,641	11	534	10	537	16	570

<표 1-2> 최근 15년간 수직구명줄 및 안전대에 따른 사고재해자수

구분		재해자수(명)	백분위
수직구명줄	안전대		
설치	미착용	3	3%
	착용(수직구명줄 미체결)	19	17%
	착용(수직구명줄 체결)	2	2%
미설치	미착용	85	74%
	착용(수직구명줄 미체결)	5	4%
합계		114	100%

**<표 1-3> 최근 3년간 추락방지대 체결 의무화된 건설업
기인물(달비계 및 곤돌라)에서의 중대재해**

구분		재해 건수(회)	백분위
기인물	추락방지대		
달비계	미착용	32	91%
	착용(오착용)	1	3%
곤돌라	미착용	2	6%
합계		35	100%

2. 국내 기술 동향

2019년 4월 국토교통부에서 수립 및 발표한 “건설현장 추락사고 방지대책”에 따르면, 2022년 산재 사망자를 절반으로 감축(2017년 대비)하는 것을 목표로 추락 사망자의 감소를 위한 대책을 발표하였다. 「건설현장 추락사고 방지 종합대책」에 따르면 시공 단계에서, 근로자가 추락위험지역에 접근하거나 안전대를 착용하지 않았을 경우 경고하는 스마트 안전장비의 사용을 단계적으로('19년 시범사업 → '20년 공공 의무화(지침) → '21년 민간 의무화(건진법)) 의무화할 계획을 발표하였다.

이에 따라, 각종 산업 현장에 스마트 안전장비에 대한 관심과 개발 및 도입이 이제 시작된 단계로 개발된 기술이 많지 않다. 특히 안전대 및 안전고리에 대한 기술은 수평 구멍줄의 체결에 대하여 초점이 맞추어져 있는 경우가 대부분으로 수직구멍줄에 추락방지대 체결 여부에 대한 연구 및 기술은 현재까지 전무하여 해당 기술의 빠른 개발 및 신속한 연구·개발 후 시범 적용 등을 통해 건설 현장에 도입 할 수 있도록 정부, 발주사, 설계사, 제작사 및 시공사 모두 관심과 노력이 필요하다.

3. 연구내용 및 방법

“안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 - 추락방지대 중심”의 연구는 ① 수직구멍줄에 안전대 부착여부를 감지할 수 있는 추락방지대 ② 작업자의 추락방지대 체결 구간을 감지하고, 미체결 시 작업자 및 안전관리자 등 관리자에게 경고할 수 있는 경고부 ③ 수직구멍줄에 추락방지대를 연결하여야 하는 작업 구간을 정할 수 있는 비콘부로 총 세 개의 부분으로 나누어 개발 진행하였다.

먼저 추락방지대는 수직구멍줄에 안전대 부착 여부를 감지하기 위하여, 다양한

감지 방법의 장점 및 단점을 비교하고, 그중 추락방지대의 고유 기능을 저해하지 않는 방식의 구조를 선택하고자 하였다. 지속적인 3D 시뮬레이션 및 각종 자문을 구하였으며, 경고부와의 통신 방법, 각각 통신에 필요한 DB 설계, 각 소자의 전력 지원을 위한 배터리 구조 및 전원 설계 등을 진행하였다.

경고부는 비콘부와 통신하여 비콘 신호를 받아 작업의 시작 및 끝 지점을 확인하고 추락방지대와 수직구멍줄 연결 여부를 수신하여, 해당 정보를 시각 및 청각으로 전달할 수 있도록 개발 진행하였다.

비콘부는 수직구멍줄에 추락방지대를 연결하여야 하는 작업구간을 표시하는 역할로, 두 개의 서로 다른 비콘의 ID를 이용하여 시작지점과 종료 지점을 구분하고 안전관리자 등 관리자만 조작할 수 있는 구조로 개발하였다.

이와 같이 각각의 부분에 대한 개발 완료 후 시제품을 제작하였으며, 현장에서 시험 및 테스트를 진행하였다.

<표 1-4> 추락방지대 부착여부 감지 방안에 대한 비교

구분	장점	단점	비고
접점센서와 물리적 감지	- 구조와 제조 단순함 - 부착 여부 100% 감지 가능	추락방지대 내부에 물리적 구조가 삽입됨으로 견고성 및 추락방지대 기능 저해요소 등 확인필요	
광학적 감지	추락방지대 내부에 다른 기계적 장치 없이 수직구멍줄 감지 가능	- 작업자 수직구멍줄에 고리를 체결한 경우와 추락방지대 내부에 이물질이 위치한 경우 구분이 어려움. - 실외 환경(태양광)에 따라 감지 신뢰성 저하	

II. 스마트 안전대 - 추락방지대 관련 기술

1. 국외 특허 및 관련기술

스마트 안전대는 국내에서는 최근 이슈화되어 산업 현장에 도입되는 초기 이므로 국내 관련 특허 또는 관련 기술을 고찰함으로써 추락방지대 중심의 스마트 안전대 개발 방향 설정하고자 하였다.

스마트 안전대에 대한 연구는 MIT multidisciplinary팀에서 프로젝트를 진행하였으며, 에너지 산업에 적용 가능한 산업 안전장비 개발 및 정유공장에서 프로토타입 테스트 진행하였으며 2017년 6월 Petra Conference 우수 논문상 수상하였다. 해당 연구에서 추락에 대한 대비 방안으로 제시된 안전고리 즉 수평 구명줄에 관한 감지 방안으로, 달비계 작업, 곤돌라 작업, 철탑, 수직 사다리 등에서 사용되는 수직 구명줄에 대한 감지 방안은 연구된 사례가 없으며, 현재까지 출시된 제품 역시 없는 것으로 파악되었다.

