

작업장에서의 안전사고 예방을 위한 스마트 안전관리 시스템 설계

엄 정 호

대전대학교 군사학과&안전융합학부 교수

An Architecture of a Smart Safety Management System to prevent safety Accidents in Workplace

Jung-ho Eom

Professor, Department of Military Studies&Safety convergence, Daejeon University, Daejeon 34520, Korea

[요 약]

제4차 산업혁명기술이 다양한 부문에 적용됨에 따라 산업 분야에서도 스마트 생산공정 플랫폼이 생겨나고 있다. 특히 재해 및 안전관리 기술 분야에서 산업안전 사고를 줄이기 위해 제4차 산업혁명기술이 적용되고 있다. 제4차 산업혁명기술을 접목한 재난안전관리 시스템의 개발은 제3차 재난안전관리 기술 개발 계획의 핵심 개발기술로, 인공지능, IoT 및 빅데이터를 적용한 미래 재난 예측 및 조기경보 시스템 개발 등이 포함된다. 본 연구에서는 제4차 산업혁명기술을 접목한 스마트 안전관리 시스템을 제안하여 작업장에서의 안전사고를 예방하고자 한다. 제안한 안전관리 시스템에는 IoT, 빅데이터, 인공지능, 그리고 지능형 CCTV 기술을 접목한 자동화된 안전감시 시스템과 작업자의 위험감지 시스템을 포함한다.

[Abstract]

As the 4th Industrial Revolution technology is applied to various sectors, it is creating a smart production process platform in the industrial sector. In particular, in the area of disaster and safety management technology, the 4th Industrial Revolution technology is applied to reduce industrial safety accidents. The development of disaster safety management system applying the 4th industrial revolution technology is a key point in the third disaster and safety management technology development plan. It includes development of future disaster prediction and early warning system using artificial intelligence, IoT and big data. In this research, we propose the architecture of smart safety management system using the 4th industrial revolution technology to prevent safety accidents in the workplace. The safety monitoring system includes an automated safety monitoring system and a worker's dangerous behavior detection system based on the IoT, intelligent CCTV, big data, and artificial intelligence technology.

색인어 : 안전관리, 안전감시, 감지 시스템, 스마트 안전시스템, 조기경보 시스템

Key word : Safety Management, Safety Monitoring, Detection System, Smart Safety System, Early Warning System

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.4.817>



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.

Received 28 February 2020; Revised 15 April 2020

Accepted 25 April 2020

*Corresponding Author; Jung-ho Eom

Tel: +82-42-280-2087

E-mail: eomhun@gmail.com

I. 서론

최근 작업장에서 화재나 폭발 등 재난 유형과 양상이 불확실한 특성을 갖으면서 복잡해지고 다양해짐에 따른 안전사고로 인해 경제적 손실이 막대해지고 있다[1]. 공공기관의 산재 사고는 매년 끊임없이 발생하는 가운데 산재로 인한 인명사고는 감소하는 추세이지만, 발생 건수는 매년 천여 건 이상 기록하고 있다[2]. 그래서 공공기관은 작업장에서의 산재를 예방하기 위해서 작업장 안전관리 대책을 강화하고 작업장의 위험요소를 발굴하며 안전관리체계를 개선하기 위한 노력을 꾸준히 하고 있다. 특히, 4차 산업혁명기술을 재난안전 분야에 접목함으로써 재해 취약지역을 모니터링하여 발생 가능성이 있는 안전사고 전조를 조기에 예·경보하고 안전위험 요소를 예측 평가하여 사전에 재해를 예방하는 기술을 개발하고자 한다. 또한, 급속한 작업환경 변화에 대처할 수 있도록 신속하고 유연하고 개방적인 재해 안전관리 감시 시스템으로 전환을 모색하고 있다[3].

제조업과 같은 산업 현장에서도 첨단 정보통신기술과 과학기술이 융·복합되어 적용됨에 따라 산업 현장의 환경이 급격히 변화되고 있는 가운데 새로운 위험요소가 생겨나기 시작했다. 따라서 신기술을 활용하여 작업 현장을 감시하고 작업자의 동선을 예측하여 선제적으로 위험요소를 제거하는 안전관리 기술 개발에 박차를 가하고 있다[4].

작업장에서 발생할 수 있는 사고 위험은 작업장 환경 요소에 의한 사고와 인적 요소인 작업자에 의한 사고로 구분할 수 있다. 작업장 환경 요소에 의한 사고원인은 가스 누출, 합선에 의한 불꽃, 온도의 급격한 상승, 기계 설비의 오작동 및 결함 등이 있을 수 있다. 인적 요소에 의한 사고원인은 미숙련, 작업절차 미준수, 작업동선의 무단 이탈 등 작업자에 의한 실수와 부주의가 대부분이다. 위의 2가지 사고 요소만 최소화한다면 작업장에서 발생하는 재해는 현격히 줄어들 것이다. 그래서 본 논문에서는 스마트 안전관리 시스템으로 작업장 환경을 24시간 감시할 수 있는 자동화 안전감시 시스템과 작업자의 작업 행동을 감시하는 위험 감지 시스템의 설계 방안을 제안하고자 한다.

