

# 바이오 및 환경센서를 이용한 스마트 헬스케어의 능동형 위험 상황인지 추정 시스템 설계 및 구현

김 홍 규\*, 문 승 진<sup>o</sup>

## Design and Implementation of an Active Risk Situation Estimation System in Smart Healthcare Using Bio and Environmental Sensors

Hong-kyu Kim\*, Seung-jin Moon<sup>o</sup>

요 약

현재 스마트 헬스케어는 대부분 건강 상황 체크 및 의료·보건 분야에 초점이 맞춰져 있으며, 위험한 상황이나 열악한 환경에서 근무하는 작업자를 보호하기 위한 헬스케어 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 논문에서는 바이오 센서와 환경측정 센서, 무선통신 기술을 결합하여 기존의 의료·보건 분야뿐만 아니라 환경적인 요소를 측정하여 위험한 상황이나 열악한 환경에서 근무하는 작업자의 안전을 보호할 수 있는 능동형 위험 상황인지 추정기법을 이용한 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 심전도(ECG), 맥박(Heart rate), 산소포화도(SpO<sub>2</sub>)를 측정할 수 있는 바이오 센서와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 휘발성 유기화합물(VOCs)등을 측정할 수 있는 환경측정 센서, 측정된 데이터를 외부로 송출할 수 있는 무선통신 모듈을 통합하고 소형화하여 시계처럼 착용할 수 있다. 제안된 측정 모듈을 이용하여 작업자의 신체 정보, 주변 환경정보를 상시 측정하여 작업자의 생명과 직결되는 작업 환경이라고 인지될 경우 작업자에게 알람, 진동으로 알리고, 관제센터에 상황 정보를 전달하여 즉각 조치할 수 있도록 하는 시스템으로 구성하였다. 이를 통해 위험한 상황에 따른 즉각적인 대응을 함으로써 유사시 작업자의 생명을 보호하고 관련 사고의 사전 예방이 가능할 것으로 사료된다.

**키워드** : 스마트 헬스케어, 위험상황 감지, 안전관리 모니터링, 안전 작업관리, 바이오 센서

**Key Words** : Smart healthcare, Risk awareness, Safety management monitoring, Safety work management, Bio-sensor

### ABSTRACT

who work in hazardous or harsh environmental conditions. So in this paper, we will show you a way to measure environmental factors as well as medical-health factors by intergrating bio-sensor, environmental-sensor and wireless communication technology together. And we suggest a system using the Active Risk Recognition Estimation Method(ARREM) to secure for the safety of workers in dangerous situation. In the suggested system, the bio-sensor is being used to measure EKG, ECG, Heart rate, oxygen saturation(SpO<sub>2</sub>), and etc.

The environmental sensor is also being used to measure carbon dioxide(CO<sub>2</sub>), volatile organic compound(VOCs), and etc. After the measurements are done, the wireless communication module transmits the

\* First Author : The university of suwon, Division of Computer Science, foxliver@naver.com, 학생(박사), 종신회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : The university of suwon, Division of Computer Science, sjmoon@suwon.ac.kr, 정교수, 종신회원  
논문번호 : 201912-346-D-RN, Received December 30, 2019; Revised March 9, 2020; Accepted March 20, 2020

measured data to the outside location such as a controll center. Those parts are intergrated into a single unit and miniaturized to the size of a watch which can be wearable. By using the suggested measurement module, worker's body information and surrounding environment information can be measured at all times constanly. Therefore, whenever a situation that a worker's life is threatened, is recognized, the system is designed to warn the worker immediately by alarming or vibrating and sending the emergency

## I. 서 론

최근 맨홀과 같은 밀폐된 공간에서 작업중인 작업자가 유해가스에 장시간 노출되거나 산소 부족 등으로 사망하는 사고를 뉴스를 통해 종종 접할 수 있다. 이러한 상황에서 국내의 위험한 상황 또는 열악한 환경조건에서 근무하는 작업자를 보호하기 위한 법적·제도적 기반은 갖춰져 있지만, 현장에서 근무하는 작업자는 주변 환경요인에 따라 제시된 안전 가이드라인을 준수하여 작업하기 매우 어려운 상황이다<sup>1)</sup>. 또한, 현재의 스마트 헬스케어는 “e-Health, m-Health 시스템과 지능형 연결 의료기기를 사용하여 시민들의 건강, 웰니스, 웰빙을 장려하려는 정책”<sup>2)</sup>을 시행하고 있고 Leroy E. Hood는 ICT 기술과 헬스케어의 융합을 통해 새로운 헬스케어 패러다임으로 변화될 것으로 예측하며, 스마트 헬스케어의 중점은 “발병 후 치료”가 아닌 P4(Preventive, Predictive, Personalized, Participatory) 중심으로 개별 환자 질병에 대한 통합적 진단, 치료 및 예방에 초점을 맞춘 시스템 관점의 총체적인 접근<sup>3)</sup>으로 해야 할 것을 제시하였다. 이처럼 현재의 스마트 헬스케어는 개인 신체 정보 확인과 의료적 지원 차원에서 대부분 연구를 진행 중이며, 위험한 상황에서 근무하는 작업자를 보호하기 위한 헬스케어를 이용한 안전관리 연구는 매우 미진한 상태이다.

이에 본 논문에서는 작업자의 신체 정보와 작업 공간의 환경적 요인을 측정하여 헬스케어 시스템에 폭넓게 적용할 수 있도록 하는 능동형 위험 상황인지 추정 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 작업 공간의 환경요인을 측정하기 위한 범용의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 휘발성 유기화합물(VOCs; Volatile Organic Compounds, 약 120가지)과 작업자의 신체 정보를 측정하기 위한 심전도(ECG; Electrocardiogram), 산소포화도(SpO<sub>2</sub>), 맥박(heart rate), 움직임 감지(motion detect) 등을 측정하고, 위험 상황이 인지되면 무선으로 전송할 수 있는 무선통신 모듈이 장착된 소형화된 스마트 워치 형태의 안전작업관리 노드를 제작하였다. 또한, 안전작업관리 노드와 무선 이더넷 게이트웨이,

현재 상태의 종합적인 모니터링이 가능한 미들웨어를 구성하여 작업자의 작업 능률 향상과 생명을 보호할 수 있도록 하는 스마트 헬스케어와 안전 작업관리가 융합된 시스템을 그 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 현재의 스마트 헬스케어와 작업 환경에 대해 알아보고, 3장에서는 제안한 시스템의 설계 구현과 4장에서는 성능평가를 위한 실측 정보를 바탕으로 유효성 검증을 수행하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 스마트 헬스케어

스마트 헬스케어는 4차 산업혁명의 핵심 ICT 기술인 IoT(Internet of Things, 사물인터넷), 클라우드 컴퓨팅, 빅 데이터 및 인공지능(AI)을 헬스케어와 접목한 분야이며, 의료 데이터를 기반으로 지능화된 서비스를 의미하고, 환자(사용자)의 개인별 건강상태를 시간과 장소의 제약 없이 실시간으로 모니터링 및 관리하고, 건강정보 및 질병 상태 등을 분석하여 최적화된 맞춤형 진료를 제공하는 서비스 시스템이다<sup>4)</sup>. 현재 국내의 스마트 헬스케어의 가장 큰 문제는 의료기록을 한 곳에 수집하는 행위 자체가 현행법상 불법이면서 개인정보를 관리하고 활용하는 주체가 민간 의료기관과 헬스케어 사업자로 구성되어있기 때문에 적극적으로 연구 개발할 수 없는 상황이며, 관련된 법·제도적 문제가 오래전부터 이슈화되고 있다<sup>5)6)</sup>.

