

USN 기반 개인 안전벨트 모니터링 시스템의 구현

정선재¹ · 임재홍^{2*}

Implementation of USN based Personal Safety Belt Monitoring System

Seon-Jae Jeong¹ · Jae-Hong Yim^{2*}

¹Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

^{2*}Department of Electronic and Communications, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

요 약

각종 산업현장의 현장 작업자들이 안전 벨트를 제대로 착용하지 않아서 발생하는 안전사고는 매년 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 본 논문에서 제안하는 개인 안전벨트 모니터링 시스템은 작업자가 안전벨트를 착용하지 않고 작업을 진행할 경우 알람음을 울림으로써 작업자가 안전벨트를 제대로 착용하도록 하였다. 또한 그와 동시에 관리자가 실시간으로 작업자들의 안전 벨트 착용 여부를 모니터링함으로써 안전장비를 제대로 착용하지 않아서 발생하는 안전사고를 예방할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

The safety-related accident in which the field operators of all sorts of industrial sites don't fasten the seat belt properly and which it generates is the tendency that it increases constantly every year. By sounding the announcement sound in case the operator did not fasten the seat belt and the person seat belt monitoring system proposed in this paper progressed the work the operator fastened the seat belt properly. In addition, at the same time with that, since the administrator monitored the seat belt wearing or no of the operators on a real time basis the safety-related accident which did not wear the safety equipment properly and which it generates was prevented.

키워드 : 안전벨트 모니터링, Zigbee 통신, USN, RFID, Cortex-M3

Key word : Safety belt monitoring, Zigbee telecommunication, USN, RFID, Cortex-M3

접수일자 : 2014. 11. 18 심사완료일자 : 2014. 12. 11 게재확정일자 : 2014. 12. 26

* **Corresponding Author** Jae-Hong Yim(E-mail:jkyim@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4310)

Department of Electronic and Communications, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.3.724>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

통계청의 자료에 의하면 조선업 현장에서는 복잡한 작업 특성상 해마다 2,000여명의 재해자가 발생하고 있으며, 사망자 또한 해마다 40~50명씩 꾸준히 발생하고 있다. 그림 1은 2001년부터 2011년까지 조선업에서의 재해자 현황을 나타낸 통계 자료로써, 매년 꾸준히 재해자가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 조선 산업 현장에서의 안전 사고 및 재해 방지를 위한 시스템의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다[1].

안전 사고를 방지하기 위하여 산업 현장의 유해 위험 요인들을 찾아 제거 및 변경하는 것도 중요하지만, 작업자 개인이 보호 장비를 착용하는 것이 필수적이다. 하지만 많은 수의 작업자들이 불편함 및 번거로움 등을 이유로 안전 장비를 착용하지 않고 있으며, 이를 관리자가 확인·감독하기 위해서는 육안으로 검사하는 방법만이 존재한다. 하지만 조선 산업 현장은 다수의 작업자가 동시에 넓은 작업장 지역 범위 내에서 작업을 진행하게 되므로 개개인 착용하는 안전 장비들을 관리자에 의해 육안으로 검사하는 것은 매우 어렵고 비효율적이며, 작업 중간에 착용을 해제하더라도 확인할 수가 없다. 또한 대부분의 기업체에서 작업자들에게 안전 교육을 실시함으로써 이를 해결하려는 노력을 보이고 있지만 효과는 그리 크지 않은 실정이다.

본 논문에서는, 조선업 현장에서 작업자들의 안전벨트의 착용여부를 실시간으로 모니터링하고, 미착용시 관리자에게 알려줌으로써 작업자들이 의무적으로 안전벨트를 착용하도록 하는 시스템을 제안한다. 이 시스템을 통하여 조선업 현장에서 작업자들이 작업 시 안전벨

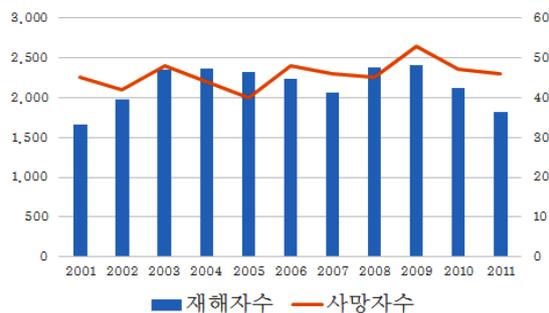


그림 1. 조선업의 재해자 현황
Fig. 1 Statistics of the number of sufferers in the shipbuilding industry

