

테이블 리프트 작업자의 안전을 위한 스마트 협착 방지 시스템 구현

이 상 록*

Implementation of Smart Squeezing Prevention System to Improve the Safety of Table Lift Operators

Sangrok Lee*

요 약

본 논문은 테이블 리프트 작업자의 안전을 확보하기 위한 스마트 협착 방지 시스템을 구현하였다. 협착 사고는 고소작업대를 사용하는 작업 과정에서 상부 구조물과 테이블 리프트 사이에 작업자가 끼이는 사고이다. 이를 방지하기 위해 구현된 모듈은 리프트와 상부 구조물간의 거리를 ToF 센서를 활용하여 주기적으로 측정한다. 측정 거리가 정해진 값보다 짧아지면 협착 위험으로 판단하고 리프트에 제어신호를 전달하여 상승을 멈추도록 한다. 보다 높은 안정성을 확보하기 위해 하나의 시스템은 2개에서 4개까지의 센서 모듈로 구성되고, 모듈간에는 WiFi 통신을 통해 정보들을 교환한다. 4개의 모듈을 테이블 리프트에 설치하여 운영한 결과 지능형 협착방지 시스템이 안정적으로 동작함을 확인하였다.

Key Words : Squeezing prevention, Table lift, ToF sensor, WiFi, Operator safety

ABSTRACT

This paper implements a smart squeezing prevention system to secure the safety of table lift operators. A squeezing accident is an accident in which a worker is caught between an upper structure and a table lift in the process of using an aerial

platform. The module implemented to prevent this periodically measures the distance between the lift and the upper structure using a ToF sensor. If the measured distance is shorter than the set value, it is judged to be a risk of squeezing and then a control signal is transmitted to stop the lift ascent. To secure higher system stability, the system is composed of 2 to 4 sensor modules, and information is exchanged between modules through WiFi communication. As a result of installing and operating the 4 modules on the table lift, it was confirmed that the smart squeezing prevention system operated stably.

I. 서 론

국내에서는 매년 2천명 이상의 근로자가 작업현장에서 산업안전사고로 사망하고 있고, 이를 예방하기 위해 센서들을 활용하여 작업자의 위치를 기반으로 위험을 감지할 수 있는 방안들이 제시되고 있다^[1]. 산업안전사고 중에 테이블 리프트와 같은 고소작업대 장비를 사용한 작업 과정에서 천장과 같은 상부 구조물과 장비 사이에 끼임 현상을 협착(squeezing)이라고 한다. 작업자의 부주나 관리 소홀로 인해 협착되어 부상을 당하거나 사망에 이르는 등의 안전사고가 고소작업대를 활용한 작업 현장에서 종종 발생한다. 이를 방지하기 위해 기존 장비들은 과상승 방지봉을 테이블 리프트의 4면에 부착한 후 과상승 방지봉이 천장에 부딪치게 되어 위험을 감지하는 방식을 적용하고 있다. 과상승방지봉은 리프트가 상승하다가 천장에 부딪치는 것을 물리적으로 감지하여 리프트 제어기에 전달함으로써 상승을 멈추게 한다. 과상승방지봉은 리미트 스위치로 구현되어 상대적으로 저렴하지만 과상승봉이 리프트의 상단에 작업자의 키보다 높은 위치까지 설치되어야 감지가능하므로 작업자의 작업환경에 방해되는 단점이 있다. 이로 인해 작업자들이 과상승방지봉을 제거하고 작업하는 불법 사례들도 종종 발생하고 있다.

최근에는 이같은 단점을 보완한 고소작업대에 비접촉식 과상승방지시스템을 장착한 E-ORBD가 발표되었다^[2]. E-ORBD 시스템은 제어기, 라이더 센서, 경보

* 본 논문은 2023년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

• First Author : (ORCID:0000-0001-7016-2572) Shinhan University, Department of Electronic Engineering, srlee@shinhan.ac.kr, 부교수, 종신회원

논문번호 : 202404-066-E-LU, Received April 8, 2014; Revised June 11, 2014; Accepted June 11, 2014

기 등으로 구성된다. E-ORBD 시스템은 Cortex-A73 기반의 제어기와 라이더 센서를 적용하므로 테이블 리프트에 적용하기에는 상대적으로 고가의 장비이다.