최근 “헬스케어”가 포함된 스마트시티 시행계획인 “국가 시범도시 시행계획(2019년 2월 13일)”이 적용되는 세종 5-1 생활권 내에서 응급상황이 발생하면, 스마트 호출과 응급용 드론, 응급센터까지 최적 경로 안내, 화상 연결을 통한 환자 정보 전달 등을 진행하여 골든타임을 확보해 환자 생존율을 높이는 방법이 연구중에 있다. 이러한 연구는 국내의 법·제도적 문제에 따라서 적극적으로 수행할 수 없으며, 현재는 개인 또는 환자에 대한 일상적인 건강 요소 분석 등과 같은 자료로 활용되거나 진료 목적보다는 보건 분야에서 활용할 수 있는 데이터 수집에 그치고 있다<sup>6)</sup>.

이러한 환경여건에서 본 논문에서는 위험한 상황 또는 열악한 환경조건에서 근무하는 작업자, 소방공무원 등의 생명을 보호하기 위한 시스템으로 기존 스마트 위치가 인식할 수 있는 작업자의 혈압과 맥박을 측정하며, 더 나아가 환경적 요인을 측정할 수 있는 센서를 추가하여 주변 환경요인의 위험요소를 측정, 예측하고 작업자의 상황을 수시로 모니터링하여 위험에 대한 작업자의 기본 생명권을 지킬 수 있는 시스템을 제안한다.

### 2.2 안전 작업 환경

국내의 위험한 상황 또는 열악한 환경조건에서 근무하는 현장 작업자를 보호하기 위한 제도적 장치인 “산업안전보건법 제5장 제45조”에 따르면 작업 전 작업장 환경을 측정해야 한다. 또한, 작업 시 환경을 측정하기 위한 장치를 휴대해야 하며, 반드시 2인 1조로 작업하도록 규정되어 있으나, 현장 상황에 따라 규칙을 준수하지 못하고 작업하는 상황이 발생한다<sup>[11]</sup>. 현장 작업자가 사용해야 하는 환경측정 장치는 부피가 크고, 무거워 휴대하기 불편하여 작업자의 작업에 방해되는 요인으로 작업 능률이 떨어지는 문제가 있다. 또한, 작업 환경측정 기준과 관련한 사업주의 과태료가 최대 500만원으로 매우 낮은 수준으로 책정되어 있고 측정 주기도 최소 3개월에서 최대 12개월로 정해져 있어 작업 환경 상황에 따른 환경요인의 변화를 바로 적용하지 못하는 문제점이 있다.

### 2.3 MEMS 기반의 소형 센서

유해인자에 노출된 작업 환경에 있는 현장 작업자가 사용해야 하는 측정장치에 포함될 환경적 요소와

표 1. 사용된 MEMS 기반의 소형센서  
Table 1. Used MEMS based miniature sensors

Target	Sensor	Range	Method
Work place	CO <sub>2</sub>	400~2,000ppm	Semiconductor
	VOCs	0~1,000ppb	
Body	ECG	-	Electrocardiogram
	Heart rate	-	Photoplethysmogram
	SpO <sub>2</sub>	-	
	Acceleration	x,y,z (±2, ±4, ±8)g	IMU; Inertial Measurement Unit
Gyroscopes	x,y,z (±250, ±500, ±1,000)		
Work place	Temperature	-40~85 °C	

작업자의 신체 정보를 측정<sup>[8]</sup>하기 위한 센서는 표 1과 같다.

본 논문에서는 작업 환경측정을 위한 항목을 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 휘발성 유기화합물(VOCs)로 한정하였으며, 작업장의 상황(가스 상태의 물질류)에 따라 해당 센서를 교체할 수 있다. 작업자의 신체 데이터를 측정하기 위한 센서는 미국 FDA 승인을 받은 Maxim사의 모바일 기기 전용 바이오 센서로 PPG (Photoplethysmogram), ECG(Electrocardiogram) 측정이 가능하고, 내부에 LED 광 검출기 및 ECG 아날로그 프론트 엔드(AFE)로 구성되어 PPG는 신체 혈관에 빛을 조사하여 되돌아오는 흡수 광을 측정하는 원리로 맥박과 산소포화도를 측정하며, 2개의 전극성 패드에서 미세 전류를 측정(ECG)하여 PPG의 오류(오차)율이 개선된 센서이며 정확도는 이미 검증되었다.

환경을 측정하는 센서는 검지 방식에 따라 가연성 센서, 촉매식 센서, 열전도식 센서, 적외선식 센서, 정기화학식 센서, 반도체식 센서가 있으며, 본 논문에서는 반도체식 센서를 사용하였다. 반도체식 센서는 세라믹 반도체 표면에 가스가 접촉했을 때 일어나는 전기전도도의 변화를 측정하고, 대부분의 유독가스, 가연성가스를 감지할 수 있으며, 검출회로 구성이 간단한 특징이 있다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서 사용된 센서는 Amphenol사의 센서를 사용하였고, 이산화탄소 400 ~ 2,000ppm, 휘발성 유기화합물 0 ~ 1,000ppb를 측정할 수 있으며, 표준가스 상태에서 약 1%의 오차 범위 내에서 측정할 수 있다.

작업자의 활동성 측정을 위해 사용한 InvenSens사의 관성센서(IMU; Inertial Measurement Sensor)는 일반적으로 드론의 자세제어를 위해 사용되는 센서로 하나의 칩에 각축(x, y, z)의 가속도, 자이로를 측정하며, 온도 센서가 포함되어 있다<sup>[9]</sup>. 최근 출시되는 스마트폰의 애플리케이션 중에서 사용자의 운동 관리 항목 중 걸음 수 측정 항목은 관성센서를 사용한다.