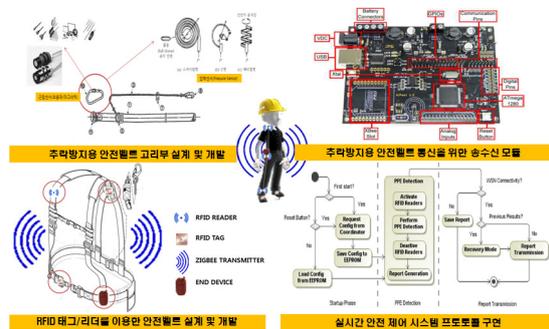


그림 2. 시스템 구성
Fig. 2 System configuration

트를 의무적으로 착용함으로써 안전 사고를 미리 예방하여 재해율을 줄이고 경제적인 손실을 방지할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구를 통해 만들어지는 시스템은 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있으며, 그림 2는 이를 그림으로써 도식화하였다[2].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 시스템의 설계 및 구현에 대해 설명하였으며, 2-1절에서 안전벨트의 착용 유무를 판독할 판독장치 부분에 대한

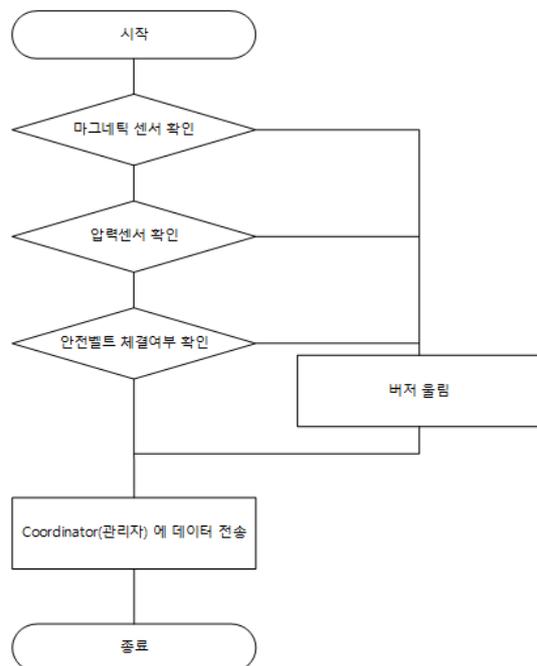


그림 3. 시스템 동작 순서도
Fig. 3 System flow chart

설계 및 구현에 대하여 설명하였다. 2-2절에서는 송수신 모듈의 설계 및 구현에 대하여 설명하였으며, 2-3절에서는 데이터를 수집·표시하는 Coordinator에 대해 설명하였다. 3장에서는 본 시스템을 실제 산업현장에서 활용하기 위한 성능테스트 및 시험인증 결과에 대해서 서술하였으며, 4장은 결론으로 구성하였다.

II. 시스템의 설계 및 구현

본 논문의 시스템은 크게 안전벨트 착용여부 판독장치, 송수신 모듈, Coordinator의 세 부분으로 구성된다. 안전벨트 착용여부 판독장치는 소형으로 제작되어 안전벨트 허리 부분에 내장되며, 안전벨트 각 부분의 센서와 통신하며 안전벨트가 정상적으로 착용되었는지에 대한 여부를 판단하게 된다. 송수신 모듈은 Zigbee 모듈이 내장되어 Coordinator로 일정 시간마다 안전벨트 착용 상태를 알려주게 된다. Coordinator는 관리자의 컴퓨터 또는 태블릿 PC에 Software의 형태로 설치되며, USB 형태의 Zigbee 수신 모듈을 포함하게 된다. Zigbee 통신은 이론적으로 최대 65,536개의 노드를 수용할 수 있으므로 일반적인 산업 현장에서는 문제없이 활용이 가능할 것으로 판단되며, 노드 수가 많아질 경우에는 현장 중간에 라우터를 설치하여 각 라우터에서 데이터를 중계하는 형태로 개선할 수 있다.

