

무선 센서 네트워크를 이용한 안전모 착용 확인 시스템

장문석*, 염문진**, 송인용***, 권오상****, 이응혁**, 최상방*

* 인하대학교 전자공학과, ** 한국산업기술대학교 전자공학과, *** 한국산업안전공단 산업안전연구원, **** 경기공업대학 자동화시스템과

Check system for wearing hard hat with wireless sensor network

MunSuck Jang*, MunJin Yeom**, InYong Song***, Ohsang Kwon****, EungHyuk Lee**, SangBang Choi*

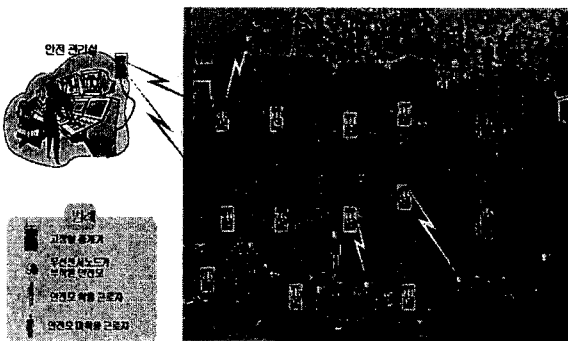
* Dept. of Electronic Engineering, Inha University ** Dept. of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University
*** Korea Occupational Safety & Health Agency **** Dept. of Automation System, Kyonggi Institute of Technology

Abstract - 본 연구에서는 건설현장에서 빈번히 발생하는 안전사고를 줄이기 위해 근로자의 안전모 착용 여부를 도와주고 안전관리 감독자가 쉽게 확인 및 관리할 수 있는 전자식 안전모 착용 확인 시스템을 개발하였다. 안전모 착용을 확인하기 위해 마그네틱 근접 센서를 안전모 턱끈에 장착하여 안전모 착용 여부를 검출할 수 있게 하였다. 그리고 무선 센서 네트워크를 구성하기 위해 424.700MHz 주파수를 사용하는 무선 모듈을 개발하여 안전모 외형에 장착하여 센서 노드(Sensor Node)를 구성하였으며, 메시 토폴로지(Mesh Topology)를 적용하였다. 그리고 중앙 관리실에서 근로자의 상황 인지를 위한 안전모 확인 모니터링 시스템을 개발하였다. 본 시스템으로 인하여 근로자의 안전을 도모하고, 안전 사고에서 근로자의 부상 및 인명 손실을 최소화할 수 있으며, 건설용 엘리베이터 안전 상황 인지, 타워크레인 안전 문제등의 시스템으로 활용이 가능할 것이다.

1. 서 론

산업재해 통계 중 상해부위별 사망분석 결과 근로자들이 가장 많이 다치는 곳은 머리부위이다(머리 : 39.95%, 전신 21.06%, 몸통 8.39%, 등 3.4%, 목 1.4%) [1]. 머리 사고의 대부분은 근로자의 추락사나 못이나 쇠조각 및 돌 조각이 얼굴 부위에 맞는 비례사고, 벽돌, 각목 등이 머리에 떨어져서 다치는 경우가 대부분이다. 이러한 머리 사고를 막을 수 있는 필수품이 안전모이다. 하지만 대부분의 근로자는 안전모를 제대로 쓰지 않는 것이 문제점으로 나타나고 있다. 안전모를 사용함에 있어서 턱끈을 제대로 착용하는 것은 중요하다. 턱끈을 제대로 착용하게 되면 안전사고의 정도를 물체의 충격으로부터 1/10로 줄여주기 때문에 안전을 지켜준다. 본 연구에서는 안전사고를 최소화 하고 안전관리 감독자가 근로자의 안전모 착용을 쉽게 확인 및 관리할 수 있는 무선 센서 네트워크 시스템을 이용한 안전모 착용 확인 시스템을 개발하였다. 이것은 무선 네트워크 모듈을 사용하여 효율적인 근로자 안전 관리를 할 수 있으며, USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 적용하여 근로자의 턱끈 착용 여부를 상황 인지를 할 수 있으며, 근로자의 정확한 안전모 착용 여부를 유도할 수 있다. 뿐만 아니라 본 기술로 건설용 엘리베이터 안전 상황 인지, 타워 크레인 안전 문제 등의 시스템으로 활용이 가능할 것이다.