본 논문에서는 ToF 센서를 적용하여 작업자의 작업 환경에 방해되지 않으면서도 협착 안전사고를 예방할 수 있는 협착방지시스템(SSPS: Smart Squeezing Prevention System)을 구현하고자 한다. 특히 제안된 시스템은 2개 이상의 모듈이 WiFi로 연결되어 하나의 시스템을 구성함으로써 보다 향상된 안정성과 작업 효율성을 제공한다.

II. SSPS 시스템 설계

리프트 작업자의 안전과 작업 효율성 향상을 위해 본 논문에서 구현하는 SSPS 시스템의 전체 조건은 다음과 같다. 첫째, 리프트 작업자의 작업 반경을 고려하여 2개 이상의 ToF 기반의 거리센서 모듈을 적용하여 협착 위험을 정확하게 감지한다. 둘째, 설치된 2개 이상의 센서 모듈이 무선 통신을 통해 주기적으로 동기화하여 위험 감지 정보와 리프트 제어 정보를 공유함으로써 작업자의 안전을 보장한다. 셋째, 작업자의 작업 효율을 향상하기 위해 ‘비활성화(Inactivation) 스위치’를 추가함으로써 위험 감지 상태에서든 수동으로 리프트를 제어할 수 있는 기능을 지원한다.

그림 1은 위의 조건을 만족하도록 설계된 SSPS 모듈의 블록도이고, 표 1은 모듈의 상세 규격이다. ToF 센서는 940nm 대역의 VCSEL 레이저를 이용하여 장애물까지의 거리를 측정한다. 본 모듈에 적용된 센서는 방사각이 좁으면서 최대 4m까지 측정가능하다³⁾. 릴레이는 SSPS 모듈에서 리프트 상승을 제어하고, 릴레이의 기본 설정 상태는 NC(Normally Closed) 상태이다. NC 상태에서는 리프트가 작업자에 의해 제어가능한 상태이고, ToF 센서에 의해 위험이 감지되면 릴레이가 NO(Normally Open) 상태로 설정되어 리프트는 강제로 멈추게 된다. 비활성화 스위치는 리프트 작업자의 필요에 의해 센서에 의해 위험이 감지된 상태

에서도 리프트가 제어가능하도록 설정하는 기능을 제공한다. 즉, 비활성화 상태로 설정되면, ToF 센서에서 위험을 감지하더라도 릴레이를 제어하지 않아서 작업자가 리프트를 제어할 수 있다. ID 스위치는 SSPS 시스템에서 모듈들이 정보교환을 위해 통신할 때 서로 구분하기 위해 로터리 스위치를 사용하여 각각의 모듈에 ID를 부여한다. 상태 LED는 SSPS 모듈의 상태를 표시하는 링크(Link) LED, 경보(Alarm) LED, 그리고 전원(Power) LED로 구성된다. 링크 LED는 시스템 내의 모듈간 네트워크 연결 상태를 표시하고, 경보 LED는 ToF 센서에서 위험 감지 상태를 표시하고, 전원 LED는 모듈의 전원 공급 상태를 표시한다. 마지막으로 배터리 잔량 LED는 배터리 잔량에 따라 3단계로 구분하여 녹색/오렌지색/적색으로 표시한다.

MCU 모듈은 WiFi PHY 기반의 ESP-NOW 프로토콜을 적용하기 위해 ESP32 계열의 MCU를 적용하였다. 그리고, 리프트 작업자의 안전을 보장하기 위해 SSPS 모듈은 리프트의 4개 모서리에 설치할 수 있으므로 하나의 시스템은 최대 4개의 SSPS 모듈로 구성된다. 4개 모듈간 정보 공유를 위해 WiFi 기반의 ESP-NOW 프로토콜을 적용하였다. ESP-NOW 프로토콜은 WiFi PHY를 사용하면서도 상위 계층의 프로토콜을 생략하여 응답이 빠르고, 저전력 모드를 지원한다⁴⁾.