<표 2-1> Multidisciplinary팀에서 제시한 4가지 위험상황

구분	세부	비고
Exposure(노출)	· 화학물질에 대한 노출은 심각한 위험임	
Man down(기절)	· 관리자가 광역을 관리해야하는 현장에서 작업자가 관리감독의 시야에서 벗어나는 일은 매우 흔한 일 · 작업자가 타격, 사고, 심근경색 등의 이유로 구조요청 하지 못한 상태에서 기절하는 경우 매우 위험	
Falls from heights (고소에서 추락)	· 유럽 정유산업에서 산재의 8.6%가 추락에 의해 발생 · 좀 더 밀접한 관련이 있는 대형 건설 산업의 경우 사망자의 37%가 추락에 의해 발생	
Load lifting ((고)중량 들기)	· 작업자들은 과신에 의해 중량 한계를 무시하고 들기를 시도하는 일이 종종 발생, 잦은 부상의 원인이 됨	

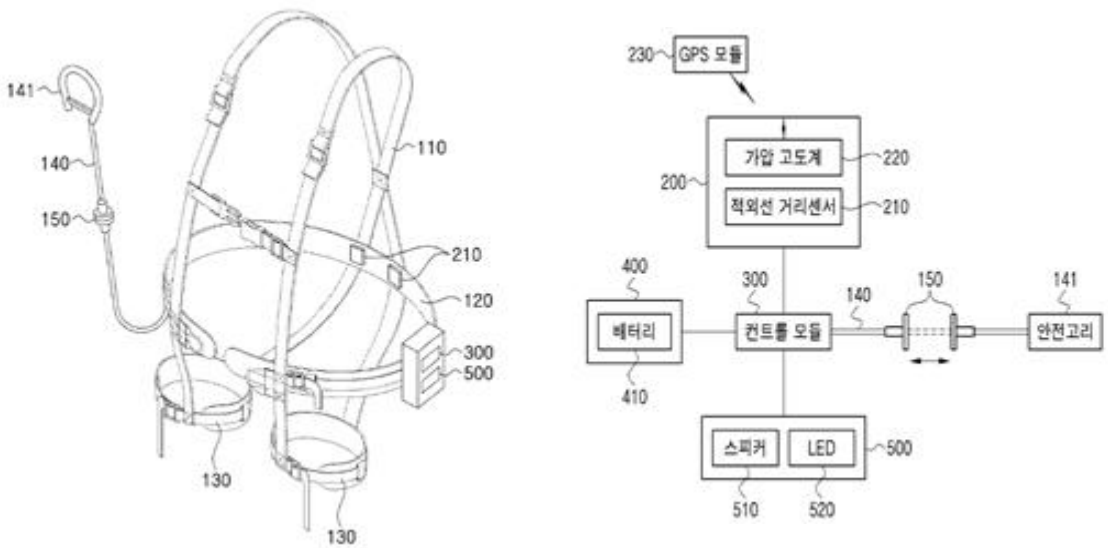
2. 국내 특허 및 관련기술

앞서 설명한 바와 같이, 국내 스마트 안전 장비는 국내 도입 초기로, 관련 기술이 많지 않다. 특히 구명줄 체결 감지 스마트 안전대는 수평구명줄에 안전고리 체결 여부를 감지하는 방향으로 기술 개발 및 제품화 되고 있다.

국내 관련 특허(수평 구명줄 체결 인식 기준)는 “고소작업용 안전벨트 (출원번호 : 10-2015-0183896)”로, 안전대 안에 가압 고도계 및 적외선 거리센서를 내장시켜 일정 고도에서 작업을 할 때 안전고리가 걸착되지 않으면 소리를 발생시켜 작업자의 주의를 일깨워 주어 안전사고를 방지 할 수 있는 고소 작업용 안전대에 관한 것이다. 해당 특허에서는 마그네틱 센서를 사용하여 금속의 비계 등에는 센싱이 가능하나 안전대에 금속이 있으면 체결한 것으로 인식하여, 신뢰성이 떨어지며, 체결되는 구명줄이 비금속 재질이면 인식 할 수 없다. 또한, 비계의 작업발판이 철 구조물일 경우, 바닥에 놓아두면 체결로 인식하는 오류가 일어난다.

국내 관련 제품(수평 구명줄 체결 인식 기준)은 1) 작업자의 안전대 거치부에 안전고리가 거치되었는지를 판단하는 방식과 2) 마그네틱 센서를 이용하여, 금속 수평 구명줄에 대해, 인식하는 방식 그리고 3) IR 적외선 센서를 이용하는 방식 등이 있다.

이와 같이 국내 출원 또는 등록된 특허 및 출시된 제품은 모두 수평 구명줄에 안전 고리 체결 인식을 위해 개발되었다. 이 기술들은 달비계나 곤돌라 등 작업에 사용되는 수직 구명줄에 추락방지대 체결 여부를 인식하기에는 적합하지 않다.



[그림 2-1] 특허 출원된 고소용 안전대 사시도 및 블록 구성도
(출원번호 : 10-2015-0183896)

3. 수직구멍줄 체결 감지 스마트안전대 관련 기술 특성

최근 스마트 안전대는 수평 구멍줄 체결에 관한 것으로, 금속 감지센서, 압력센서, 적외선 IR 센서(광학적), 레이저 센서, 모션 센서 등 다양한 제품이 출시되고 있으나, 수직구멍줄 체결 감지에 적용하기에 적합한 기술이 아니다.

특히, 실외 환경에 노출되어 진행되는 고소 작업의 특성 상 태양광이나 이물질 등에 따라 인식율이 떨어지는 광학적 감지 방법이나, 수직구멍줄 중 일부가 금속으로 되어 있어야만 인식 가능한 금속 감지에 의한 체결 방식은 신뢰성이 낮고, 작업 현장에 적용하기 적합하지 않다. 따라서 구조와 제조가 단순하고, 수직구멍줄에 안전대 체결 여부를 신뢰성 있게 감지 가능한 물리적 감지 센서부를 기존 추락방지대에 추가하는 방안으로 스마트 안전대 기술 개발을 진행하였다.