## III. 시스템 설계 및 구현

현재의 갤럭시 위치, 애플 위치 등에 사용하는 바이오 센서와 동등한 성능의 센서를 사용하였지만, 환경 데이터를 측정하기 위한 센서는 내부에 포함되어 있지 않으며, 본 논문에서는 작업자의 작업 상황, 신체 데이터를 이용하여 작업 환경에 따른 작업자의 생명권을 보장하고, 휴대하기 편하며, 쉽게 사용할 수 있는 형태로 작고, 가벼우며, 착용성이 편리하여 작업에 방해되지 않는 시계 형태로 제작하였다. 작업자의 신

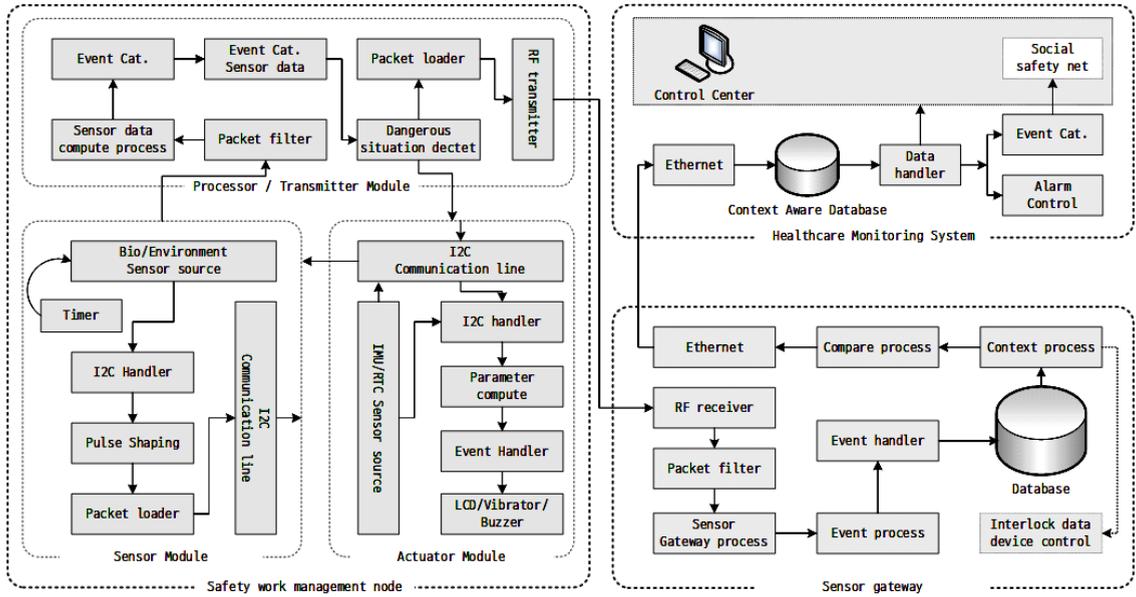


그림 1. 상황인지 시스템 데이터 구조도  
Fig. 1. Context Awareness System Data Structure

체 데이터와 주변 환경 데이터 수집을 위해 1. 센서 모듈, 2. 동작 모듈, 3. 프로세서 및 전송 모듈로 구성하고 하나의 통합 노드(node)인 안전 작업관리 노드(safety work management node)로 정의하였다. 안전 작업관리 노드(safety work management node)의 상황 데이터를 기반으로 외부 시스템과 연동하기 위한 센서 게이트웨이, 상황관제실로 구성되어 작업자의 안전 작업 상황을 저장, 전송, 분석이 가능하다. 센서 게이트웨이의 외부 시스템(CCTV 등과 같은)과 연동 가능하며, 상황관제실의 사회안전망 통합서비스 시스템과 상호 연동이 가능한 이벤트 카테고리를 생성하였다.

그림 1의 상황인지 시스템 데이터 구조에서 안전 작업관리 노드(safety work management node)는 작업자의 신체 정보 측정을 위한 바이오 센서, 환경 센서, RTC(Real Time Clock), IMU(Inertial Measurement Sensor), 디스플레이 장치, 진동모터, 부저, 프로세서, 무선통신 모듈을 소형화하여 하나의 장치인 노드로 구성하였다. 따라서, 안전 작업관리 노드 자체에서 신체 정보 및 주변 환경을 측정하고 위험 상황으로 판단될 경우 내부의 장치들(actuator module)을 제어하여 작업자에게 1차로 알리고, 무선통신 모듈을 통해 외부의 센서 게이트웨이로 전송하도록 구성하여 안전 작업관리 노드(safety work management node)와 센서 게이트웨이가 통신할 수 없는 상황인 경우에도 사용할 수 있도록 하였다. 정상적으로 통신(기

리, 주변 환경요인에 따른)이 된 경우 센서 게이트웨이와 연동되는 주변 장치로 상황 정보를 알려 상황에 대한 대처가 가능하며, 작업 관리자는 상황실의 모니터를 통해 2차로 인지할 수 있고, 외부의 사회안전망 등에 정보를 전송하여 빠른 대처가 가능하다.

### 3.1 안전 작업관리 모듈

본 논문에서 제안한 안전작업관리 노드(safety work management node)의 디자인은 작업자의 작업에 지장이 없고, 작업 효율의 향상을 위해 작고, 휴대가 간편해야 하며, 위험 상황을 조기 예측할 수 있어야 한다. 기존 제품을 이용하기에는 부피가 커지고 무거워짐에 따라서 휴대가 불편하여 기존의 작업 환경

표 2. 센서별 측정 요소  
Table 2. Sensor-specific measuring elements

Measurement target data	Sensor	Measuring element
Vital signs data	Bio sensor	ECG
		Heart rate
		SpO <sub>2</sub>
	IMU sensor	Acceleration
Environment data	Environment sensor	CO <sub>2</sub>
		VOCs
	IMU sensor	Temperature

지시 장치와 크게 다를 것이 없을 것으로 판단하여 직접 제작하였다.

3.1.1 하드웨어 설계

안전 작업관리 노드(safety work management node)의 1차 초안 PCB는 그림 2의 상단과 같으며, 가로 39mm, 세로 39mm로 설계하였고, 외형은 3D 프린터로 출력하여 그림 2의 하단과 같이 스트랩을 제외한 가로 42mm, 세로 42mm, 높이 15mm로 소형화하였다. 본 연구의 결과물은 1차 초안으로 RTC의 시간 유지를 위한 코인 배터리(CR1220) 홀더를 제거하고 실장 부품을 재배열하면 2/3 수준으로 줄일 수 있다.