본 논문은 2장에서 작업장 안전관리체계에 적용 가능한 4차 산업혁명기술을 살펴보고, 3장에서는 작업장에서 발생할 수 있는 위험요소에 대해서 기술한다. 4장에서는 스마트 안전관리 시스템 설계를 제안하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 작업장 안전관리시스템에 적용 가능한 제4차 산업혁명 기술

최근에는 공공기관의 작업장 안전강화 대책 일환으로 스마트 안전사고 예방 시스템 구축을 포함하고 있다. 안전사고 예방 시스템은 IoT 센서, 빅데이터 등의 기술을 접목하여 작업 위험

성을 실시간으로 감시하고 예측하는 스마트 안전관제 시스템과 가스 누출을 탐지하는 가스 원격 감시, 작업장 환경 변화를 탐지하는 지능형 이상 징후 감시 시스템 등을 포함한다[2]. 이렇듯 작업장에서 발생할 수 있는 안전사고의 요인을 선제적으로 식별하고 능동적으로 예방하기 위해서 4차 산업혁명기술을 접목하고 있다. 다음은 안전관리 기술, 특히 제안한 시스템에 접목할 수 있는 4차 산업혁명기술을 살펴본다.

2-1 인공지능(AI)

인공지능(AI; Artificial Intelligence) 기술은 컴퓨터가 데이터를 기반으로 학습하고 새로운 입력 데이터에 따라 기존의 처리방식을 조정하며 문제를 해결하는 기술로, 머신러닝과 딥 러닝 알고리즘을 포함한다. 머신러닝은 데이터를 분석하여 학습하며, 학습한 내용을 기반으로 판단이나 예측을 수행한다. 딥 러닝은 기계가 입력값에 대해 여러 단계의 신경망을 거쳐 자율적인 사고단계를 통해 결론을 내린다. 이러한 기능을 통해 이미지와 영상 인식, 음성 인식, 학습 및 추론 기술에 적용되고 있으며, 의사결정지원 시스템의 코어 알고리즘으로도 활용된다[5].

인공지능은 스마트 재난안전관리체계의 예방이나 탐지 단계에서 사용되는 의사결정, 예측 기능 등에 적용되고 있다. 작업장 안전관리 시스템에서는 작업환경을 판단하고 위험을 예측하는 기술에 적용이 가능하다. 즉, 다양한 IoT 센서로 수집한 데이터를 빅데이터 기술로 처리하고 작업환경 판단 모듈에 인공지능 알고리즘을 적용하여 신속하게 환경 위험 수준을 판단할 수 있다. 또한, 기존의 작업환경 관련 빅데이터를 학습하여 현재 수집되는 데이터의 패턴을 분석하여 사전에 위험요소를 식별하고 위험 발생을 예측할 수 있다. CCTV에 인공지능 알고리즘을 적용한 지능형 AI CCTV는 작업자의 행동 패턴을 분석하여 이상행동을 탐지할 수 있다.

2-2 사물인터넷(IoT)

사물인터넷(IoT; Internet of Things)은 인간과 사물, 서비스 세 가지 분산된 환경 요소가 센싱, 네트워킹, 정보처리 등 지능적 관계를 형성하는 기술이다. 특히, 센서 기술은 정보를 수집하는 도구로 사물 식별, 온/습도, 거리 등 환경 정보 등을 판별하는 센서들로 구성되어 있어 실시간 데이터 수집에 활용되고 있다[6]. IoT 센서에는 환경 정보를 수집할 수 있는 다양한 센서가 있고 실시간 IoT 통신기술을 통해서 데이터를 전송할 수 있기 때문에 재난안전관리체계의 예방 단계에 많이 활용된다. 특히, 화재 예방 분야에서는 불꽃, 연기, 온도 측정 센서가 많이 활용되고 폭발 예방 분야에서는 가스 누출, 압력 측정 센서가 활용되기도 한다. 또한, 하천 수질, 공장 배출 가스, 미세먼지, 악취 등의 탐지할 수 있는 센서를 통해서 환경오염 모니터링이 가능하다[7].

2-3 빅데이터(Big-Data)

빅데이터 기술은 정형 또는 비정형 데이터를 포함한 대용량 데이터를 수집하여 전처리 과정을 통해서 의미 있는 데이터를 추출하고, 다양한 분석 방법을 통해서 도출한 분석 결과를 기반으로 필요한 정보를 얻을 수 있다. 빅데이터의 핵심 기술은 대용량의 데이터 중에서 알려지지 않은 데이터로부터 일정한 패턴을 찾아가는 데이터 분석기술이다[8]. 분석기법에는 데이터 마이닝과 텍스트 마이닝 기법을 비롯한 최적화 기법 등이 있다. 안전 분야에서의 빅데이터 기술은 다양한 IoT 센서로부터 수집된 방대한 데이터를 분석함으로써 사고 요인과 관련된 데이터를 식별하고 잠재적인 사고요인까지 발굴함으로써 사고 징후를 탐지하게 한다. 특히, 데이터 분석을 통해서 도출된 패턴은 패턴 분석을 통해서 현재 상황과 미래에 발생 가능한 상황까지 예측함으로써 선제적인 예방 활동을 가능하게 해준다[9].