그림 2는 SSPS 모듈에서 구동되는 MCU 제어 프로그램의 순서도이다. 먼저, ToF 센서를 보정한 후에 기능별 태스크(task)를 생성한다. 망내에 다른 모듈들이 존재하면, WiFi 통신으로 연결하고, ESP-NOW 프로토콜을 통해 다른 모듈들의 상태 정보들을 업데이트한다. 다음으로 ToF 센서에서 장애물까지의 거리를 측정한다. 측정된 거리가 안전 거리보다 짧으면 작업자의 위험 상태이므로 비활성화 스위치의 상태에 따라 릴레이를 제어한다. 비활성화 스위치가 눌리지 않은 상태에서는 릴레이를 NO 상태로 설정하여 리프트를 강제로 멈추게 하고, 눌린 상태에서는 센서의 위험

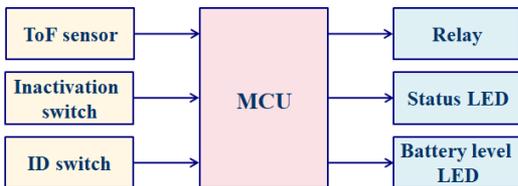


그림 1. SSPS 모듈 블록도
Fig. 1. Block diagram of SSPS module

표 1. SSPS 모듈 사양
Table 1. Specification of SSPS module

Item	Specification
MCU module	ESP32-WROOM-32D
Max. measuring distance	4m
Number of max. node	4
Networking method	ESP-NOW protocol
Battery	Lithium-ion 3.7V/1200mAh
Module size (mm)	90 * 60 * 32

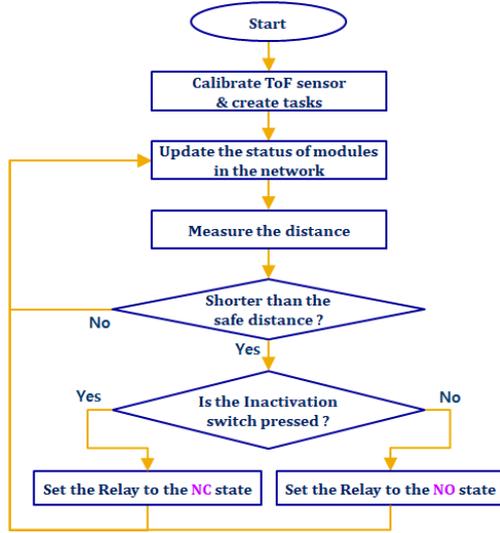


그림 2. 제어 프로그램 순서도
Fig. 2. Flowchart of control program

감지와 상관없이 릴레이를 NC 상태로 설정한다. 위의 과정을 주기적으로 반복하고, 동시에 모듈의 상태 정보를 공유함으로써 비활성화 스위치의 상태를 동기화하고 시스템의 안정성을 확보한다.

III. SSPS 시스템 구현 및 검증

그림 3은 구현된 SSPS 모듈의 실물 사진이다. ToF 센서는 PCB의 상부 면에서 중앙에 위치하고 커넥터를 통해 기구물의 상부에 연결된다. 그 외에도 PCB의 상부면에는 3개의 상태 LED, 배터리 잔량 LED, 그리고

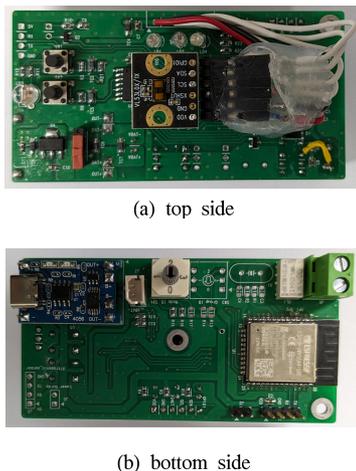
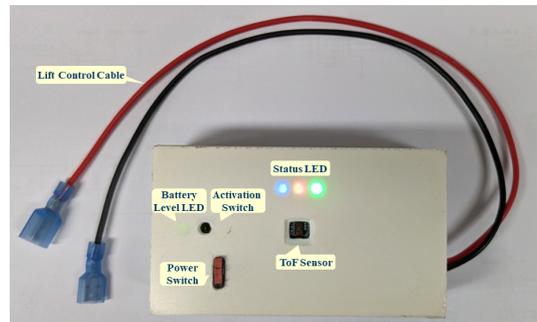


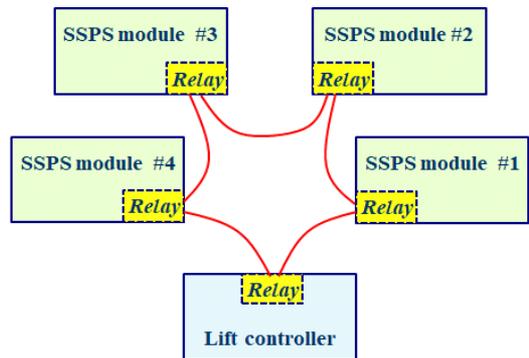
그림 3. SSPS 모듈의 PCB 사진
Fig. 3. PCB photos of SSPS module

고 비활성화 스위치가 배치된다. PCB의 하부 면에는 ESP32 MCU 모듈, 배터리 모듈, 로터리 스위치, 그리고 릴레이가 배치된다.