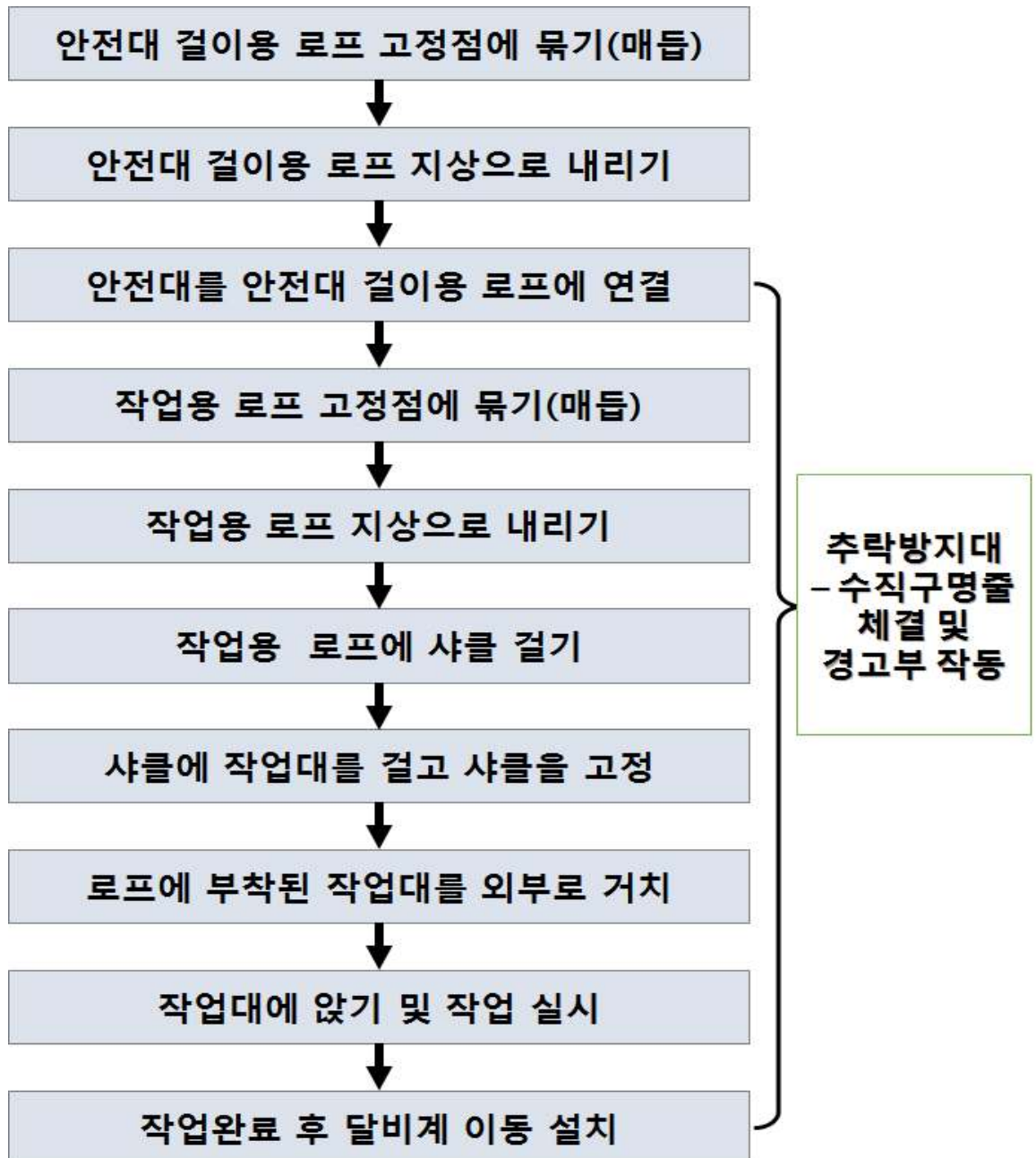
Ⅲ. 스마트 안전대 기술의 개발방안

1. 사용 시나리오에 따른 접근

추락방지대 중심의 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대를 개발하기 위하여 달비계, 곤돌라 등의 수직구명줄을 사용하는 작업 현장에 대한 고찰을 진행하고, 사용 시나리오에 따라 추락방지대부, 경고부 및 비콘부에 대한 개발을 진행하였다.

1) 작업 구간의 구분 방식에 관한 개발

일반적으로 달비계 작업 중 추락방지대의 수직구명줄 체결이 필요한 구간은 안전대 걸이용 로프(수직구명줄)가 지상으로 내려온 시점부터 작업자가 달비계를 이용하여 작업 후 지상까지 하강을 완료한 시점까지이다. 이 중 개발 스마트 안전대의 경보 구간은 “안전대를 안전대 걸이용 로프에 연결” 시점부터 “작업 완료 후 지면에 닿기 전”까지다. 이렇게 작업 구간에 대한 구분이 필요하며, 작업구간 외에 스마트 안전대의 경보는 작업자에게 스트레스와 현장에서의 사용성 저하로 이어질 수 있다. 이를 해결하기 위하여, Start Beacon 과 End Beacon으로 작업 구간을 구분하는 방법을 도입하였다. Beacon은 블루투스의 식별코드와 RSSI(Received signal strength indication : 수신신호강도) 값을 통하여, 위치정보와 Beacon과의 거리 등을 확인 할 수 있다. Start Beacon을 달비계 등의 고소 작업 시점에 설치하여 스마트 안전대를 활성화(작동 스위치 대체)하고, End Beacon을 종점에 설치하여 스마트 안전대를 비활성화(종료 스위치 대체)한다. 또한 각각의 Beacon은 안전관리자(관리감독자) 외에 조작이 불가능하도록 Switch 조작 후 외부 시건이 가능한 합체를 적용하였다.