2-4 지능형 CCTV

최근 CCTV의 기능은 방법, 교통 감시 기능뿐만 아니라 화재, 범람 등 인간이 감시하기 어려운 지역에서의 화재나 하천 범람 등과 같은 재해를 감시하는 영역까지 넓혀가고 있다. 특히, IoT 센서기술과 인공지능 기술이 접목되면서 기존의 감시 역할에서 스스로 영상을 분석하거나 사물의 움직임, 이상 인식 및 물체 검출 등 지능화된 기능도 수행한다. 딥러닝을 적용한 행위 기반 객체 검출이나 DNN 기반 객체 검출 기능을 추가하여 사고요인을 탐지하기도 한다[10]. 지능형 CCTV는 작업장 안전관리 감시에도 활용범위를 넓혀가고 있는데, 공구나 장비의 불안정한 위치, 작업자의 정상적인 패턴을 벗어난 행위를 감지하여 사고를 미연에 방지할 수도 있다.

III. 작업장에서의 위험 요소

작업장에서의 산업재해는 안전교육과 작업장 안전상태 점검을 주기적으로 실시하고 있지만, 매년 발생하고 있다. 그나마 공공기관 작업장의 산재사고는 줄어들고 있지만 매년 천여 명의 부상자가 발생하고 있다. 주요 사고원인으로는 자재 낙하, 안전장비 미설치, 작업자의 부주의, 장비 결함, 전기계통 결함 등으로 나타났다[2]. 작업장에서의 위험은 주로 부주의한 작업자나 안전성을 확보하지 못한 작업 공간과 환경, 절차를 준수하지 않은 작업 과정 중에서 발생한다[11], [12].

본 연구에서는 참고문헌 [2], [11], [12]에서 제시한 작업장의 위험 발생 사례와 위험요인을 토대로 위험 발생 요인을 작업자, 작업 방식, 작업 공간, 작업장 환경으로 구분한다. 작업자는 작업을 수행하는 주체, 작업 방식은 작업을 수행하는 과정이나 방식, 작업 공간은 작업자가 작업을 수행하는 작업 도구나 장비를 갖춘 공간, 작업장 환경은 작업 과정이 진행되

는 실질적인 환경을 의미한다.

작업자의 경우는 인간공학적 위험요소와 사회 심리적 위험요소를 갖고 있다. 인간공학적 위험요소는 인간의 육체적 한계에서 오는 위험 요소로 불안정한 자세, 과도한 신체 사용, 지속적인 반복되는 단순 행동, 미숙련 등으로 인해서 위험이 나타나며, 사회 심리적 위험요소는 불안, 초조, 불만 등 감정적 요인으로부터 기인한 숙취 직무 수행, 불성실, 안전수칙 미준수로 인해 위험을 초래한다. 최근에는 작업자의 숙취나 질병으로 인한 직무 수행에서 오는 위험 인지 기술 연구가 활발하게 진행되고 있다.

작업 방식의 위험요소는 인적 요소와 관리적 요소가 결합되어 나타나곤 한다. 작업자에 의한 부적절하게 작업 수행 절차나 작업자의 경험을 기반한 비체계적인 작업 방식으로 인한 위험요소가 있다. 기존에 발생한 위험 중에 잘못된 작업방식으로 인해 발생한 위험을 예상이나 생산성만을 고려하여 그대로 방치한다면, 주기적으로 안전사고가 발생할 수 있다.

작업 공간에서의 위험요소는 작업자나 무인 작업체계에 의해서 수행되는 작업에 필요한 도구, 장비, 작업대 등으로부터 기인한다. 도구의 불안정한 위치나 불량, 장비의 오작동, 기계나 설비의 설계상 결함, 작업대의 상태 및 구조의 불량 등으로부터 기인한다.

작업장 환경의 위험요소는 물리적 위험요소, 화학적 위험요소, 생물학적 위험요소로 구분된다. 물리적 위험요소는 진동, 소음, 고온 등을 포함하고 화학적 위험요소는 연기, 미세먼지, 증기 등을 포함하며, 생물학적 위험요소는 병원체, 오염 등을 포함한다.

IV. 작업장 내 스마트 안전관리 시스템 설계

작업장에서 안전사고를 예방하기 위해서는 우선적으로 위험요소를 사전에 식별하고 제거해야 한다. 기존의 안전사고 사례 데이터와 현재 작업자의 상태와 작업장의 환경 데이터를 수집·분석하여 위험 발생 가능성이 있는 위험요소를 식별하고 위험을 예측함으로써 사고 발생을 최소화해야 한다. 본 연구는 기존의 4차 산업혁명기술을 활용한 안전관리 시스템들을 분석하여 개선할 사항을 도출하여 제안하는 시스템에 적용하였다.