안전 작업관리 노드(safety work management node)의 전원은 3.7v 500mA의 리튬이온 배터리 전원을

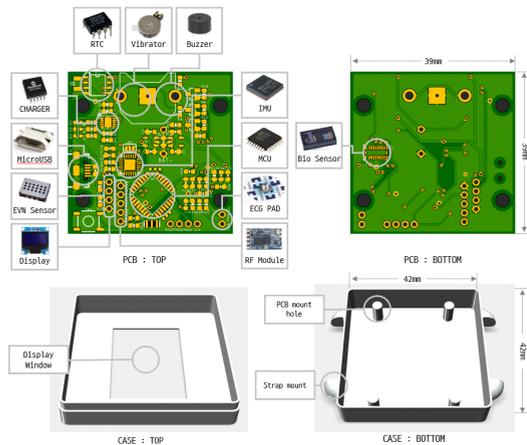


그림 2. 안전 작업관리 노드 디자인  
Fig. 2. Safety Work Management node design

을 사용하며, 센서 자체의 사용 전원은 LDO(Low Drop Out regulator)로부터 3.3v, 1.8v의 전원으로 동작하고, 배터리 충전을 위한 충전과 RTC의 전원 유지를 위해 사용된다. 사용된 프로세서는 저전력, 소형, 경량화된 Atmel사의 ATmega 328P를 사용하였고, GPIO 포트로 진동모터, 부저를 제어하며, 센서와 LCD는 모두 I2C 통신라인(SCL, SDA)을 공용으로 사용한다.

3.1.2 소프트웨어 설계

프로세서 및 전송 모듈에서 데이터 전송은 상시로 이뤄지지 않는다. 국내 스마트 헬스케어와 관련된 주요 분야의 쟁점인 스마트 헬스케어 S/W(정보), 스마트 헬스케어(서비스 비용), 스마트 헬스케어 H/W(기기) 등의 법·제도적 문제가 발생<sup>15)</sup>하여 작업자의 신체 데이터를 외부로 상시 전송할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 작업자의 신체 데이터와 주변 환경 데이터를 수집하고, 안전 작업관리 노드(safety work management node)에 실시간으로 표시하며, 주변 환경 여건에 따른 작업자의 위험 상황을 예측, 판독하여 위험한 상황이라고 판단된 경우에만 생체 데이터와 환경 데이터를 외부로 송신할 수 있도록 구성하였다. 또한, 작업자의 생체정보는 의료활동(진료)을 위한 목적이 아니며, 중앙 관제실에서의 작업자의 상황을 판단하기 위한 자료로 활용하도록 구성하였다.

“Main module”은 약 100ms 주기로 생체 데이터와 활동 데이터를 측정하고, 환경 데이터와 RTC는 약 1,000ms 주기로 측정하며, 측정된 데이터는 “Correction module”에서 위험 상황을 예측한다. 위

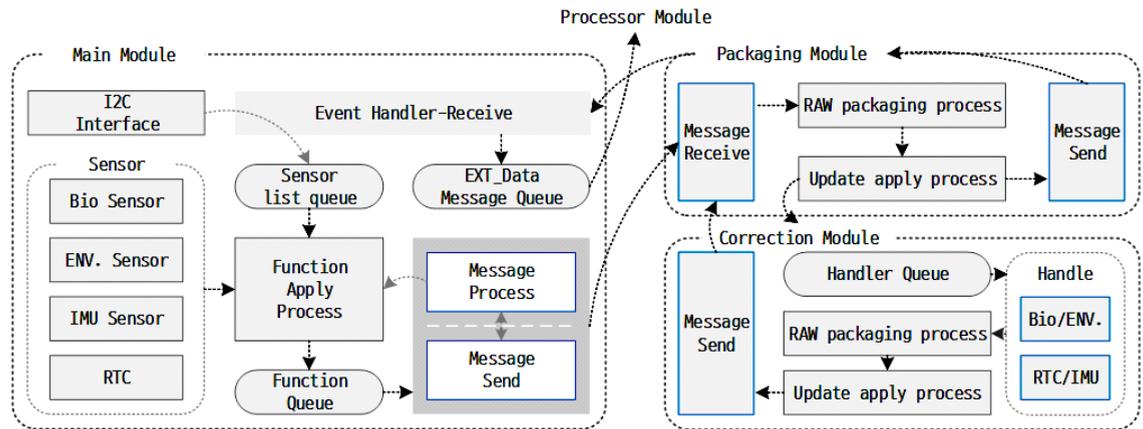


그림 3. 안전 작업관리 노드의 데이터 흐름  
Fig. 3. Data flow of The safety work management node

험 상황이라고 판단된 경우에만 “Packaging module”에서 데이터 패키징을 거쳐 게이트웨이 “Processor module”로 전송한다. “Correction module”에는 디스플레이 장치에 정보를 상시 표시, 위험 상황 시 부저, 진동모터를 동작할 수 있도록 하여 작업자가 1차로 위험 상황을 대처할 수 있도록 한다. 게이트웨이로 전송하기 위한 무선 매체는 RF(Radio Frequency; 424mhz)로 생활 주파수 대역을 사용하며, 향후 무선 통신망(상업)이나 로라망(LoRa; Long Range) 통신 모듈을 사용할 수 있다.

### 3.2 게이트웨이 및 모니터링 모듈

게이트웨이 모듈은 안전 작업관리 노드(safety work management node)의 RF 통신과 현장 작업 관리자의 모니터링 모듈의 네트워크 통신을 위한 도구로 사용되며, 향후 안전 작업관리 노드(safety work management node)에 상업망을 사용할 경우 제거하여 모니터링 모듈에 통합 운영할 수 있도록 모듈화하여 구현하였다. 또한, 본 논문에서 구성한 게이트웨이 모듈은 향후 연동될 수 있는 확장 장치로 데이터를 출력, 제어할 수 있도록 인터페이스가 제공되어 “IoT 기반의 지능형 상황인지 CCTV 기술”과 협업하여 연구 진행 중인 시스템과 연동할 수 있도록 하였다.

그림 4와 같이 게이트웨이 모듈의 “Processor module”은 RF에 위험한 상황이나 위험한 상황에 근접하다고 판단된 정보가 수신되면, 프로세서의 슬립 모드를 중지하고, ‘Message process’의 상황에 따른

이벤트 호출, message를 핸들링하여 안전 작업관리 노드(safety work management node)와 1:n 통신하므로 노드의 ID에 따라서 인가된 작업자의 상황 정보를 통합처리 및 “Filter module”을 거쳐 외부 확장 장치를 제어하거나, 현장 작업 관리자의 모니터링 시스템으로 전송한다.

모니터링 시스템 모듈은 그림 5와 같으며, 게이트웨이로부터 정보가 수신되면 작업자의 상황 판단을 위해 “Main module”의 ‘Compute’에서 상태 정보를 확인하고 이벤트를 발생시켜 모니터링 화면에 현재 상태 표시와 주의, 경고, 위험 알람을 수행하거나 원격지의 현장 감독관, 다른 작업자 등 데이터베이스에 등록된 번호로 서비스 콜을 수행하여 빠른 대응이 가능하도록 한다. 또한, 향후 작업자 근처의 응급의료기관, 구급 호출이 가능하도록 연동할 수 있지만, 본 논문에서는 구현하지 않았다.