2.1. 안전벨트 착용여부 판독장치 설계 및 구현

본 논문의 장치에서는 3개의 센서를 이용하여 안전벨트 착용유무를 검사하게 된다. 먼저 RFID READER 및 TAG를 이용하여 안전벨트를 착용한 작업자의 허리 부위의 벨트 착용 유무를 판단하게 되고, 마그네틱 센서와 압력 센서를 이용하여 안전벨트와 연결되는 고리의 착용 여부를 확인하게 된다.

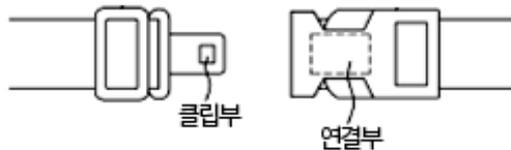


그림 4. 안전벨트 연결부 설계
Fig. 4 Design for safety belt connector

그림 4에서 도식화한 것과 같이 내부로 연결되는 클립부에는 RFID TAG가 삽입되며, 내부 고리의 연결부에는 RFID READER가 삽입된다. 단순히 센서로 접촉 여부를 판별하는 방식으로도 설계할 수 있지만, 가혹조건에서 주로 사용되는 안전벨트의 특성상 장기간 사용할 경우 제대로 접촉이 이루어지지 않는 등 내구성의 문제로 인해 근거리 접촉만으로도 센서를 인식할 수 있는 RFID를 활용하기로 하였다. 물론 RFID를 활용할 경우 안전 벨트가 제대로 착용되지 않아도 인식되는 등의 문제가 발생할 여지도 있으나, 이는 연결부의 RFID READER의 인식 거리를 2~3cm 이내로 제어함으로써 해결하도록 하였다. 또한 최소 크기라고 할 수 있는 60mm정도의 크기의 RFID READER를 사용함으로써 작업자의 편의를 고려하였다[3].

안전 벨트의 착용 여부와 함께 작업자의 안전을 보장하는 데 필수적인 요소로 안전벨트의 고리를 들 수 있다. 안전벨트의 고리는 작업 현장의 주상안전대에 결합되어 작업자의 추락을 직접적으로 방지해주는 역할을 한다. 하지만 이 또한 작업자들이 불편함을 이유로 제대로 결합하지 않고 작업하다가 추락으로 부상이나 사망에 이르는 경우가 빈번한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 안전벨트의 착용 여부와 함께 마그네틱 센서 및 압력센서를 이용하여 주상안전대에 고리가 제대로 체결되었는지를 확인하는 알고리즘을 추가하였다.

먼저 마그네틱 센서는 그림 5와 같이 고리 결합부에 위치한 자석과의 접촉 유무를 판단함으로써 고리가 체결되었는지 여부를 확인하게 된다. 원래 안전벨트의 고리는 사용자가 손으로 압력을 가하지 않는 이상 자동으로 고리가 체결되는 구조이므로 불필요한 기능이라고도 볼 수 있겠으나, 안전벨트의 노후화나 주상안전대의 굽기 등 여러가지 내·외부적 환경으로 인해 간혹 안전 고리가 제대로 체결되지 않는 경우가 발생한다.

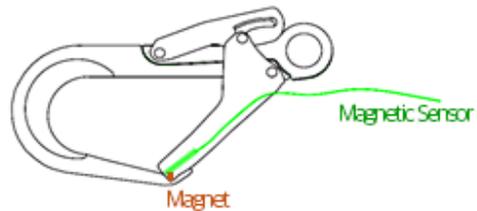


그림 5. 고리부 마그네틱 센서
Fig. 5 Magnetic sensor of carabiner

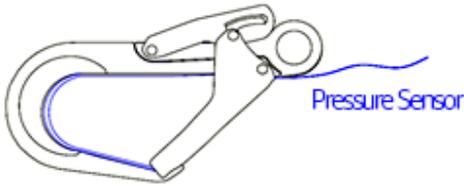


그림 6. 고리부 압력 센서
Fig. 6 Pressure sensor of carabiner

이런 경우 작업자는 안전 고리가 제대로 체결되었다고 판단하고 작업을 진행하다가 고리가 풀려 추락하는 경우가 발생할 수 있으므로, 센서를 통하여 확실하게 안전 고리의 착용 여부를 판단할 수 있도록 하였다.

일반적인 안전벨트의 경우 무게상의 이점을 위하여 스테인리스(Stainless)소재로 제작되게 된다. 따라서 자석이 별도로 포함되지 않을 경우 마그네틱센서가 인식을 하지 못하는 문제가 발생하므로, 고리부에 정밀 가공을 통하여 별도의 소형 자석을 삽입하였다.