4-1 기존 작업장 안전관리 시스템의 분석

정경권의 'IoT 기반 실내 환경 모니터링 시스템[13]' 연구에서는 IoT 센서를 이용하여 온도, 습도, 이산화탄소 등 실내 환경 요소를 측정하여 클라우드 서버에 저장하는 실내 환경 모니터링 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 실내 환경 요소를 측정하여 서버에 저장하는 시스템이지만, 환경 요소별 위험 기준치에 대한 정의가 없으며, 초과 시에 처리하는 절차를 제시하지 않고 있다. 우리 연구에서 제안하는 시스템은 실

시간으로 작업자의 생체신호 변화 및 작업 동선, 작업장 환경과 작업 도구의 위치에 따른 데이터를 수집하여 정상 범위를 벗어날 경우에 경고를 발생시키도록 제안한다.

박정호의 ‘고위험 작업장에서의 작업자 안전사고 예측 방법[14]’ 연구에서는 작업자와 작업장의 상태 정보를 기반으로 작업자의 안전 상태를 예측하고 관리자에게 제공하여 신속한 의사결정을 할 수 있는 시스템을 제안하였다. 안전 상태 예측을 단순한 추론 엔진을 사용하여 규칙 기반으로 상태를 예측하기 때문에 판단에 오류가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 보다 복잡한 추론을 하거나 학습할 수 있는 인공지능 알고리즘이 필요하다. 우리 연구에서 제안하는 시스템은 작업자나 작업장의 상태 데이터를 빅데이터 분석과 인공지능 기술을 활용하여 위험 수준을 판단하고 앞으로 위험 발생 가능성도 예측할 수 있도록 한다.

송창현의 ‘근로자 안전활동 모니터링을 위한 검지모듈 및 스마트폰 어플의 구현[15]’ 연구에서는 가속도 센서, VoCs 센서 등을 통해 작업자와 작업장 내 공기 오염도를 측정하여 근로자의 스마트폰 어플로 전송하는 시스템을 개발하였다. 이는 예방보다는 사고 이후에 의학적 골든타임 내에 사고자를 발견할 수 있도록 하는 사망사고 예방 기술이다. 우리 연구에서는 4차 산업혁명기술을 활용하여 사고를 판단하고 예측함으로써 사고를 미연에 방지하는 사고 예방 기술을 제안한다.

4-2 스마트 안전관리 시스템의 프레임워크

본 연구에서는 작업장 환경과 작업자의 작업 행동을 4차 산업혁명 기술을 감지 센서, 분석 및 예측 기능에 접목하여 위험요소를 식별하는 작업장 안전감시 시스템과 작업자의 위험감지 시스템을 포함한 스마트 안전관리 시스템의 설계를 제안하고자 한다. 아래 그림은 스마트 안전관리 시스템의 프레임워크를 보여준다.

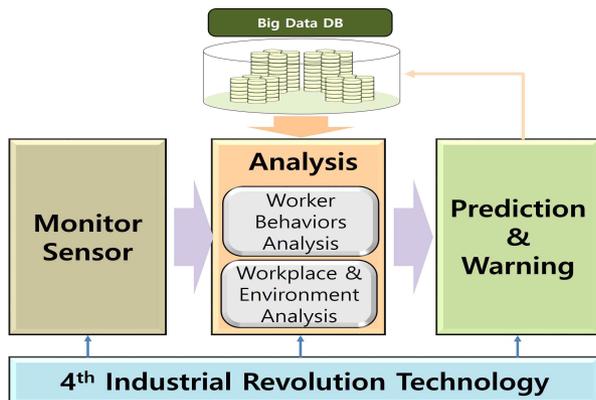


그림 1. 스마트 안전관리 시스템 프레임워크
Fig. 1. Framework of Smart Safety Management System

제안하는 시스템의 요구사항은 첫째, 현재 수집되는 데이

터뿐만 아니라 과거 데이터까지 포함하여 데이터 분석이 이루어져야 한다. 둘째, 작업장의 환경 상태를 24시간 지속적으로 모니터링하고 환경 상태를 예측해야 한다. 셋째, 작업자의 작업행위를 감시하고 작업자의 이상 행위를 예측할 수 있어야 한다. 마지막으로 이러한 모든 과정이 실시간으로 이루어지고 위험 징후 발생시에 경고해야 한다[16].

스마트 안전관리 시스템은 작업 공간과 환경 그리고 작업자 행동을 24시간 감시하고 이상 징후가 식별될 경우에 작업자 행동 분석과 작업 공간 및 환경 분석을 통해서 위험을 예측하고 수준을 판단한다. 이러한 모든 데이터는 빅데이터 데이터베이스에 기록된다. 작업 공간과 환경 분석은 작업자 자동화 안전감시 시스템에서 수행하고 작업자 행동 분석은 작업자 위험 감지 시스템에서 수행한다.