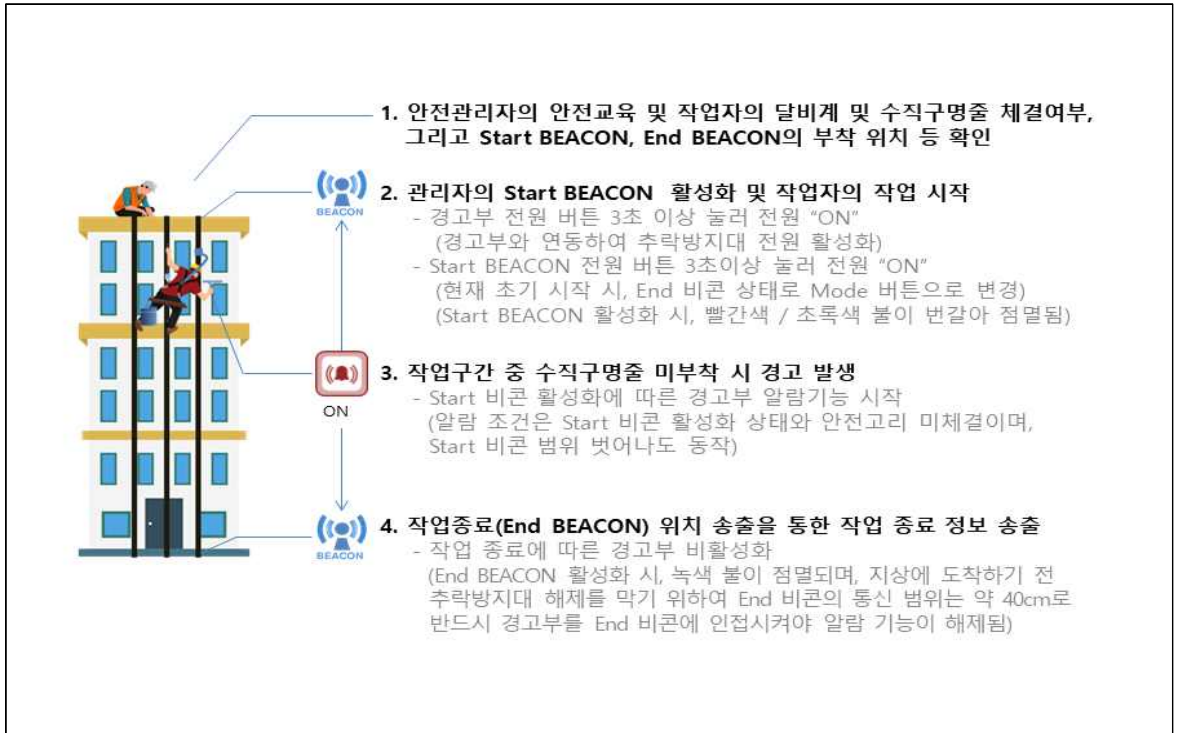
[그림 3-1] 달비계 작업 순서 및 스마트 안전대 경보 구간

2) 스마트 안전대 현장 적용 시나리오

기존 달비계 등의 고소 작업을 시작하기에 앞서 준비작업 단계에서 작업 관리 감독자(안전관리자)는 작업 전 작업계획을 수립하고, 작업자에게 작업용 로프의 적합한 설비, 작업용 로프의 기본적인 검사방법, 안전대 걸이용 로프와 앵커, 달비계의 안전한 사용법, 추락방지 시스템과 응급대처 방법 등을 포함한 작업계획에 대한 교육을 진행한다.

스마트 안전대를 현장 적용 시, 이러한 준비작업 단계에서 관리감독자(안전관리자)가 Start Beacon, End Beacon에 대한 위치 선정 및 설치, 그리고 스마트 안전대에 대한 교육을 추가로 진행하게 된다. 이후 관리감독자는 달비계 탑승 작업 등 작업 시작 전에 각각의 Beacon을 활성화한다.

Start Beacon 활성화 이후, 작업구간에서 작업자의 수직구명줄에 추락방지대 탈착 시 경고부에서 경고음이 발생하며, 이와 같은 경고음은 작업자가 End Beacon 위치에 도달할 때 까지 계속된다. 작업자가 End Beacon에 위치 후, 재작업을 위하여 고소에 올라가면, 다시 Start Beacon 영역에 들어가게 되어, 경고부가 활성화 되어 반복 작업이 가능하다. 또한, 인식되는 RSSI 값 조절을 통하여 Start Beacon은 상대적으로 넓은 지역에 적용되고, End Beacon은 좁은 지역을 적용 하여, 작업자가 지상에서 가까운 위치라 판단하여 지상에 도달하기 전 임의로 추락방지대를 탈착하는 것을 방지한다.



[그림 3-2] 스마트 안전대 동작 시나리오

2. 기술적 구현에 따른 접근

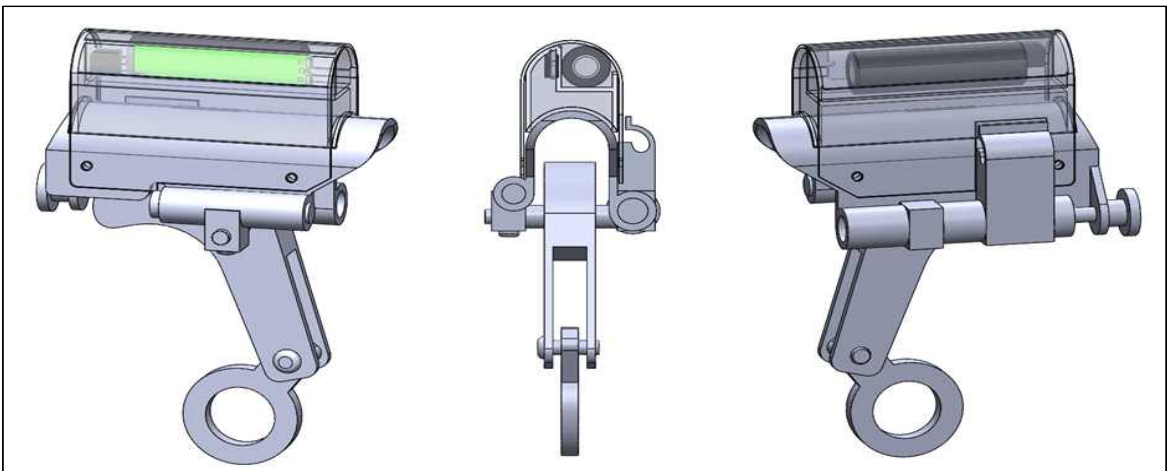
앞서 설명한 스마트 안전대 현장 사용 시나리오에 대하여, ①수직구명줄에 안전대 부착여부를 감지할 수 있는 추락방지대 ② 작업자의 추락방지대 체결 구간을 감지하고, 미체결시 작업자 및 안전관리자 등에게 경고할 수 있는 경고부 ③ 수직구명줄에 추락방지대를 연결하여야 하는 작업 구간을 정할 수 있는 비콘부로 총 세 개의 부분으로 나누어 기술적으로 구현 하였다. 이후 각각 파트의 연동과 통합 테스트를 진행하여 최종 시제품을 제작하였다.