하지만 마그네틱 센서만으로는 안전 고리의 체결 여부를 정상적으로 확인할 수 없다. 주상안전대에 안전고리를 체결하지 않더라도 마그네틱 센서 만으로는 이미 고리가 체결되었다고 판단하기 때문이다. 이를 보정하기 위하여 추가적으로 압력 센서를 활용하게 된다.

그림 6은 압력 센서의 컨셉 디자인이다. 압력 센서는 그림과 같이 주상안전대와 접촉하여 압력을 견뎌야 하는 부분에 부착된다. 따라서 주상 안전대에 고리를 결합하게 되면 중력으로 인한 압력에 의해 체결여부를 판단하게 된다.

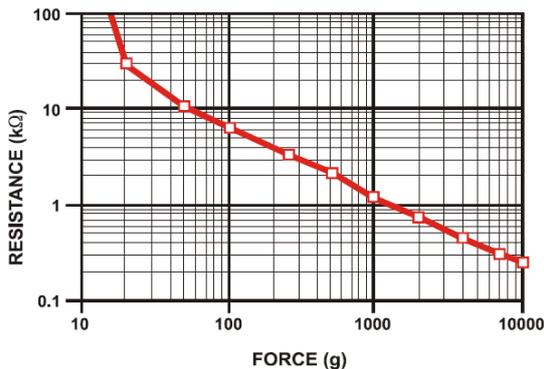


그림 7. 압력에 따른 저항값의 변화 그래프
Fig. 7 Graph of the resistance value corresponding to the pressure

표 1. Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi 비교표

Table. 1 Comparison table for Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi

	Zigbee	Bluetooth	Wi-Fi
표준화	IEEE802.15.4	IEEE802.15.1	IEEE802.11
주파수 대역	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
전력 소모량 (Active)	50~60mW	60~70mW	300mW
전력 소모량 (Sleep)	2~10pW	20~30μW	1~3mW
전송거리	1~100m	1~10m	1~30m
전송속도 (데이터 비)	20~250Kbps	1Mbps	54Mbps

본 연구에서 활용한 압력 센서의 경우 10~10,000g의 가압에 의해 저항값이 100~0.1kΩ까지 변화하여 마이크로프로세서로 전달하도록 하였다. 그림 7은 본 논문의 시스템에서의 인지하는 압력에 따른 저항변화값 그래프를 나타내고 있다.

이러한 세 가지 방식으로써 안전벨트의 착용 여부를 판단하게 되는데, 센서로부터 값을 수신하여 실제로 안전 벨트의 착용 여부를 판단하는 것은 안전벨트에 삽입된 송수신 모듈의 역할이다. 송수신 모듈의 경우 Cortex-M3사양의 마이크로프로세서가 삽입되며, 모니터링을 위한 Coordinator 컴퓨터로 데이터를 전송하는 역할을 맡게 된다. 이 때 각 센서값의 전송을 처리할 뿐만 아니라 종합적으로 안전벨트가 착용되었는지의 여부를 판단하여 만약 착용이 일정 시간 이상 제대로 되지 않았을 경우 내장된 버저에서 알림음을 울림으로써 작업자가 제대로 안전 벨트를 착용할 수 있도록 하였다.

2.2. 송수신 모듈의 설계 및 구현

본 논문에서의 “송수신 모듈”이란, 작업자의 안전벨트에 연결되어 Coordinator로 센서 값과 안전벨트 착용 여부를 실시간으로 전송하는 모듈을 의미한다.

송수신 모듈은 각종 센서 및 RFID READER에서 송수신되는 데이터를 처리하여 서버와의 통신을 연결하는 본 기술 개발의 주요 부품으로써, Zigbee 통신 방식을 사용함으로써 주파수 대역은 ISM 2.4GHz 대역을 사용하게 된다. 해당 모듈은 배터리를 포함하는 휴대용 모듈임을 고려하여, 저전력으로 통신을 하게 되며 일정

시간 이상 동일한 데이터를 전송하게 되면 데이터가 변화할 때 까지 전송을 지연시킴으로써 전력낭비를 최소화하였다[4].