4-3 작업장 자동화 안전감시 시스템

작업장 자동화 안전감시 시스템은 작업장 내부의 모든 환경을 IoT 센서, 지능형 CCTV의 촬영 영상을 통해 24시간 동안 감시하면서 위험요소를 인지하고 위험을 예측하는 시스템이다. 안전감시 시스템은 안전감독 책임자가 모바일 기기를 통해서 실시간으로 현장 상황을 파악하고 알람을 받을 수 있도록 감시 인터페이스와 연동한다. 또한, 통합 안전관리 플랫폼과도 연동하여 작업장의 모든 상황 정보를 공유한다. 다음 그림은 작업장 안전감시 시스템의 설계를 보여준다.

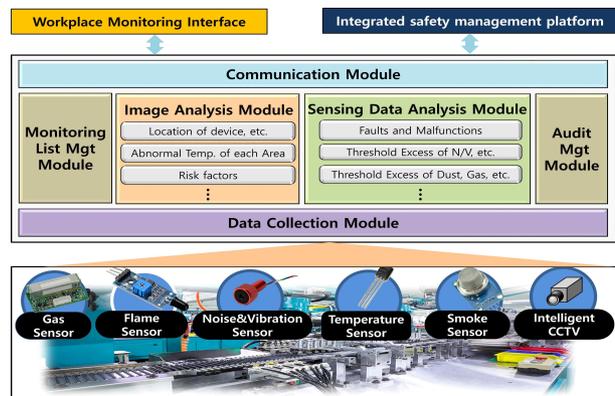


그림 2. 작업장 안전감시 시스템
Fig. 2. Safety Monitoring System in the Workplace

안전감시 시스템은 작업장 모든 환경과 상황을 감시할 수 있도록 지능형 CCTV와 가스·연기·불꽃·온도·방사선·소음 등을 감시하는 센서 등을 설치하여 영상정보와 다양한 센싱 정보를 수집한다. 특히, 지능형 CCTV를 이용하면 기계, 설비, 장비 등에서 발생하는 열을 감지하여 물체의 이상 여부 인지가 가능하고 적외선, 열상, 방사선, 초음파 등을 측정하여 야간에도 사물을 식별할 수 있다. 이러한 기능을 이용하여 작업장 상태를 지속적으로 감시하고 인공지능 기술을 결합하여 앞으로 발생할 위험을 예측할 수 있다.

작업장 자동화 안전감시 시스템은 데이터 수집 모듈, 감시 항목 관리모듈, 영상분석 모듈, 센싱 데이터 분석 모듈, 감시 기록관리 모듈, 통신 모듈로 구성된다.

데이터 수집 모듈은 다양한 IoT 센서의 센싱 데이터와 지능형 CCTV의 촬영 영상을 수신하여 데이터 전처리 과정을 거쳐서 분석 모듈에서 사용 가능한 형태로 변환하고 영상분석 모듈과 센싱 데이터 분석 모듈로 전송한다. 지능형 CCTV는 인공지능이 결합되어 있어서 1차적으로 위험요소를 식별할 수 있다. 위험요소가 식별되면 분석 모듈에 관련 정보를 우선적으로 전송하고 작업장 감시 인터페이스를 통해서 안전 감독 책임자에게 바로 경고를 송신한다.

영상분석 모듈은 데이터 수집 모듈로부터 수신한 멀티 스펙트럼 영상을 분석하여 장비, 도구, 온도, 불꽃 연기 등 안전 사고 위험요소를 추출한다. 영상으로부터 위험요소를 식별하거나 비인가 출입자 추적을 위한 재인식을 위하여 합성곱 신경망(CNN; Convolution Neural Network) 기술이나 컴퓨터 비전 및 패턴 인식 기술에 심층신경망(DNN; Deep Neural Network) 기반 러닝을 접목한 기술 등을 사용한다. 이외에도 다양하고 복잡한 주변 환경에 따른 분석 정확도 개선을 위해서 영상 내 전경과 배경을 분리하는 전경/배경 분리 기술, 2차원 영상 내 개체 정보를 인식하고 공간 내 구역과 카메라 위치를 자동 계산하여 장비나 도구의 위치나 방향 등을 정확하게 인지하기 위한 2차원 기반 3차원 정보처리 기술, 다중 카메라를 연결하여 공간을 입체적으로 인식하고 움직이는 개체에 대한 연속적인 분석을 수행하는 기술 등이 적용될 수 있다. 또한, 동영상 내 프레임들의 시간적 연속성을 추출하고 분석하기 위하여 LSTM(Long Short Term Memory) 기법도 활용된다.

센싱 데이터 분석 모듈은 데이터 수집 모듈로부터 수신한 데이터를 심층신경망(DBN; Deep Belief Network) 기술로 분석하여 기계, 설비의 결함과 불량, 진동으로 인한 장비 낙하, 불꽃으로 인한 화재 발생, 유독가스 여부를 감지할 뿐만 아니라 영상분석 모듈과 연동하여 위험요소를 식별하여 위험을 예측한다.

감시항목 관리 모듈은 작업장 내의 감시 대상이나 감시 정보의 임계치 등을 설정하고 관리한다.