1) 추락방지대

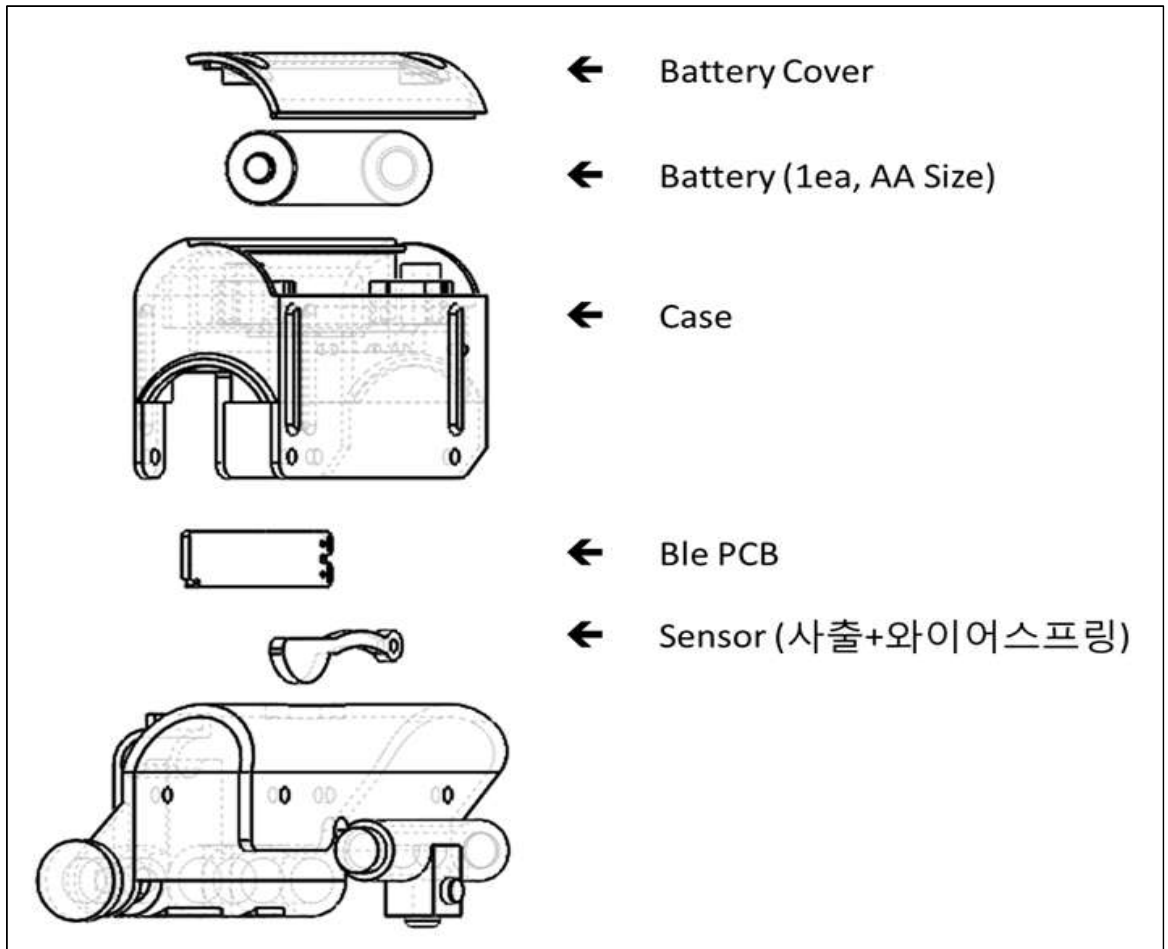
기존 스마트 안전대의 제품화는 수평구멍줄 위주로 이루어져 왔다. 해당 기술들은 추락방지대의 수직구멍줄 체결 여부를 인식할 수 있는 방법으로는 적당하지 않다. 추락방지대 내부의 16~18mm의 수직구멍줄을 인식하기 위하여, 점접 센서와 와이어 스프링을 통한 물리적 감지 방안을 채택하였다. 이와 같은 구조는 내부 이물질에 대한 오탐지 발생 가능성이 낮고, 구조와 제조가 단순하며, 작업자에게 불편을 주지 않는다. 또한 별도의 전원 스위치를 포함하지 않고, 경고부와 블루투스 연결(Pairing)로 전원 및 동작을 제어한다.

<표 3-1> 추락방지대 사양

구분	세부	비고
통신방법	BLE 4.2	
전원	AA Battery 1개	
인식 방식	물리적 감지(터치 센서)	
작동 방법	경고부와 Pairing을 통한 자동 동작 - 경고부 ON 시, 자동 동작 시작 - 경고부 Off 시, Sleep mode	