2. 안전모 착용 확인 시스템



〈그림 1〉 안전모 턱끈 확인 장치 시스템의 구성도

2.1 관련 연구

기존에 안전사고를 줄이기 위한 연구는 많이 진행되었다. “건설사업관리(CM) 안전관리정보 시스템 개발에 관한 조사연구”에서는 안전 관리에 관한 사항을 5단계로 나누어 안전 관리 지침 모델을 제시하고 안전정보관리를 수행할 수 있는 시스템을 개발하였고[2], “건설안전정보시스템 구축에 관한 연구”는 안전정보를 재해사태와 연계하여 제공할 수 있는 안전 정보 시스템을 구축하였다[3]. “중소규모 건설현장의 안전수준을 고려한 안전 관리 프로그램 개발”은 안전관리 단계를 4단계로 설정하여 안전관리활동의 효과성과 효율성을 제고 시키도록 하였다[4]. 이러한 연구는 안전 관리 확

중에 관련된 연구이고 실제 건설 현장에 있는 근로자의 안전상황 인지를 못하기 때문에 안전사고가 발생하면 과거의 사고 유형을 벗어나지 못하고 있다.

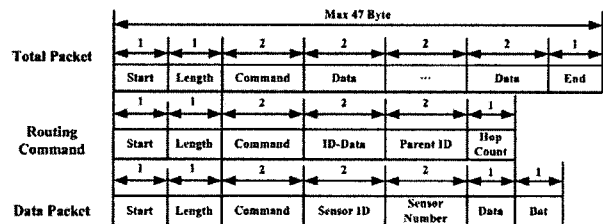
2.2 안전모 착용 확인 시스템의 개념

안전모 착용 확인 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 근로자는 턱끈 착용 확인이 가능한 센서를 내장한 무선 모듈(센서 모듈)을 안전모에 착용하고 작업을 하고, 안전모 턱끈 착용 여부를 각 작업장에 위치한 라우터로 현재 상태를 전송한다. 라우터는 근로자의 상태 정보를 안전 관리실에 위치한 싱크 노드로 전송하여 안전관리 감독자가 근로자 개인의 안전모 착용 여부를 확인할 수 있도록 하였다. 안전모는 일반 검증된 안전모를 사용하여야 하고, 안전모에 부착된 무선 모듈은 건설, 토목 현장등을 고려하여 장거리(최대 100m)를 통신할 수 있어야 한다. 그리고 무선 센서 네트워크 시스템은 무선 모듈, 라우터, 싱크노드로 구성하고, 멀티 홉 메시지를 전송하는 라우팅 알고리즘을 적용하였고, 싱크 노드와 연결된 안전관리 프로그램은 무선 모듈과 근로자 개인의 정보를 저장할 뿐만 아니라 현재 작업장의 정보 역시 확인할 수 있다.

2.3 무선 센서 네트워크 시스템

2.3.1 통신 프로토콜

본 연구에서 사용된 통신 프로토콜은 근로자의 안전모 턱끈 착용 여부를 확인하기 위한 것파 싱크 노드에서 최종 수집된 데이터를 PC 프로그램으로 전송하기 위한 것으로 나눌 수 있다.



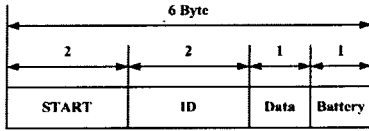
〈그림 2〉 패킷 정의

표 1. 패킷 항목별 파라미터 정의

항목	설명
Start	패킷의 시작
Length	Command + Data 길이
Command	특정 동작을 수행하기 위한 명령
Data	데이터
End	패킷의 끝
ID-Data	해당 센서 노드의 ID
Parent ID	부모 노드의 주소
Hop Count	싱크 노드까지의 홉 수
Sensor ID	센서 노드의 ID
Sensor Number	센서 노드의 종류
Bat	센서 노드의 배터리 잔량

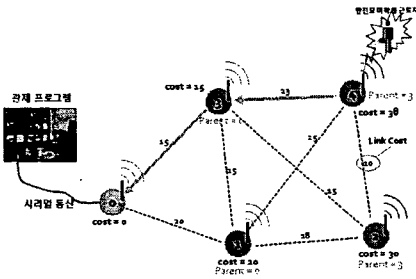
그림 2는 라우팅 정보를 구성하기 위한 패킷을 정의한 것으로 각 항목별 파라미터는 표1과 같다. Total Packet은 센서 네트워크에서 라우팅 정보를 구성하기 위한 것이고, Routing Command는 라우팅 정보를 구성하기 위한 패킷 중 센서 노드로부터 경로 정보를 전달받아 라우터 노드로 전송하는 메시지와 라우터 노드로부터 경로 정보를 전달 받아 싱크 노드로 전송하는 메시지 명령이다. Data Packet은 안전모 데이터 패킷을 전달하는 명

경과 데이터 부분을 나타내고 있다. 그림 3은 싱크 노드와 안전관리 프로그램과의 패킷을 나타내고 있다.