감시기록 관리 모듈은 감시 영상과 센싱 데이터를 저장하고 중요 이벤트를 저장하며 저장된 내용을 검색하고 조회하는 등의 관리를 위한 모듈이다. 빅데이터 기술을 활용하여 모든 감시 영상과 센싱 데이터 및 이벤트 등을 관리하고 연관 검색 등을 수행한다.

통신 모듈은 안전감독 책임자에게 감시 상황 정보를 전송할 때 감시 인터페이스와 연동하고 통합 안전관리 플랫폼으로 위험요소 영상/센싱 분석 데이터를 전송하는 역할을 한다. 통신대상 장치의 종류와 거리, 전송량 등에 따라 블루투스, ZigBee, KNX, WiMAX, Wifi 등의 무선통신 기술을 이용할 수도 있다.

4-4 작업자 위험감지 시스템

작업자 위험감지 시스템은 IoT/AI/빅데이터/지능형 CCTV를 활용하여 작업장에서 작업자로 인한 위험요소를 식별하고 위험을 예측하는 시스템이다. IoT 센서와 지능형 CCTV를 활용하여 작업자의 부주의하거나 과도한 작업 행위로 인한 위험요소와 웨어러블 생체신호 수집 장비를 통해서 불안정한 신체 상태를 감지한다. 다음 그림은 작업자 위험감지 시스템의 설계를 보여준다.

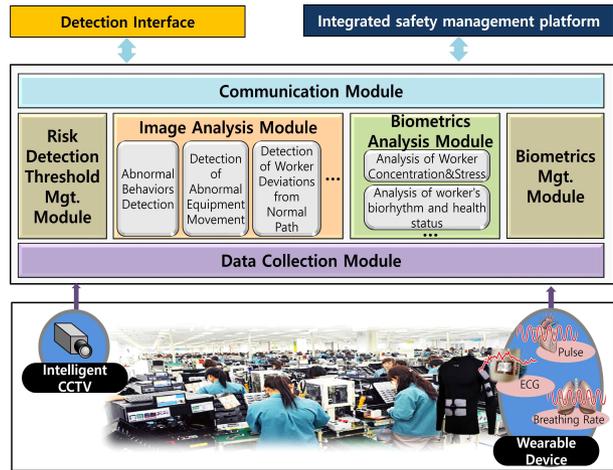


그림 3. 작업자 위험감지 시스템
Fig. 3. Risk Detection System on Workers

제한한 시스템은 시각적으로 판단할 수 있는 위험요소를 식별하기 위해서 지능형 CCTV를 설치하여 영상정보를 지속적으로 수집하며, 작업자의 작업복 등에 부착된 웨어러블 장비를 통해 맥파, 호흡수, 심전도 등을 수집한다. 웨어러블 장비는 생체정보를 인식할 수 있도록 IoT 센서 기술을 적용한다. 손목에 착용하는 웨어러블 장비를 통해 맥파를 측정할 수 있는 센서 기술로는 주로 적외선이나 적색광, 녹색광을 이용한 광용적맥파 계측 기술이 있으며, 피부로부터 측정된 전기적 신호의 차이를 통해 심전도를 측정하는 기술이 있다. 호흡수는 광용적맥파 계측 기술과 가슴 부위에 착용한 웨어러블 장비를 통해 폐의 움직임을 관측하는 기술로 측정한다.

작업자 위험 감지 시스템은 크게 데이터 수집 모듈, 위험 감지 기준 관리 모듈, 영상분석 모듈, 생체신호 분석 모듈, 생체신호 관리 모듈, 통신 모듈로 구성된다.

데이터 수집 모듈은 지능형 CCTV의 영상정보와 작업자가 착용한 웨어러블 장비부터 수집한 생체신호를 수신하여 각 분석 모듈에서 이용할 수 있는 데이터로 변환하여 전송하는 역할을 한다.

영상분석 모듈은 지능형 CCTV로부터 수신한 영상정보를 분석하여 작업자가 평소와 다른 이상 작업 행위, 작업자가 정상적인 작업 경로를 수시로 이탈하는 행위, 위험 구역 내부에서의 이상 행위, 그리고 장비나 도구의 원래 위치가 아닌 다

른 위치로 이동시킨다거나 작업대에서의 불안정한 위치 등을 감지한다. 이때 CCTV의 영상은 합성곱 신경망 모델 중에서도 객체 검출 알고리즘인 Faster R-CNN(faster Region-Convolution Neural Network), SSD(Single Shot Multi-box Detector), R-FCN(Region-based Fully Convolutional Network) 모델을 사용하여 위험한 요소들을 식별하고 각 요소들의 위치 관계를 입력으로 하는 단순 퍼셉트론이나 합성곱 신경망을 중첩 적용하여 위험도를 분석함으로써 위험 발생을 예측할 수 있다. 또한, 센싱 데이터들을 순환 신경망(RNN; Recurrent Neural Network) 기술을 통해 분석함으로써 작업자의 위험 상태 등을 감지하고 예측할 수 있다.