[그림 3-3] 추락방지대 3D 렌더링



[그림 3-4] 추락방지대 기구물 설계

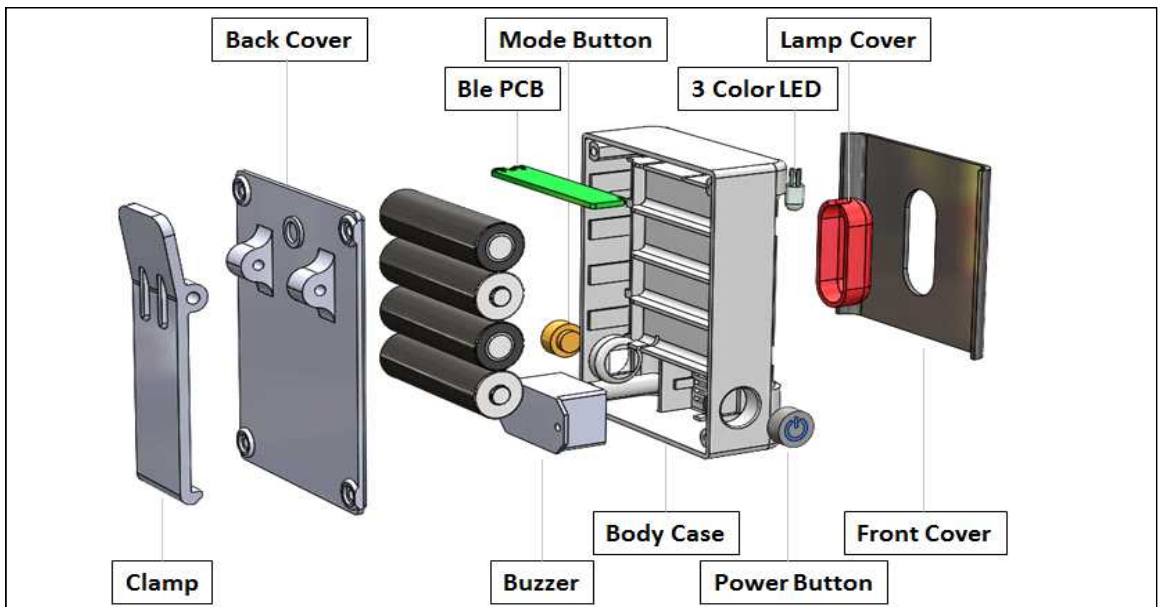
2) 경고부

경고부는 비콘부의 신호를 인식하여 작업 구간을 확인하고, 추락방지대의 Sleep mode를 제어하며, 수직구멍줄에 추락방지대 체결여부를 수신하기 위하여 BLE(Bluetooth Low Energy) 4.2 칩을 선정 및 적용 하였으며, 작업자의 추락방지대 미체결 시 체결을 독려하고 안전 관리자 등 주위 사람에게 알리기 위하여 3색 LED 와 Buzzer를 선정 및 설치하였다.

경고부에는 2개의 버튼(전원버튼 및 모드버튼)을 구현하였으며, 전원을 제어할 수 있는 전원 버튼과 추후 확장을 위한 모드 변경을 할 수 있는 모드 버튼을 구현하였다. 또한, 경고부의 상태는 3색 LED의 색과 부저로 구분하였는데, 추락방지대가 정상적으로 수직구멍줄에 체결 시에는 녹색 표시되며, 정상적으로 체결되지 않으면 적색과 부저를 울린다. 4개의 AA 사이즈 배터리를 사용하여, 배터리 교체에 범용성을 주었고, 몸에 착용이 용이하도록 클램프를 포함하여 설계하였다.

<표 3-2> 경고부 사양

구분	세부	비고
통신방법	BLE 4.2	(확장가능)
전원	AA Battery 4개	
LED	3 색 (적색, 황색, 녹색) - 적색 : 미체결 - 녹색 : 체결	
부저	미체결시 알림	
작동 방법	경고부 ON/off 스위치	



[그림 3-5] 경고부 기구를 설계

3) 비콘부

비콘부는 Start Beacon과 End Beacon으로 구분되지만 생산의 용이함과 운영을 편리하게 하기 위하여, 하나의 함체에 Mode 버튼을 통해 서로 변경이 가능하게 설계하였으며, Start Beacon와 End Beacon 각각의 상태는 LED 점멸에 차이를 두어 구분하였다. 기본적으로 경고부와 Bluetooth로 통신하지만, 추후 LTE, NB-IoT, DMR 등 무선 통신을 추가하여, 작업관리자에게 추가적으로 정보를 제공할 수 있는 확장 가능한 구조로 제작하였다.

작업자가 지상에 도착할 때 까지 수직구멍줄에 체결된 추락방지대의 연결을 해제하지 않도록 End Beacon의 인식 범위는 최소화(약 40cm 이내)하였으며, 반복 작업을 위하여 지상에 도달한 작업자가 다시 고소 작업 위치 시 경고부를 다시 구동할 수 있도록 Start Beacon의 범위는 수 m로 설계하였다.

또한, 비콘부는 작업의 시작과 종료 구간을 구분하는 중요한 역할을 함으로, 임의로 작업자가 제어할 수 없도록 시건장치가 있는 외부 함체에 개발된 비콘을 부착하도록 제작하였다. 이를 통하여 외부에 설치되는 비콘부의 방수 및 방습 문제 역시 해결하였다.

<표 3-3> 비콘부 사양

구분	세부	비고
통신방법	BLE 4.2	(확장가능)
전원	AA Battery 4개	
LED	3 색 (적색, 황색, 녹색) - 적색, 녹색 : Start Beacon - 녹색, 녹색 : End Beacon	Mode 버튼 통한 변경
작동 방법	경고부 ON/off 스위치	
작동 범위	End Beacon : 40 cm 이내 Start Beacon : 5~10m 이내	

<표 3-4> 비콘부 외부함체 관련

구분	세부	비고
형태	컨트롤 박스 (기성제품 100 x 150 x 90 mm)	
시건 기능	컨트롤 박스에 자물쇠 부착 방식	
방수 및 방습	컨트롤 박스 형태로 방수 및 방습 구조	
비콘부 설치	- 컨트롤 박스 속판에 비콘을 부착 - 컨트롤 박스 외부 브라켓 설치를 통한 외부 부착 가능	