## IV. 시뮬레이션 및 유효성 검증

제안된 시스템에 대한 유효성 검증을 위해 그림 6과 같이 안전 작업관리 노드(safety work management node)의 케이스를 제거하고 위험 상황에서만 전송하는 데이터를 상시 전송으로 수정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또한, 노출된 유해가스의 측정은 밀폐된 챔버를 제작하여 이산화탄소, 이소부틸렌(VOC 계열, 교정가스)을 주입하여 노출 시간에 따른 센서의 농도 변화를 측정하였다.

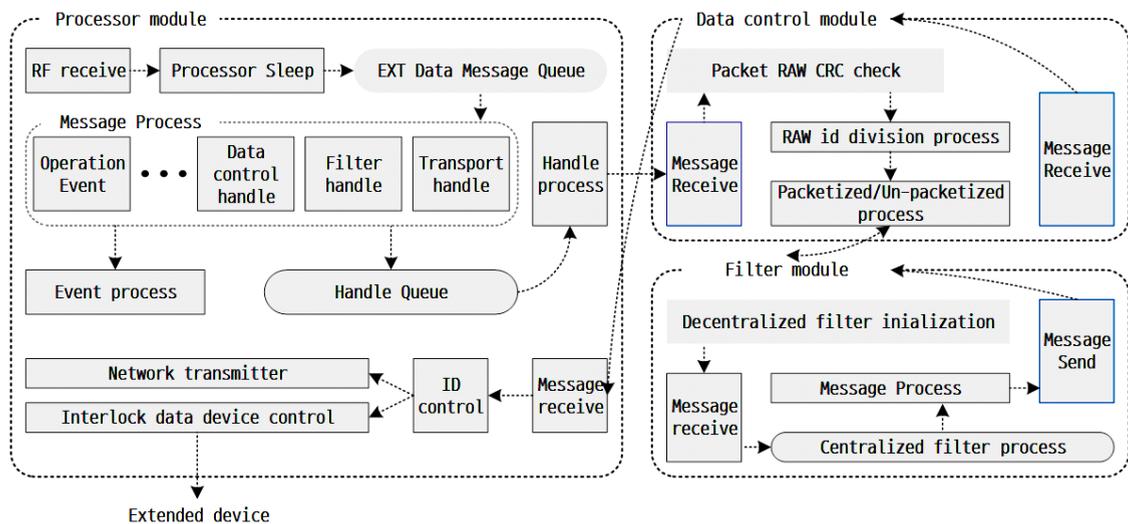


그림 4. 게이트웨이의 데이터 흐름  
Fig. 4. Data flow at the gateway

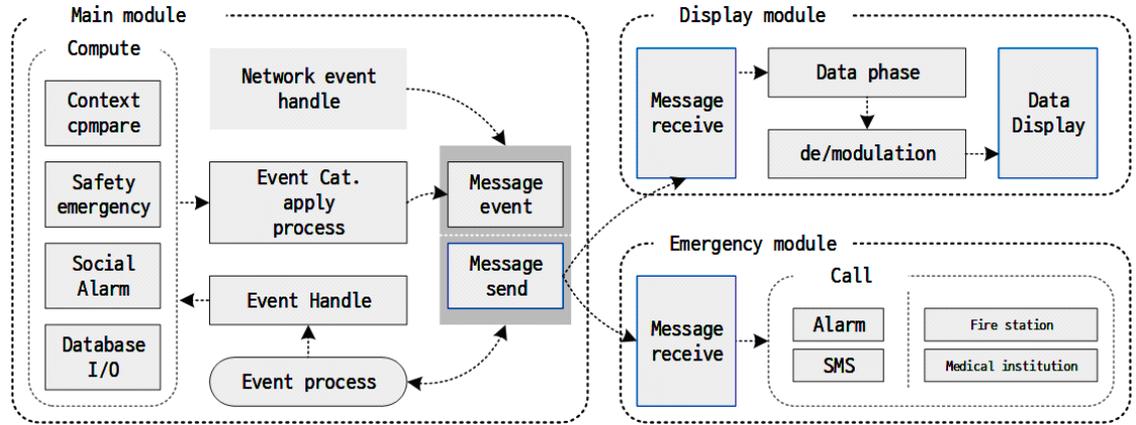


그림 5. 모니터링 시스템의 데이터 흐름  
Fig. 5. Data flow in the monitoring system

바이오 센서의 측정은 안전 작업관리 노드(safety work management node)를 착용하여 안정된 평상시 상태, 운동상태, 노드를 착용하지 않았을 때의 상태 등으로 측정하여 유효성 실험을 진행하였다. 안전 작업관리 노드(safety work management node)를 착용하고, 유해가스에 직접 노출하여 가스 농도와 노출 시간에 따른 생체정보의 변화는 안전상 실험하지 않았다.



그림 6. 안전 작업관리 노드의 실험  
Fig. 6. Experiment of safety work management node.

#### 4.1 환경 데이터 측정

안전 작업관리 노드(safety work management node)에 장착된 환경 센서의 유효성을 검증하기 위해 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 표준가스 2,000ppm과 휘발성 유기화합물(VOCs)의 일종인 이소부틸렌 표준가스 1,000ppb를 챔버에 주입하고, 가스 농도를 조절하기 위해 시간에 따라 질소(zero; 100%)를 주입하여 혼합시킨 가스를 측정하였다. 이 실험은 100% 농도의 질소를 주입하고, 시간에 따라 질소와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 휘발성 유기화합물(VOCs)의 표준가스 농도를 희석시켜 가스 농도 변화에 따른 센서 검출 데이터를 확인하는 실험이다.

측정결과 반도체식 가스 센서의 특성<sup>[10],[11]</sup>으로 같은 센서에서도 오차가 발생하기 때문에 오차를 줄이기 위한 샘플링 데이터의 평균값으로 LPF(Low Pass Filter)하였고, 표준가스의 측정은 정밀 측정기기로 측정(Standard mix GAS)하여 사용된 환경 센서와 비교하였다. 휘발성 유기화합물의 교정 가스인 이소부틸렌의 측정은 저농도(ppb 단위) 측정이 매우 어려우므로 1,000배 증폭(ppm 단위)하여 측정하도록 설정하였다.