생체신호 분석 모듈은 수신한 작업자의 생체신호를 통해 작업자의 현재 신체 상태의 흐름을 정상적인 기준치와 비교 분석한다. 이를 위하여 평소 작업자의 신체 상태를 심층 신경망, 심층 신뢰망 등의 인공지능 기반으로 학습하여 개인 신체 상태와 관련한 인공 신경망을 생성한 후, 실시간으로 수신한 작업자의 신체 상태 정보를 인공 신경망에 입력하여 정상 여부를 판단하고 안전 기준에 따른 위험 수준별 알람을 생성한다.

위험 감지 기준 관리 모듈은 작업 중 위험 감지를 위해 감시되어야 할 대상이나 감시 정보의 임계치 등을 설정하고 관리하는 모듈이다.

생체신호 관리 모듈은 작업자의 평상시 정상적인 생체 리듬 범위와 생체신호 데이터를 관리한다. 또한, 잦은 음주로 인한 숙취 작업자, 미숙련 작업자 등 위험 발생 가능성이 높은 작업자의 생체신호는 별도로 관리한다. 이러한 생체신호 데이터는 빅데이터 기술을 활용하여 작업자의 작업 내역 및 생체 정보 이력을 연관하여 저장하고 관리함으로써 작업자의 현재 상태를 신속하게 분석할 수 있게 한다.

통신 모듈은 웨어러블 장비와 지능형 CCTV로부터 수신한 데이터 전송, 감시 페이스와의 연동, 통합 안전관리 플랫폼을 분석결과 전송 등 데이터 통신을 위해 사용된다. 작업장 안전 감시 시스템과 마찬가지로 통신대상 장치의 종류와 거리, 전송량 등에 따라 블루투스, ZigBee, KNX, WiMAX, Wifi 등의 무선통신 기술을 이용한다.

4-5 제안 시스템의 기대 효과

본 연구에서 제안한 작업장 내의 스마트 안전관리 시스템은 기존의 작업장 내의 안전관리 시스템에 비해서 다음과 같은 장점을 갖는다.

첫째, 센서뿐만 아니라 지능형 CCTV를 활용하여 작업장 내의 도구와 장비 위치를 확인하고 작업자의 작업 동선을 파악한다. 지능형 CCTV는 특정 객체나 행위를 감지하여 자동으로 식별할 수 있는 기능이 있기 때문에 작업장 내에서 도구와 장비가 불안정한 공간에 위치하거나 작업자가 비정상적인 작업 행위나 작업 동선을 벗어날 경우에 이를 감지할 수 있다.

둘째, 작업자와 작업장 상태 데이터를 빅데이터 분석 기술을 이용하여 실시간으로 분석하고 인공지능 알고리즘을 적용하여 현재 상태뿐만 아니라 앞으로 위험이 발생할 가능성도 예측한다. 기존의 안전관리 시스템은 과거의 상태 데이터를 기반으로 현 상태를 판단하지만, 제안한 시스템은 인공지능 기술의 다양한 알고리즘을 활용하여 현 상태를 학습하고 추론하여 발생할 위험을 예측함으로써 사고를 미연에 방지할 수 있다.

셋째, 웨어러블 장비를 이용하여 작업자의 생체신호를 수집 및 분석함으로써 작업자의 사회 심리적 위험요소도 감지할 수 있다. 기존의 시스템은 작업자의 인간공학적 위험요소인 불안정한 자세, 과도한 신체 사용 등에 집중하여 감시하였지만, 제안한 시스템은 생체신호를 통해서 감지할 수 있는 불안, 초조, 긴장 등의 심리적 위험요소에서 비롯된 사고도 방지할 수 있다.

마지막으로 모든 감시 과정은 통신 모듈을 통해서 통합 안전관리 플랫폼과 연동되어 실시간으로 감시 사항을 확인할 수 있다. 제안한 시스템은 센서, 지능형 CCTV, 웨어러블 장비를 통해 획득한 데이터, 영상, 이미지, 생체신호 분석 결과를 통합 안전관리 플랫폼을 통해서 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 통합 안전관리 플랫폼에서는 유사한 작업장에 동일한 장비나 도구의 위치, 작업자의 작업 동선 등을 동시에 감시할 수 있기 때문에 한 작업장에서 위험 경도가 발생할 경우에 유사한 작업장에도 주의를 강조함으로써 유사한 안전사고 발생 확률을 줄일 수 있다.

V. 결 론

산업 현장에서의 안전사고가 반복되고 노동자의 생명까지도 위협하는 산재사고가 빈번하게 발생함에 따라 정부는 안전관리 대책 마련과 안전관리 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 밀폐된 작업장 내에서 발생하는 안전사고는 인명피해와 밀접한 관계가 있기 때문에 작업장 내에서의 사고 예방은 안전관리의 매우 중요한 요소이다.

작업장 내에서의 안전사고를 예방하기 위한 기술은 4차 산업혁명기술의 산업기술 분야에 적용 가능해짐에 따라 안전관리 기술에도 적용되면서 첨단화되고 고성능화되기 시작했다. 특히, 지능형 CCTV는 기존의 2D 영상에서 3D 영상 촬영이 가능해지고 인공지능 기술이 접목되어 위험요소를 신속하게 식별함으로써 산업 현장에 많이 설치되고 있다. 아울러 IoT 센서를 설치하여 가스 중독, 폭발, 화재 등의 원인이 되는 가스 누출, 연기 발생, 불꽃 발화 등의 위험요소들을 감지하고 더 큰 위험이 발생하지 않도록 사전에 위험요소를 제거할 수 있게 되었다.