[그림 3-6] 비콘부 외부 함체

IV. 스마트 안전대 시현 및 고도화 방안

1. 스마트 안전대 시제품 시현

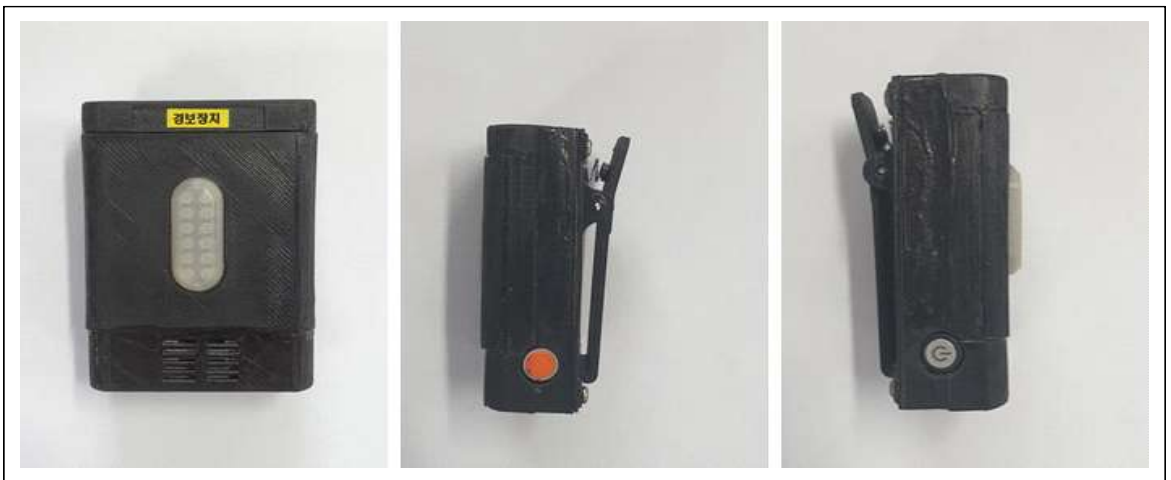
추락방지대 중심의 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발의 성과로 시제품을 제작하였으며, 제작한 시제품에 대하여 사전 시뮬레이션과 내부 테스트 후 관련 전문가 심의를 진행하였다.

추락방지대 부의 시제품은 기존 상용 추락방지대에 3D 사출물 형태의 센서부 및 전원 통신부를 추가하는 구조로 진행하였다. 별도의 전원 스위치를 포함하지 않으며, 경고부와의 통신 연결을 통해 자동으로 전원을 제어한다.



[그림 4-1] 추락방지대 기구물

경고부의 시제품은 3D 사출물 형태로 제작하였으며, 작업자의 의복에 착용 가능한 구조이다. 기본적으로 경고부의 전원을 제어하는 전원버튼과 추후 추가 기능을 고려한 모드 버튼을 포함한다. 경고부는 전원버튼을 3초이상 누르면 전원이 켜지며 비콘과의 통신으로 추락방지대 착용이 필요한 작업공간을 판단하여, 추락방지대가 정상적으로 수직구멍줄에 체결 시에는 녹색으로 점멸하며, 정상적으로 체결되지 않으면 적색 점멸과 부저를 울린다.



[그림 4-2] 경고부 기구물



[그림 4-3] 추락방지대 체결 상태에 따른 경고부 LED 점멸 방식

비콘부는 Start Beacon과 End Beacon으로 구분되지만 생산의 용이함과 운영을 편리하게 하기 위하여, 하나의 함체에 Mode 버튼을 통해 서로 변경이 가능하게 설계하였으며, Start Beacon와 End Beacon 각각의 상태는 LED 점멸에 차이를 두어 구분하였다. Start Beacon 활성화 시 적색과 초록색이 번갈아 가면서 점멸되며, End Beacon 활성화 시 초록색이 점멸된다. Start Beacon의 범위는 수 m로 설계하여 작업공간에서 경고부가 무조건 활성화될 수 있게 제작하였으며, 지상에 도착하기 전 추락방지대 해제를 막기 위하여 End Beacon의 통신 범위는 약 40cm로 반드시 경고부를 End Beacon에 인접시켜야 경고가 해제되도록 하였다. 또한 콘트롤 박스를 이용하여 외부 함체를 구현하여 시건장치와 방수 및 방습 등에 대한 문제를 해결하였다.



[그림 4-4] 비콘부 기구를 및 외부 함체

2. 스마트 안전대 전문가 심의

추락방지대 중심의 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발의 시제품에 대하여 전문가 심의를 진행하였다. 해당 심의에서 제작된 시제품에 대한 시현과 결과에 대한 평가 등을 진행하였으며, 개선사항 및 고도화 방안에 대한 전문가 의견을 수집하였다.

<표 4-1> 전문가 심의

구분	세부	비고
일시	2019년 11월 4일	
장소	안전혁신학교 회의실 및 체험교육장	
참석자	관련 전문가(공단 내부 전문가 1명, 외부 전문가 2명), 연구상대역, 과제 책임자 및 연구원	



[그림 4-5] 시제품 시현 및 전문가 심의

3. 고도화 방안

1) 스마트 안전대 - 추락방지대 알고리즘 고도화

수직구멍줄에 연결되는 추락방지대는 방향성이 있는 장비로, 위 방향으로 체결되지 않으면 유사시 안전보호구의 기능을 할 수 없다. 따라서 추후 개발된 스마트 안전대의 알고리즘 고도화를 통하여 수직구멍줄에 추락방지대의 잘못된 체결(반대 방향)에 대하여 인식할 수 있는 알고리즘을 적용하여 잘못된 체결 시 경고하여야 한다.

2) 스마트 안전대 기능 개선

현재 스마트 안전대의 동작은 Start Beacon과 End Beacon에 의해 작업 구간을 나누게 설계되어 있다. 하지만 작업 현장에 따라 비콘에 대한 설치가 어렵거나, 비콘에 대한 관리, Start Beacon 범위 설정에 대한 어려움 등으로 인하여 작업 구간 관리의 단순화가 필요할 수 있다. 따라서 시나리오를 다양화 하여, NFC 등과 같은 인식거리는 짧지만 설치가 쉽고, tag를 통해 즉각적인 작동/해지가 가능한 방법 등에 대한 추가 고려가 필요하다.