그림 7과 그림 8과 같이 환경 센서의 범위(표 1참고)에서 모두 측정되며, 휘발성 유기화합물(VOCs)의 경우 고농도로 올라갈수록 정확도가 떨어지고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 경우 저농도에서 낮은 정확도로 측정되었다. 이는 측정할 수 있는 최저 농도가 400ppm으로 측정 초기 질소(100%, 0ppm)를 주입하여 측정되는 결과가 정확하지 않았다. 하지만 400ppm 이상의 측정

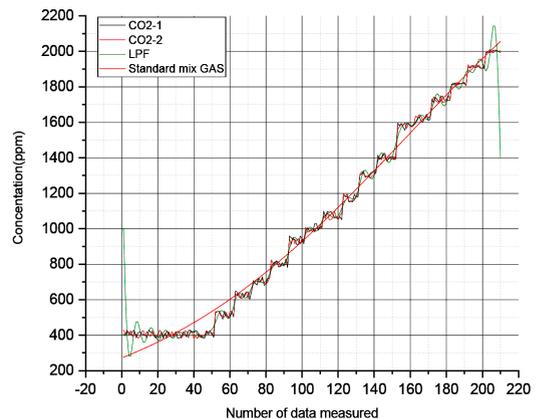


그림 7. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 측정결과  
Fig. 7. CO<sub>2</sub> measurement result

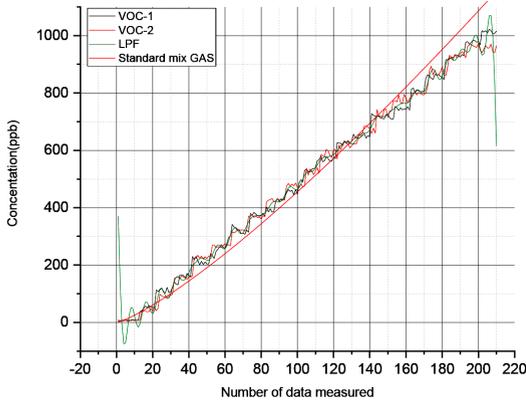


그림 8. 휘발성 유기화합물(VOCs) 측정결과  
Fig. 8. VOCs measurement result

값은 비교적 정확하게 측정되었다. 혼합가스의 경우 질소와 대상이 되는 가스의 혼합 비율에 따라서 표준 가스 자체의 오차율이 존재하며 본 실험에서 측정된 결과를 참고해야 한다.

#### 4.2 신체 데이터 측정

산소포화도(SpO<sub>2</sub>)와 맥박은 측정 대상의 성별, 나이, 신체조건 등에 따라서 다르며, 일반적인 건강한 성인의 산소포화도는 표 3과 같다.

성인의 맥박은 보통 80bpm이 평균이지만, 사람에 따라 평소 운동을 많이 하는 사람은 부하시 평균 맥박은 그렇지 않은 사람에 비해 낮게 측정된다<sup>[12][13]</sup>. 따라서, 표 4와 같이 측정 대상을 설정하여 측정하였고 Man-1은 평소 운동을 많이 하지 않는 성인 남성이고, Man-2는 평소 운동을 즐겨 하는 성인 남성이다.

신체 데이터의 측정 방법은 표 4와 같이 두명의 성인 남성에게 안전 작업관리 노드(safety work management node)를 착용시켜 러닝머신에서 걷기, 빠르게 걷기, 속보, 달리기, 빠르게 달리기, 달리기, 느리게 걷기 후 안전 작업관리 노드(safety work management node)의 착용을 제거하여 측정하였다.

표 3. 성인 남성의 산소포화도  
Table 3. Oxygen saturation in Man

Condition	PaO <sub>2</sub> (mmHg)	SpO <sub>2</sub> (mmHg)
Normal	97	97
Allowable range	>80	95
Hypoxia	<80	<96
Mild	60 ~ 79	90 ~ 94
Middle	40 ~ 59	75 ~ 89
Intense	<40	<75

표 4. 측정 대상  
Table 4. Measurement target

Target	Man-1	Man-2
Age	41	42
Weight	77kg	86kg
Height	175.4cm	174.5cm
SpO <sub>2</sub> - AVG.	97%	95%
SpO <sub>2</sub> - AVG.	84bpm	80bpm

그림 9와 같이 신체 데이터가 측정되었으며, 측정 결과 산소포화도는 운동성 여부에 상관없이 평균 96%를 나타내고 있지만, 맥박의 경우 운동성 여부에 따라서 크게 차이를 나타내고 있다. 착용자의 따라서 신체 데이터가 모두 다르므로(환경적 요인, 신체적 요인 등) 안전 작업관리 노드(safety work management node)는 평소 산소포화도, 맥박 등의 신체 데이터 정보를 수집하고, 이를 이용하여 신체 데이터의 급격한 변화량, 운동성 변화량을 감지하고, 주변 환경 데이터와의 관계를 파악할 필요가 있다<sup>[14-16]</sup>.

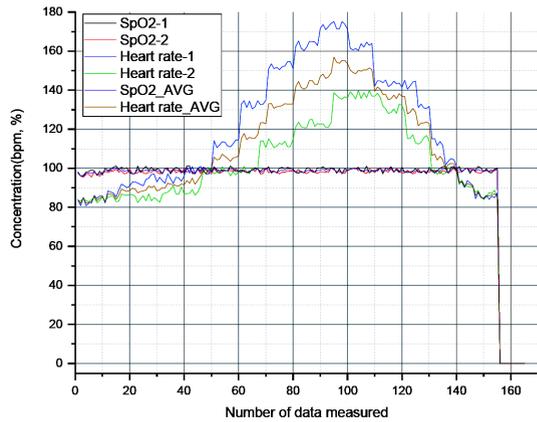


그림 9. 신체 데이터(산소포화도, 맥박) 운동 부하 측정 결과  
Fig. 9. Vital signs data(SpO<sub>2</sub>, Heart rate) exercise load measurements

#### 4.3 인위적 위험요소 측정

환경적 요인에 따라 고농도(휘발성 유기화합물 500ppb, 이산화탄소 2,000ppm 이상)에 노출된 시간에 따른 위험 수준<sup>[1]</sup>과 단위 시간에 급격히 변화하는 신체 데이터(산소포화도, 맥박), 활동성 정보(IMU 측정치)를 기반으로 복합적인 상황을 판별해야 하며, 표 5와 같이 정리하였다.

예를 들어 작업자가 고농도에 1시간 노출되어 있으며, 산소포화도는 일반농도(90% 이상), 맥박(정상범위

표 5. 위험요소에 따른 위험 수준 알람 레벨  
Table 5. Critical alarm level according to threats

Warning	High concentration working time	SpO2	Heart rate (Amount of change per unit minute)	Level of risk
Alarm 1.	1Hour	>90	<15%	LOW
Alarm 2.	2Hour	90~80	15~20%	MEDIUM
Alarm 3.	3Hour	<80	>20%	HIGH

변화량 15%이하), 활동성 감지의 경우 저 수준의 알람 레벨로 신체에는 이상이 없으나, 고농도에 계속 노출 시 위험할 수 있어 휴식을 취할 수 있도록 유도하기 위해 LCD 화면에 알람을 표시한다. 동일한 상황에서 산소포화도 또는 맥박의 변화량이 급격하게 변화하여 1분 이상 유지될 경우 중간 수준의 알람 레벨로 신체에 이상 요소 감지로 판단하여 LCD 화면과 진동, 소리(부저)로 알리며, 중간 수준의 알람 레벨보다 급격한 변화량과 활동성이 감지되면 고수준 위험 레벨로 분류하여 지시할 수 있도록 한다. 따라서 작업자의 위험 상황을 판단하는 요인은 아래와 같으며, 알람 경고 수준을 판단하는 요소로 사용된다.