송수신 데이터는 9600Baud로 전송하게 되며, 데이터가 변화할 경우 최대 3초 이내에 데이터를 전송함으로써 실시간으로 Coordinator가 안전 벨트의 착용현황을 수집할 수 있도록 하였다.

Coordinator와 모듈간의 데이터 통신은 앞서 언급하였듯이 Zigbee를 이용하게 된다. 이는 Zigbee 통신이 Wi-Fi나 Bluetooth 통신에 비해 전력과 거리상에서 충분한 이점을 가지고 있기 때문이다. 표 1에서는 Zigbee와 Wi-Fi, Bluetooth에 대해 비교하였다[5]. Bluetooth의 경우 전력 소모량은 우수하나 전송거리가 최대 10m 이내로써 넓은 작업공간 범위를 커버해야만 하는 본 연구에 부적합하며, Wi-Fi의 경우 큰 전력 소모량으로 인해 배터리를 이용하여야 하는 본 모듈에는 적합하지 않았기에 Zigbee를 활용하도록 하였다[6].

그림 8은 본 연구를 통해 개발된 송수신모듈의 시제품 PCB 모습이다. ARM사의 Cortex-M3 기반으로 보드를 설계함으로써 각종 센서와 RFID READER를 동시에 실시간으로 처리하더라도 부하가 적게 생기도록 설계하였다. 송수신 모듈은 “대기 (Sleep)”, “전송 (Transmit)”, “수신 (Receive)” 단계를 반복하여 수행한다. 전력 소모량을 줄이기 위하여 센서 값들이 일정 시간 동안 변화가 없을 경우에는 데이터 전송을 멈추고 대기모드에서 전력을 소비하지 않도록 설계하였다. 데이터 송신은 MaxStream社의 XBee-Pro 모듈을 활용하여 그림 9와 같은 형태로 시제품을 제작하였다.

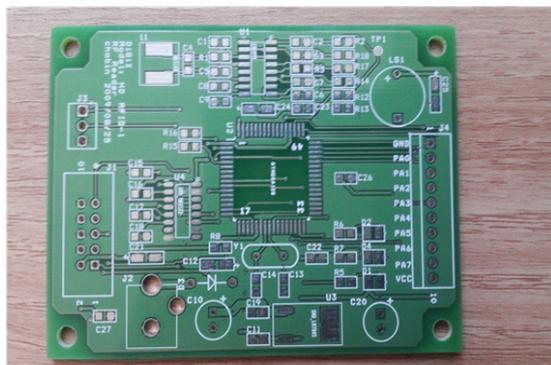


그림 8. 송수신 모듈 시제품 PCB 모습
Fig. 8 Prototype PCB for transceiver module

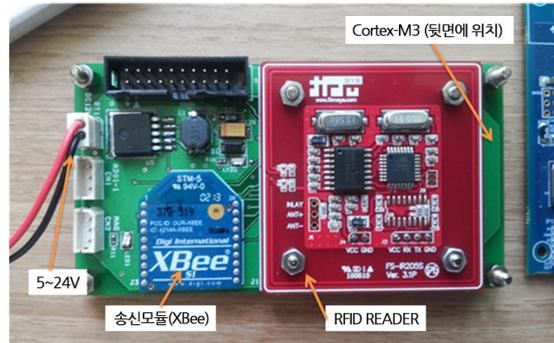


그림 9. 송수신 모듈 시제품 모습
Fig. 9 Prototype for transceiver module

2.3. Coordinator 설계 및 구현

각 작업자들로부터 데이터를 수신하여 종합하는 Coordinator는 C#으로 프로그래밍되었다. Coordinator Software는 안전벨트에 장착된 송수신모듈에서 전송하는 데이터들을 실시간으로 수집하여 디스플레이하게 되며, GUI 방식으로 구현함으로써 관리자가 한 눈에 여러 명의 작업자를 쉽게 모니터링 할 수 있도록 구현하였다. 그림 10은 관리자용 소프트웨어 작동 모습 사진이다. 미착용으로 판단될 경우, 붉은 색의 음영처리로써 관리자가 한 눈에 파악할 수 있도록 구성하였다. 각 작업자들의 구분은 내부적으로는 구분 코드를 이용하여 구분하게 되지만, 관리자가 임의적으로 이름을 변경하여 표시할 수 있도록 설계함으로써 혼란을 최소화하였다.[7]