본 연구에서도 작업장 내에서 안전사고를 예방하기 위해서 4차 산업혁명기술을 접목한 스마트 안전관리 시스템 설계를

제안하였다. 작업장 환경을 감시하는 안전감시 시스템과 작업자의 상태와 행위를 감시하는 위험감지 시스템을 설계하였다. 제안한 시스템은 지능형 CCTV와 IoT 센서를 이용하여 위험요소를 사전에 식별하고 빅데이터와 인공지능 기술을 활용하여 신속하게 현상을 분석하고 위험 발생을 예측하는 것이 특징이다.

향후 제안한 시스템 설계를 토대로 안전관리 분야의 근무자가 쉽게 사용할 수 있도록 구현하고 기능 및 성능을 평가할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5C2A03082827).

참고문헌

[1] 3rd Comprehensive Plan for Disaster and Safety Management Technology Development [Internet]. Available: [https://www.gov.kr/portal/gvrnPublish/view/_GV_000000018646?policyType=G00303&srchTxt=3rd Comprehensive Plan for Disaster and Safety Management Technology Development](https://www.gov.kr/portal/gvrnPublish/view/_GV_000000018646?policyType=G00303&srchTxt=3rd%20Comprehensive%20Plan%20for%20Disaster%20and%20Safety%20Management%20Technology%20Development)

[2] Public institution workplace safety reinforcement measures [Internet]. Available: http://www.motie.go.kr/common/download.do?fid=bbs&bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=161444&file_seq_n=1

[3] H. J. Kang, "Established Smart Disaster Safety Management Response System based on the 4th Industrial Revolution," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 561-567, Mar 2018.

[4] J. S. Lim, ICT convergence and research for improving safety technology, Occupational Safety & Health Research Institute, Ulsan, Research Report 2018-Institute-896, 2018.

[5] K. H. Kook, Application of AI technology and industry, IITP, Daejeon, Weekly Technical Trends Report No. 1888, 2019.

[6] S. H. Kim, "IoT Technology," *The Magazine of The IEEE*, Vol. 43, No.34, pp. 64-71, Mar 2016.

[7] S. I. Myoung, H. S. Lee, H. J. Lee, and K. B. Lee, IoT Based Disaster Mitigation and Safety Monitoring Technologies, ETRI, Daejeon, Electronics and Telecommunications Trends Vol. 33 No. 1, 2018.

[8] J. J. LEE, "Trends of Big-Data Technology," *The Journal of Hallym ICT Policy*, Vol. 2, pp. 14-19, Dec 2015.

[9] J. H. Shin, The Management of Disaster Information based

on Big Data, Master dissertation, University of Seoul, Seoul, 2016.

[10] J. W. Lee, S. Y. Park, M. K. Youm, and J. K. Lee, "Smart CCTV Application based on 3D Map for Disaster Management," in *Proceeding of the 40th Annual Conference on Korean society of Civil Engineers*, Daegu, pp. 261-262, 2014.

[11] J. Y. Lee, Association between Workplace Risk Factor Exposure and High Risk Drinking in Manufacturing and Construction Employees, Master dissertation, The Catholic University of Korea, Bucheon, 2016.

[12] Guideline for Risk Assessment [Internet]. Available: <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/format/industrialSafetyFormatData.do?mode=download&articleNo=297037&attachNo=167705>

[13] K. K. Jung, Y. G. Lee, and Y. J. Kim, "IoT-based Indoor Environmental Monitoring System", in *Proceeding of the Annual conference on the Institute of Electronics and Information Engineers*, Incheon, pp. 1022-1023, 2017.

[14] J. H. Park and B. T. Jang, "A Prediction Method for Workers Safety Accidents at High Risk Workplace," in *Proceeding of the Annual conference on the Institute of Electronics and Information Engineers*, Busan, pp. 1477-1479, 2017.

[15] C. H. Song, A Implementation of monitoring module and android application for workers safety activities, Master dissertation, The Korea Polytechnic University, Siheung, 2017.

[16] Y. U. Cho, Study on Real-time Data based Risk Prediction and Anomaly Detection Methods in Large Scale Work Areas, Ph.D dissertation, Sunmoon University, Asan, 2019.



엄정호(Jung-Ho Eom)

1994년 : 공군사관학교 항공공학과(학사)
 2003년 : 성균관대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2008년 : 성균관대학교 컴퓨터공학과(박사)

1994년~2010년: 대한민국 공군
 2010년~2011년: 성균관대학교 정보통신공학부 BK21 연구교수
 2011년~현 재: 대전대학교 군사학과&안전융합학부 부교수
 ※관심분야: 네트워크/시스템 보안, 사이버전, 내부자 보안, 안전관리, 4차 산업혁명기술