<그림 3> 안전 관리 프로그램의 패킷

2.3.2 라우팅 알고리즘



<그림 4> 라우팅 알고리즘

본 연구에 적용한 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘은 안전모를 착용한 근로자의 현재 상태 정보를 안전 관리 프로그램으로 전달하기 위한 알고리즘이다. 이것은 안전모에 장착된 무선 모듈을 엔드 디바이스(End-Device), 근로자의 상태 정보를 안전 관리 프로그램으로 전달하기 위한 라우터(Router), 근로자의 상태 정보를 모니터링 할 수 있는 안전관리 프로그램에 연결된 싱크 노드(Sink Node)로 구성이 된다.

싱크노드와 라우터는 서로의 정보를 전송하기 위해 브로드캐스트(Broadcast)로 멀티홉 메시지(Multi-Hop Message)를 전송하고, 전송된 멀티홉 메시지는 데이터의 크기에 따라 코스트(Cost)를 가진다. 코스트는 자기 자신에게 보내는 값은 0이고 보내지는 데이터 전력의 크기에 따라 증가한다. 그리고 데이터가 전송되지 않는 노드의 코스트 값은 무한대(∞)의 값을 가진다. 초기에 무선 라우터 노드와 싱크 노드에 전원을 인가하면 싱크 노드의 코스트는 0의 값을 가지고 싱크 노드의 인근에 있는 라우터 노드 1, 3은 무한대의 코스트 값을 가진다. 무선 라우터 노드는 멀티홉 메시지를 전송하여 싱크 노드와의 코스트 관계를 설정하게 된다. 일정 시간 이후 자신의 이웃 무선 노드들이 주기적으로 보낸 멀티홉 메시지에 포함된 경로 정보 및 해당 무선 노드의 cost값을 가지고 최소의 cost를 갖는 무선 노드를 부모 노드로 설정하게 된다. 그리고 1번 노드와 3번 노드들은 최소의 코스트를 가지는 0번 노드를 부모 노드로 설정한다. 하지만 노드 2와 노드 4는 싱크 노드와 관계가 이루어지지 않기 때문에 무한대의 코스트 값을 계속 유지하게 된다.

노드 2와 노드 4는 부모 노드를 설정하기 위해서 이미 경로를 설정한 자신의 이웃 노드 1과 3들이 주기적으로 보낸 멀티홉 메시지에 포함된 경로 정보와 해당 무선 노드의 코스트 값을 가지고 최소의 코스트를 가지는 노드를 부모 노드로 설정하게 된다. 노드 2는 노드 3과의 코스트는 15이고, 노드 1과의 코스트는 18 이기 때문에 부모 노드를 노드 3으로 설정하고, 노드 4는 노드 3과의 코스트는 23이고, 노드 1과의 코스트는 25이기 때문에 부모 노드를 3으로 설정된다.

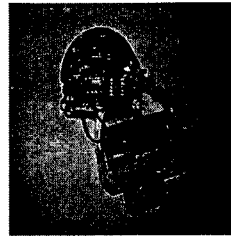
이러한 과정으로 각 노드들의 코스트와 부모 노드를 설정한다. 전체 설정된 경로를 보면 노드 1은 싱크 노드와 링크를 연결하고, 노드 2는 노드 3을 거쳐서 싱크 노드와 링크를 연결하고, 노드 3은 싱크 노드와 링크를 연결하고, 노드 4는 노드 3을 거쳐서 싱크 노드와 링크 노드를 연결한다. 각 노드 사이의 링크를 연결하면 각각의 무선 노드는 주기적으로 멀티홉 메시지를 주고 받으며 최적의 경로를 유지한다.