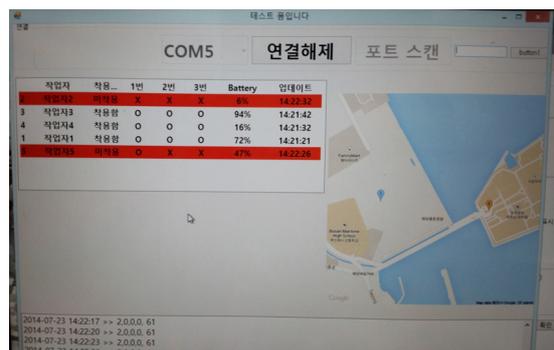


그림 10. Coordinator 동작 모습
Fig. 10 Operation screen of the coordinator

III. 시험 및 성능평가

성능테스트는 시제품의 통신 거리 테스트, 동작시간 테스트, 환경 시험(고온,저온), 전자파 영향 시험 4가지로 나누어 진행하였다. 이중 통신 거리 테스트 및 동작 시간 테스트는 실제 사용환경과 유사한 환경에서 직접 테스트를 진행하였으며, 환경시험 및 전자파 영향 시험의 경우 한국조선해양기자재연구원에 위탁하여 성능시험을 진행하고 성적서를 발급받았다.

먼저 통신 거리 테스트의 경우 약 30~40m 정도의 범위에서는 데이터 손실률이 1% 미만으로 나타났으며, 그 이상의 범위에서는 손실이 발생하였다. 이후 80m가 넘어가기 시작하자 데이터가 70%이상 손실되는 것으로 나타났다. 이는 Zigbee 모듈 자체에 내장되어 있는 안테나의 한계로 인한 문제로 파악되며, 추후 안테나를 외장형으로 교체하거나 작업 공간에 별도의 라우터(Router)를 설치함으로써 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 11은 동작시간 테스트 결과를 그래프 형태로 나타낸 것이다. 해당 시스템의 동작가능 전압범위는 6V ~ 24V이지만, 편의상 시중에서 판매하는 9V 200mA 배터리로써 시험을 진행하였다. Awake 모드를 유지하며 테스트를 진행한 결과, 대략 1시간 10분정도 초과하자 데이터 전송이 종료되었다. 하지만 대기 모드에서는 약 5시간정도 전력이 유지되는 것으로 나타났으며, 배터리를 시중에 판매하는 전해 알카라인 배터리가 아닌 고용량의 리튬폴리머 배터리로 교체함으로써 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

고온-저온 환경 시험 및 전자파 영향 시험의 경우 공신력 확보를 위하여 한국조선해양기자재연구원에 의뢰하여 진행하였다. 고온 시험의 경우 그림 12와 같이 표준 대기 상태에서 55°C가량까지 분당 1°C정도 상승시

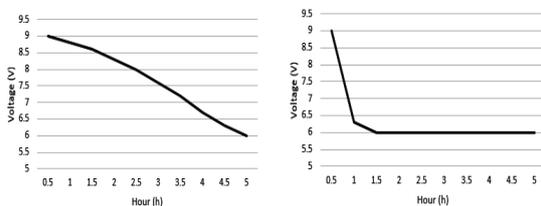


그림 11. 동작 시간 테스트
Fig. 11 Operation time testing

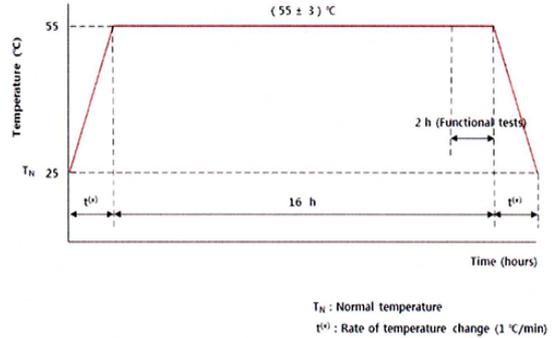


그림 12. 고온 환경 시험
Fig. 12 High temperature testing

켜, 55°C가량에서 약 16시간동안 환경을 유지하고 동작 상태를 확인하고, 분당 1°C씩 하강시킨 후 다시 동작 상태를 확인하는 방식으로 진행되었다. 저온 시험의 경우 -20°C 환경에서 동일하게 진행되었으며 추가적으로 고온-저온 시험간 과전원 공급 시험도 진행되었다. 과전원 공급 시험의 경우 약 30%정도 과전원을 인가한 후 테스트를 진행하였다. 환경 시험 결과 전체 적합 판정을 받았으며 시험인증 후에도 제품에 별다른 문제점은 발견되지 않았다.