첫째, 환경적인 요인에 얼마나 장시간 노출되어 있는가.

둘째, 환경적인 요인은 정상이나 신체 측정 데이터가 급격하게 변화하였는가.

셋째, 신체 데이터가 급격하게 변화하여 그 변화량이 평소의 데이터와 얼마나 차이가 있는가.

인위적인 위험요소를 발생시켜 본 논문에서 제안한 안전 작업관리 노드(safety work management node)의 유효성 검증을 위해 다음과 같이 테스트를 진행하였다.

환경요인을 측정하기 위해 하나의 안전 작업관리 노드(safety work management node)는 챔버에 넣고 이소부틸렌(5ppm, 증폭 측정 후 ppb 변환)과 이산화탄소(2,000ppm)를 장시간 노출시켜 측정하였고, 다른 하나의 안전 작업관리 노드(safety work management node)는 성인 남성이 착용하고 러닝머신에서 급격한 신체 정보 변화를 유도하여 위험 수준 알람을 확인하였다. 하지만, 본 논문에서는 환경 데이터와 신체 데이터 측정을 하나의 안전 작업관리 노드(safety work management node)로 측정하지 않았다. 이유는 환경 데이터와 신체 데이터를 동시에 측정하기 위해 착용자는 고농도의 가스를 흡입 중인 상태에서 급격한 운동성 측정을 수행해야 하는데 이 경우 착용자의 안전

상 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

인위적으로 위험요소(신체 데이터, 환경 데이터)를 발생시켜 그림 10, 그림 11과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 총 80분 동안 측정하여 그림 10의 화살표로 표시된 곳에서 급격한 운동으로 인위적으로 맥박을 증가시켰고, 15분 동안 일반 상태를 측정하기 위해 휴식 상태(가만히 앉아 있는)에서 측정하고, 5분 동안 러닝머신에서 천천히 걷기, 10분 동안 달리기, 20분 동안 빠른 달리기, 10분 동안 천천히 걷기, 15분 동안 100m 달리기를 측정 후 안전 작업관리 노드(safety work management node)를 탈착하여 운동성 감지 여부를 측정하였다.

휴식상태에서 착용자의 평균 산소포화도와 맥박을 측정하였고, 5분 동안 일반 상태에서 걷기를 수행하였

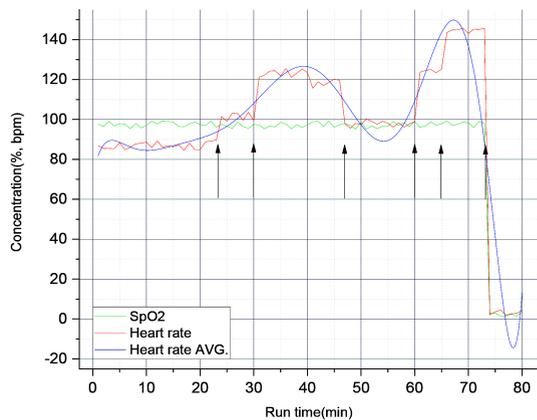


그림 10. 신체 데이터의 인위적 위험요소 발생 측정  
Fig. 10. Measuring the occurrence of artificial risks of vital signs

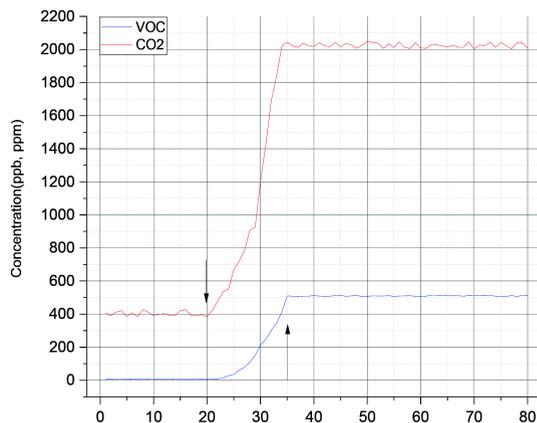


그림 11. 환경 데이터의 인위적 위험요소 발생 측정  
Fig. 11. Measuring the occurrence of artificial risks of environment

을 때의 운동성 측정 후 위험요소를 판단하기 위해 급격한 상태 변화량을 측정하여 유지시간 동안 표 5와 같은 위험상황에 따른 시험자의 인지 및 모니터링 시스템의 데이터 전송을 측정하였다. 동시에 환경측정은 20분 동안 최저 농도 관측을 위해 질소를 주입하고, 이소부틸렌 5ppm, 이산화탄소 2,000ppm을 주입하여 고농도 시간 유지를 진행하였다.

따라서 그림 10과 그림 11에서 화살표로 표시된 실험 결과를 고려하면, 본 논문에서 제안한 능동형 위험 상황인지 추정 스마트 헬스케어 시스템을 위험한 작업 환경에 있는 작업자의 생명을 보호할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문의 시험 진행에서는 ECG 측정은 진행하지 않았고, 일상생활에서 측정된 맥박 자료와 급격한 신체 변화 시 측정되는 맥박과 비교 분석하여 부정맥 검출을 통해 맥박 변화량을 추가 시험할 예정이다. 이는 성인 남자의 일상적인 맥박에서 부정맥이 있는 사람과 그렇지 않은 사람의 맥박이 서로 다를 수 있으며<sup>[17-19]</sup>, 향후 개선된 시스템의 적용과 추가 장착될 비 침습식 혈압 센서를 동시에 적용하여 임상 시험 후 개선하고자 한다.

## V. 결 론

2017년 4월에 출시된 삼성전자 갤럭시 S8에 “Samsung Health”가 탑재된 스마트폰에는 원격진료 상담 기능인 “Ask Your Expert”<sup>1)</sup>가 탑재되어 있으나 국내에서는 사용할 수 없다. 이처럼 국내의 스마트 헬스케어는 스마트 워치를 기반으로 이용자의 생체정보를 개인 스마트폰에 수집처리 하는 형태이며, 이를 활용한 응급의료 시스템과의 연동은 현행법상 불가능하다. 또한, 현재의 스마트 헬스케어의 의미를 개인 건강관리 목적으로 두고 있고, 이를 활용한 응용 분야는 아직 미흡한 점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 신체 데이터 및 환경 데이터를 이용한 스마트 헬스케어의 능동형 위험 상황인지 추정 시스템을 제안하였다. 제안한 방법으로 안전 작업관리 노드(safety work management node)와 게이트웨이, 모니터링 시스템을 구성하여 시뮬레이션을 통한 유효성을 검증하였다. 실험 결과 작업장의 환경 농도, 신체 데이터 측정, 활동상태 측정 등을 종합적으로 판단하여 위험한 상황 또는 열악한 장소에서 측정된 환경 농도와 시간에 따른 맥박과 산소포화도의 감

소 등의 변화량을 측정할 수 있었다. 국내 안전 작업관리 기준에 따라 작업장의 유해가스 노출과 고농도의 유해가스 등을 측정할 수 있고, 이에 따른 맥박, 산소 포화도 등의 신체 데이터를 기반으로 하는 위험 상황을 3단계로 설정하였고, 이를 작업자가 착용하고 있는 안전 작업관리 노드(safety work management node)에 실시간으로 LCD 화면, 알람, 진동 등으로 표시하여 상황에 따른 대처를 할 수 있다. 또한, 위험 상황을 외부로 전송하여 문제가 발생한 경우 안전 관리자가 즉각 조치할 수 있도록 하여 상황에 대비할 수 있도록 하였다.