또한 개발된 스마트 안전대는 기능 구현에 초점을 맞추고 있어 비콘부 외에는 보안성이 부족하다. 편의성을 위하여 추락방지대, 경고부, 비콘부 3가지 모두 건전지 타입을 채택하였으나, 어느 한 부분에 건전지를 제거하면 쉽게 장치를 해제할 수 있는 구조이다. 따라서 추후 고도화시 보안성 부분은 관리 수준을 정하고 추락방지대와 경고부에 별도의 시건 혹은 특수 나사 등을 적용하여야 한다.

3) 관리자가 Monitoring 가능한 시스템 구축

현재 개발된 장비는 수직구멍줄에 스마트 안전대의 추락방지대 부착 여부를

확인하는 주체가 노동자로 제한되어 있다. 제도적으로 산업 재해에 대한 책임을 사업주가 전적으로 가지고 있어 근로자의 자발적 참여를 통한 개선과 더불어 관리자가 실시간 관리(Monitoring)가 가능한 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 현재 고도화를 위하여 해당 장비에는 LTE-m, DMR, LoRa 등 장거리 무선 통신 장비가 적용 가능하게 설계 되어 있다. 따라서 장거리 무선 통신 장비와 서버 시스템 등의 추가 설계로 작업 공간 내 전체 작업자의 추락방지대 체결 현황뿐만 아니라 작업자의 위치, 작업 시간, 추락방지대의 수직구멍줄 부착 상태, 스마트안전대의 전원 등을 실시간 모니터링 하고 그 결과를 안전관리자에게 실시간 통보 할 수 있는 ICT /IoT 플랫폼 구축이 가능하다.

V. 결 론

추락방지대 중심의 안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대 개발을 위하여, 기존 개발되어 있는 특허와 제품의 기술 도입 가능성을 검토하고, 실제 적용 시나리오를 분석하여, 이를 기술적으로 구현하고 시제품 제작하였다. 시험 및 현장 의견을 수집하여, 스마트 안전대의 고도화 방향을 제시하였다.

1. 개발된 추락방지대 중심의 스마트 안전대는 Start Beacon, End Beacon을 도입하여, 작업구간을 특정 할 수 있어, 작업자 및 관리 감독자에게 개발된 장치 적용으로 인한 불편함을 최소화 할 수 있고, 작업자가 임의로 조작할 수 없어 작업 공간 및 경고에 대하여 신뢰할 수 있는 방식이다.
2. 추락방지대 내부의 스프링 와이어와 터치패드 형 수직구멍줄 인식 방식은 작업자의 불편을 주지 않으며, 이물질 등의 간섭을 최소화하여 16mm ~ 18mm의 수직구멍줄에 대하여 정확한 체결여부를 확인 할 수 있었다.
3. 개발된 시스템은 수직구멍줄에 추락방지대 미체결 시 경고부를 통하여 노동자에게 음향(부저)으로 경고하고, LED로 안전관리자(관리감독자)에게 표시 하고 알린다.
4. 추후, 고도화를 통하여, 작업자의 위치, 작업 시간, 추락방지대의 수직구멍줄 부착 상태, 스마트 안전대의 전원 등을 안전관리자(관리감독자)가 실시간으로 확인 할 수 있는 Platform 구축이 가능하다.

참고문헌

박주동, 이현섭. 건설현장 비계작업안전 실무 안내서. 산업안전보건연구원, 부산 도시공사; 2019

정성춘. 달비계 작업의 안전성 향상 방안 연구. 산업안전보건연구원; 2018

박재석. 이동식크레인 안전성 향상을 위한 방호장치 개선 연구. 산업안전보건연구원; 2018

김철홍, 이철원, 공영모. 고소작업용 안전벨트. 특허등록 10-2015-0183896. 2017년 10월 19일

Guillermo Bernal, Sara Colombo, Mohammed Al Ai Baky, & Federico Casalegno. Safety++. Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach. 10th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. 2017: 163-170

Abstract

Development of Smart Safety Belt that can check whether the Rope Grab is attached to Vertical Lifeline

Kim Young Chan, Min Kyu Bang, Ju Dong Park, Joon Hyuk Kang

Tianblue Laboratory Co., Ltd.

*503 ho, Dongil techno town 1cha, #110 Digital-ro 26-gil,
Guro-gu, Seoul, Korea*

Objectives: The aim of this research is to drastically reduce the occurrence of industrial accidents by encouraging the fastening of safety belts on the vertical lifeline of the workers.

Methods: Analyze domestic and foreign technologies and patents for smart safety belts centered on Rope Grab, and approach them according to usage scenarios and implement them technically.

Results: The smart safety belt with rope grab can specify the work section by using Start Beacon and End Beacon. It can minimize the fatigue caused by the improved equipment application to the workers and the safety manager, and it is a reliable way of working space and warning because the workers can not operate arbitrarily.

Spring wire and touch pad type vertical lifeline recognition method inside the

rope grab does not cause any inconvenience to the operator and minimizes interference such as foreign matters, so it is possible to check the correct connection of the vertical lifeline.

Later, it is possible to make a platform which the safety manager (work manager) can check the worker's location, working time, vertical lifeline attached to the rope grab in real time.

Conclusions: In order to reduce the fall industrial disaster while working in high places, it is necessary to introduce new ICT / IoT technologies away from traditional methods. It is necessary to apply a smart safety belt system that encourages workers to voluntarily wear a rope grab and notify safety managers whether or not they fall into a vertical lifeline.

Keyword: Smart Safety Belt, Rope Grab, Vertical Lifeline

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 주식회사 티앤블루랩

연구책임자 : 김 영 찬 (대 표 이 사)

연 구 원 : 방 민 규 (선임연구원)

연구상대역 : 박 주 동 (연 구 기 획 부)

연구상대역 : 강 준 혁 (연 구 기 획 부)

〈〈연 구 기 간〉〉

2019. 6. 13 ~ 2019. 11. 30

본 연구는 산업안전보건연구원의 2019년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해
이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을
알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**안전대 부착여부를 확인할 수 있는 스마트 안전대
개발 연구 - 추락방지대 중심**

2019-연구원-1541

발 행 일 : 2019년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 연구원장 고재철

연구책임자 : 김 영 찬

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 7030-815

F A X : (052) 7030-331

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>