3. 안전모 턱끈 확인 시스템 구현

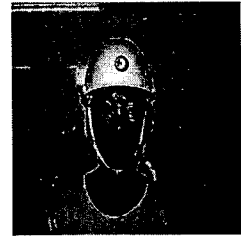
그림 5와 6은 본 연구에서 개발한 안전모와 무선 모듈을 나타내고 있다. 안전모는 일반 검중품을 사용하였다. 무선모듈(센서 모듈, 라우터, 싱크 모듈)은 TI사의 MSP430 8비트 마이크로컨트롤러를 사용하였고, 424.700~424.950MHz의 주파수를 사용하도록 하였으며, 소비 전류는 액티브 모드(Active Mode)일 경우에는 330 μ A, 슬립 모드(Sleep Mode)일 경우에는 8 μ A의 소비 전류를 가지도록 설계가 되었다. 뿐만 아니라 무선 모듈에는 작업장의 어두운 환경에서 사용자의 안전을 위해 고휘도 LED를 추가하여 작업자를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

그림 7은 무선 센서 네트워크 시스템을 적용하였을 때 무선 모듈을 130m를 기준으로 하여 통신 테스트의 결과를 나타내고 있다. 통신 데이터는 최소 95%이상의 데이터를 수신하였으며, 이것은 센서 모듈에서 전송되는 비컨(beacon)의 주기를 30초 가격으로 처리하고, 안전모 턱끈의 탈착되었을 때, 데이터 전송을 5회이상 연속으로 전송하여 최대 99%이상의 수신율로 올릴 수 있었다. 그리고 본 연구에서 테스트한 센서 모듈의 개수는 50

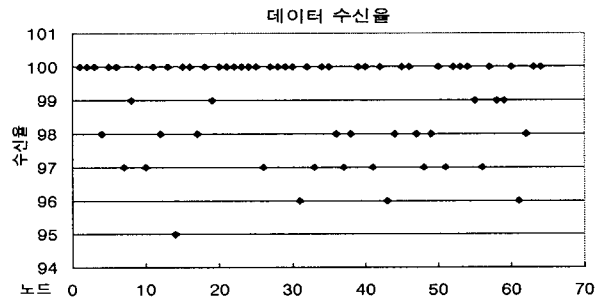
개로 하였다.



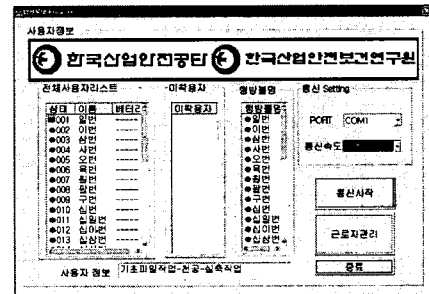
<그림 5> 무선 모듈



<그림 6> 안전모



<그림 7> 130m 거리에서 측정된 센서 모듈의 데이터 수신율



<그림 8> 근로자 관리 모니터링 프로그램

안전 관리 모니터링 프로그램은 그림 8과 같이 구성하였으며, Visual C++을 이용하여 구현하였다. 이것은 최대 1000명의 근로자의 상태를 확인할 수 있도록 설계되었으며, 근로자의 턱끈 착용 상태를 착용자(녹색), 미착용자(빨강색), 행방불명(주황색)으로 나누어 상태를 인지할 수 있도록 하였고, 사용자를 클릭하면 사용자 정보란에 등록된 사용자의 작업 정보를 출력할 수 있도록 하였다.

4. 결 론

본 연구는 산업 현장에서 가장 기본적인 안전 대책을 세울 수 있는 안전모에 무선 센서 네트워크 시스템을 접목시켜 근로자들의 안전모 착용 상태를 근로 감독자가 쉽고 빠르게 확인하도록 하였다. 이것의 결과로 근로자의 정확한 안전모 착용을 유도하고 안전사고 발생 시 부상 정도를 최소화할 수 있을 것이다. 향후 현재 테스트한 센서 노드의 수를 증가시켜 네트워크 노드에 대한 지연과 에러 대책이 필요하며, 추가 기능으로 안전사고 발생 시 응급 상황에 빠르게 대처할 수 있는 시스템으로 발전이 필요할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 노동부 연간 보고서, 2000-2003년 상해부위별 분석
- [2] 김영수, 박종근, "건설사업관리(CM) 안전관리 정보시스템 개발에 관한 조사연구", 한국안전학회지, 제19권2호, pp.75-87, 2004
- [3] 고성석, 송혁, "건설안전정보시스템 구축에 관한 연구", 한국안전학회지, 제16권4호, pp140-146, 2001.
- [4] 안홍섭, 이재용, 장명훈, 최순주, 고성석, "중소규모 건설현장의 안전 수준을 고려한 안전관리 프로그램의 개발", 한국안전학회지, 제14권 2호, pp170-177, 1999