전자파 시험은 외함 포트의 발산 방사 시험과 정전기 방전에 대한 내성 시험 두가지로 진행하였다. 외함 포트의 발산 방사 시험 결과는 그림 13과 같은 결과가 나왔으며, 이는 복사방출 한계에 적합한 것으로 인증되었다. 또한 정전기 방전에 대한 내성 시험은 적합성 성능 기준 A에 적합한 것으로 평가되었다.

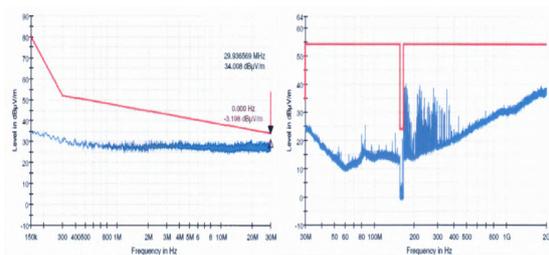


그림 13. 외함 포트의 발산 방사 시험 결과 (좌측 : 150kHz~300MHz, 우측 : 30MHz~200GHz)
Fig. 13 Divergent radiation test results of the enclosure port (Left : 150kHz~300MHz, Right : 30MHz~200GHz)

IV. 결 론

본 논문에서는 조선업 현장에서의 안전 벨트 착용 여부를 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안함으로써 작업자의 추락사고 및 안전사고를 예방할 수 있도록 하였다. 본 연구를 통해 개발된 시제품은 기존 고소작업용 안전 벨트와 동일 형태로 제작함으로써 작업자가 전혀 불편을 느끼지 않는 범위에서 착용할 수 있게 개발하였으며, 산업 현장에서 작업자들이 안전용구를 착용하지 않음으로 인해 발생하는 안전사고를 획기적으로 줄일 수 있을 것이라 기대된다. 또한 관리자는 일일이 육안으로 일일이 작업자들의 개인 안전 장비를 착용여부를 관리 감독해야 하는 번거로움을 줄일 수 있을 것이다.

또한 산업용 안전 장비와 IT기술이 융합한 기술 개발은 활발히 이루어지고 있으나, 상용 제품이 거의 없는 실정에서 본 기술개발을 통해 유사 분야에서의 다양한 기술 개발이 이루어질 것으로 기대된다고 할 수 있겠다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Employment and Labor, "Current Status of Occupational Accidents", 2013.
- [2] Y. Choi, "The Study of the characteristics of the Workers Related to Fall Accidents in the Shipping Industry", M.S. Theses, Hansung Univ., Seoul, Korea, 2011.
- [3] Y. S. Jeong, "Near-Field RFID Reader Antenna Based on a Loop", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 12, no. 8, pp. 25-32, Aug. 2014.
- [4] S. K. Yoon, "The Low Power Algorithm of ZigBee Router for Non Beacon Enabled PAN", *Proceedings of HCI Korea 2008*, pp. 280-285, Feb. 2008.
- [5] B. I. Choi, "A study on U-City Component Technology", M.S. Theses, Joongang Univ., Seoul, Korea, 2011.
- [6] IEEE Std. 802.15.4, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, IEEE, New York, NY., 2011.
- [7] E. Y. Ha, "Classroom Power Management System using USN technology", *Proceedings of the 30th KISS Fall Conference*, vol 34, No. 2(D), pp. 500-504, Oct. 2007.



정선재(Seon-Jae Jeong)

2013년 한국해양대학교 공과대학 전자통신공학과 공학사
2013년~현재 한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 해양안전·재해그룹 석사과정
※관심분야 : 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크



임재홍(Jae-Hong Yim)

1997년~2000년 부산울산지방중소기업청 기술자문위원
1997년~2000년 부산광역시 사이버해양박물관 구축자문위원
2005년~2007년 한국해양대학교 정보전산원 원장
2007년~현재 캐나다 Simon Fraser University 방문교수
1995년~현재 한국해양대학교 공과대학 전자통신공학과 교수
※관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크