그림 4는 SSPS 시스템 검증에 사용된 SSPS 모듈의 실물 사진과 시스템 연결 구성도를 보이고 있다. 그림 4(a)에서 보듯이 SSPS 모듈은 리프트와 연결을 위해 릴레이에서 2개의 연결선이 제공된다. 그림 4(b)는 구현된 시스템의 동작 검증을 위한 리프트와 연결된 시스템 형상을 보이고 있다. 이는 과상승 방지봉을 4개의 모서리에 설치한 기존의 시스템과 호환되는 구조이다. 즉, 기존 4개의 과상승 방지봉을 제거한 후 4개의 SSPS 모듈로 대체하고, 기존의 결선에 SSPS 모듈의 릴레이 단자를 연결하였다. 4개의 모듈이 직렬로 연결되어 있으므로 센서에 의해 위험이 감지되지 않은 상황에서는 작업자가 리프트를 정상적으로 제어할 수 있다. 다만, 모듈 중에서 하나라도 위험을 감지하면 릴레이를 제어하여 연결 상태를 끊게 되어 리프트는 멈추게 된다. 특히, SSPS 모듈에서 배터리 성능 저하로 시스템 운영 중에 전원이 꺼지더라도 시스템 동작에 영향을 주지 않도록 하기 위해 릴레이의 초기 상



(a) SSPS module



(b) Connection diagram for system demonstration

그림 4. SSPS 시스템 시연
Fig. 4. Demonstration of SSPS system

태를 NC 상태로 설계하였다. 이와 같이 구현된 SSPS 시스템의 장점은 다음과 같다. 첫째, 위와 같이 기존의 과상승 방지봉을 적용한 장치를 완전히 대체할 수 있다. 둘째, ToF 센서를 적용하여 위험을 감지하므로 과상승 방지봉과 같이 물리적으로 감지하는 방식이 아니라 작업자의 작업환경에 방해되지 않는다. 셋째, 기존 시스템을 SSPS 모듈로 대체한다면 모듈간에 WiFi로 연결되므로 하나의 모듈만 리프트에 연결해도 제어가능하므로 물리적 연결 구성이 간소화될 수 있다. 마지막으로 SSPS 모듈이 WiFi로 연결되므로 추가적으로 통합관제 시스템을 구현한다면 다양한 통합관리 서비스가 가능해진다.

IV. 결 론

테이블 리프트 작업자의 안전과 작업 효율성을 높이기 위한 스마트 협착방지 시스템을 구현하고, 기능을 검증하였다. 개별 SSPS 모듈은 ToF 기반의 거리 센서를 적용하여 리프트와 천장까지의 거리를 주기적으로 측정하여 협착 위험을 판단하고, 릴레이를 제어하여 리프트의 상승을 제어한다. 그리고, 2개 이상의 SSPS 모듈은 WiFi 기반의 통신을 통해 서로 연결된 후, 위험 감지 정보, 비활성화 스위치 상태, 그리고 릴레이 제어 정보를 주기적으로 공유함으로써 보다 향상된 시스템 신뢰도를 확보할 수 있었다. 4개의 SSPS 모듈을 테이블 리프트에 장착하여 운영 시험한 결과, 안정적으로 동작함을 확인하였고, 이를 통해 리프트 작업자의 안전 확보에 기여하리라 확신한다.

References

- [1] Y. J. Kim, W. K. Seo, and T. Kim, "A case study of a safety accident prevention platform based on worker location," *The Korean Soc. of Manag. Consulting*, vol. 21, no. 1, pp. 325-334, Feb. 2021.
- [2] *E-ORBD(2022)*, Retrieved Apr. 24, 2023, from https://www.safeyoui.com/product/detail.html?product_no=58&cate_no=127&display_group=1
- [3] *VL53L1X, A New Generation, Long Distance Ranging Time-of-Flight Sensor Based on ST's FlightSense™ Technology*, STMicroelectronics, Feb. 2018.
- [4] *ESP-NOW protocol*, <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>