본 논문의 성능평가는 신체 데이터와 환경 데이터를 동시에 측정하지 못하였다. 따라서, 향후 공인된 기관에 의뢰 하여 환경에 따른 신체 데이터의 영향요소를 평가하고 수집된 데이터를 기반으로 여러 등급의 위험도 설정 및 머신러닝 요소를 추가할 예정이다. 또한, 다양한 환경의 작업장 중에서 밀폐공간 작업장을 중심으로 측정 가능한 환경 센서를 발굴하여 적용하고, 신체 데이터의 정교한 측정과 분석을 위해 ECG 알고리즘을 추가하고 이와 더불어 비 침습식 혈압, 혈당 센서를 추가하여 안전 작업관리 뿐만 아니라 1인가족, 아동, 독거노인, 거동이 불편한 노인과 같은 의료취약 계층에 적용하여 보건의료 분야에서 활용할 수 있도록 할 예정이다. 국내의 스마트 헬스케어와 관련된 법·제도가 개선되고, 본 논문의 시스템과 사회안전망 시스템과 연동한다면 한국형 스마트 헬스케어 분야에서 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## References

- [1] Ministry of Employment and Labor, KOSHA, *Confined space work suffocation comprehensive disaster prevention manual*, KOSHA, 2007.
- [2] I. Jawad, M. nalcioğlu, and L. Vaninetti, *Smart Cities*, Frost & Sullivan Press, p. 5, 2014.
- [3] L. E. Hood, *4P focused healthcare change and ICT convergence*, Digieco, p. 4, 2014.
- [4] C. Pagliari, D. Gregor, P. Sullivan, F. Detmer, D. Kahan, J. P. Oortwijn, and W. MacGillivray, “What is eHealth(4): A scoping exercise to map the field,” *J. Med. Internet Research*, vol. 7, no. 1, 2005.
- [5] L. D. Eun and K. S. Gwan, “Digital

1) 사용자들이 전문의와 화상으로 건강 상담을 받을 수 있고 처방전을 전송받아 약국에서 약을 탈 수 있는 원격진료 상담 기능.

- healthcare innovation trends and policy implication,” *Trends and issue STEPI*, vol. 58, 2018.
- [6] Y. H. Choi and W. S. Hwang, “Social and economic effects of smart healthcare industry and policy implications,” *KIET ISSUE Paper*, vol. 408, 2016.
- [7] N. Yamazoe and K. Shimance, “New perspectives of gas sensor technology,” *Sens. Actuators B*, vol. 138, p. 100, 2009.
- [8] H. K. Kim and S. J. Moon, “u-EMS: An emergency medical sens based on ubiquitous sensor network using Bio-Sensors,” *KIISE*, vol. 13, no. 7, pp. 433-441, 2007.
- [9] *InvenSense Technology*, InvenSense, 2012.
- [10] M. Brundage, et al., “The malicious use of artificial intelligence: Forecasting, prevention, and mitigation,” *Cornell Univ. of Computer Sci.*, Feb. 2018.
- [11] G. Eranna, B. C. Joshi, D. P. Runthala, and R. P. Gupta, “Oxide materials for development of integrated gas sensors - a comprehensive review,” *Critical Rev. Solid State and Materials Sci.*, vol. 29(3-4), pp. 111-188, 2019.
- [12] A. Challoner and G. H. Popescu, “Intelligent sensing technology, smart healthcare services, and internet of medical things-based diagnosis,” *Am. J. Med. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 13-18, 2019.
- [13] J.-Y. Seo, Y.-H. Noh, and D.-U. Jeong, “Implementation of glove-type wearable healthcare system for heartrate measurement during daily life,” *Indian J.*, vol. 19, no. 1, pp. 531-536, 2019.
- [14] M.-S. Sul, “AI(artificial intelligence) & IoT(Internet of Things) through smart health care service industrial development,” *Int. J. Human Movement Sci.*, vol. 25, no. 4, pp. 599-612, 2016.
- [15] S.-M. Chun, J.-Y. Choi, and J.-T. Park, “An emergency management architecture using personalized emergency policy for smart healthcare,” *J. Electron. and Info. Eng.*, vol. 50, no. 11, pp. 3-11, 2013.
- [16] J. D. Trigo, et al., “Standard-compliant real-time transmission of ECGs: Harmonization of ISO/IEEE 11073-PHD and SCP-ECG,” *31st Annu. Int. Conf. IEEE EMBS*, pp. 2-6, Minneapolis, Minnesota, USA, Sep. 2009.
- [17] S.-I. Kang, “A study on oximetry system based on ISO/IEEE 11073 using smart-phone,” *J. Korea Inst. Info. and Commun. Eng.*, vol. 17, no. 8, pp. 1940-1946, 2013.
- [18] M. Chen, W. Li, Y. Hao, Y. Qian, and I. Humar, “Edge cognitive computing based smart healthcare system,” *Future Generation Computer System*, vol. 86, pp. 403-411, Sep. 2018.
- [19] G. Manogaran, R. Varatharajan, D. Lopez, P. M. Kumar, R. Sundarasekar, and C. Thota, “A new architecture of Internet of Things and big data ecosystem for secured smart healthcare monitoring and alerting system,” *Future Generation Computer System*, vol. 82, pp. 375-387, May 2018.

김 흥 규 (Hong-kyu Kim)



2004년 2월: 평택대학교 컴퓨터학과 졸업

2006년 2월: 수원대학교 컴퓨터학과 석사

2009년 2월: 수원대학교 컴퓨터학과 박사수료

2013년 2월~현재: 국제대학교 컴퓨터 공학과 겸임교수

<관심분야> 센서네트워크, 위치기반 서비스, 실시간 정밀 위치추적, IoT 시스템

[ORCID:0000-0002-8544-2080]

문 승 진 (Seung-jin Moon)



1986년: 미국 텍사스 주립대학교 컴퓨터학과 학사

1991년: 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과 석사

1997년: 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과 박사

1997년~현재: 수원대학교 IT대학 컴퓨터학과 교수

<관심분야> 실시간 센서네트워크 운영체제, 실시간 데이터 베이스, 센서네트워크 위치추적

[ORCID:0000-0001-9511-6003]