

# 웨어러블 장비를 활용한 건축현장 작업자 실시간 심박수 모니터링 체계

이기석<sup>1</sup>, 신윤석<sup>2</sup>, 유위성<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한국건설산업연구원, <sup>2</sup>경기대학교 건축공학과

## Real-Time heart rate monitoring system for construction site workers using wearable equipment

Ki-Seok Lee<sup>1</sup>, Yoon-Seok Shin<sup>2</sup>, Wi-Sung Yoo<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>Construction & Economy Research Institute of Korea  
<sup>2</sup>Division of Architectural Engineering, Kyonggi University

**요약** 본 연구에서는 스마트기술인 웨어러블 장비를 사용하여 건축현장 건설근로자의 신체 상태를 모니터링할 수 있는 방안을 제시하여 건설근로자의 피해를 최소화하기 위한 연구를 진행하였다. 연구 목적을 달성하기 위한 연구 방법으로는 건축현장 건설근로자 중 위험도가 가장 높게 나타난 형틀 작업자를 20~35세 1 집단, 36~51세 2 집단, 52~65세 3 집단 세 구간의 나이대별로 구분하여 총 21일간 평균 심박수, 작업강도, 누적 피로도를 측정하였다. 또한 작업강도를 위해 카르보넨 공식을 활용하였고, 누적 피로도를 표현하기 위해 1일 칼로리 소비량을 산정한 값과 누적칼로리 소비량을 활용하였다. 본 연구를 통해 스마트기술을 건설현장에 적용함으로써 눈으로 확인하기 힘든 작업자의 현재 상태를 신속하게 파악할 수 있었으며, 재해 발생 시 즉각적인 대응이 가능하다. 또한 누적피로도를 확인할 수 있어, 단발성이 아닌 지속성을 지닌 상태 파악을 진행할 수 있었으며 심박수를 치환하는 공식을 활용하여 작업자의 누적피로도를 확인할 수 있는 결과를 제시하였고 심박수 분석에 대하여 다소 생소한 사용자도 결과에 대하여 쉽게 접근할 수 있게 하였다.

**Abstract** This study aimed to minimize harm to construction workers by proposing a method to monitor their physical condition on construction sites using wearable equipment, a smart technology. As a research method, workers with the highest risk among construction workers at building sites were divided into three age groups: Group 1 (20-35 years old), Group 2 (36-51 years old), and Group 3 (52-65 years old). The average heart rate, work intensity, and cumulative fatigue were measured for 21 days. In addition, the Carbonen formula was used to determine the work intensity, and the calculated daily and cumulative calorie consumption were used to express cumulative fatigue. By applying smart technology to construction sites, the current status of workers could be identified quickly, enabling an immediate response in the event of a disaster. In addition, cumulative fatigue could be confirmed, making it possible to identify a continuous condition rather than a one-off condition. Using the formula for replacing the heart rate, this paper presents results that can confirm the worker's cumulative fatigue. Even users unfamiliar with heart rate analysis can easily access and understand the results.

**Keywords** : Wearable Equipment, Smart Safety Management, Construction Site, Real-Time Risk Monitoring, Safety Management System

---

본 연구는 2023년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기본연구임(2021R1A2C2013841).

\*Corresponding Author : Wi-Sung Yoo(Construction & Economy Research Institute of Korea)

email: wsyoo@cerik.re.kr

Received August 31, 2023

Revised October 23, 2023

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 경제 규모의 성장과 더불어 건축물이 고층화 및 대형화되고 있다. 이에 따라 건축 현장의 안전사고 중요도도 증가하고 있으며 건축 현장 내에서 발생하는 산업 재해를 예방하는 것은 성공적인 프로젝트 수행의 중요한 요소가 되고 있다. 2020년 6월에 '중대재해처벌법'에 관련된 법률제정안이 발표되었고, 2022년 1월 27일부터 시행되었다. 상기 법령은 50인 이상의 사업장에서 중대 재해가 발생하게 된다면 사업주와 책임자에게 1년 이상의 징역형 처벌을 내리는 법으로 변화된 건설현장과 신설된 법에 따라서 안전관리의 중요성은 더욱 확대될 전망으로 보인다[1].

한국산업안전보건공단(KOSHA)에서 2022년에 발표한 산업재해 현황에 따르면 제조업 재해자는 31,709명이 발생했고, 건설업 재해자는 29,943명이 발생했다[2]. 2021년 중대재해로 사망한 근로자는 제조업 469명, 건설업 근로자는 55명이 발생하였다. 또한, 전체 산업재해 사고 사망만인율은 0.43%로 건설업이 1.75%인데 반해 제조업 0.46%보다 높은 사고 사망만인율을 보여주고 있으며 재해자와 사고사망자의 근로자 수는 전년 대비 증가하였다. 2020년 정부는 '스마트 건설 핵심기술 상용화 실현'을 위한 로드맵을 발표하였고, 세부적으로 확인해보면 '스마트안전 통합 관계기술'을 통해 중대재해사고 감축을 위한 노력을 하였다[3].

건축현장은 실시간으로 변화하는 특성이 있지만, 감독자, 안전관리자, 책임자 등의 소수 인력으로 건설현장에 있는 근로자의 신체 상태를 파악하는 것은 경제적, 물리적인 측면에 한계가 존재한다[4]. 스마트기술을 건설현장에 적용할 수 있다면 건설근로자의 위험에 대한 반응을 감지할 수 있으며, 위험한 상황에 있는 건설근로자의 위험요소를 사전에 감지하는 것이 가능하다[5]. 또한, 건축현장에 응급조치가 필요한 건설근로자가 존재한다면, 신속하게 응급처치를 진행하고, 병원에 신속하게 후송하여 피해를 최소화해야 하는 연구가 필요한 실정이다[6].

본 연구는 스마트기술인 웨어러블 장비를 사용하여 건축현장 건설근로자의 신체 상태를 모니터링할 수 있는 시스템을 구축하여 건설근로자의 피해를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 건설근로자를 대상으로 심박수 데이터를 측정하고 측정된 데이터를 누적피로도, 작업강도, 위험상황 파악을 위해 해리스베네딕트 공식,

카르보넨 운동강도, 안정심박수 등의 공식을 적용하여 분석한다. 본 연구를 통해 작업자의 상태를 실시간으로 모니터링이 가능하다면 재해 발생 시, 기존의 안전관리 체계보다 더욱 신속하고 즉각적인 대응이 가능할 것으로 판단된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 국내 건축현장에서 근무하고 있는 건설근로자를 대상으로 심박수를 모니터링하여 심박수 이상 감지를 확인한다. 또한, 선제적인 위험요소 제거와 위험상황 시 조치를 취하기 위해 누적피로도, 작업강도, 위험상황의 관련된 선행연구와 문헌 분석을 통해 건설현장에 적용하기 위한 것을 연구의 범위로 제한하였다.

연구의 방법으로는 건설근로자 중에 부상재해비율이 가장 높은 형틀근로자[7]의 심박수를 추적하여 위험요소를 확인할 수 있는 누적피로도, 작업강도, 위험상황에 관련된 선행연구와 문헌 고찰을 통해 스마트기술인 웨어러블 장비를 활용할 수 있는 시스템을 구축한다. 또한, 실제 건축현장에서 20대에서 60대까지 3주 이상 측정된 데이터를 기반으로 세대 간의 비교를 통해 웨어러블 장비를 활용한 건축현장 작업자 실시간 모니터링 체계를 제안하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 국내 건설 재해 현황

고용노동부에서 발표한 산업재해 2021년 현황을 살펴보면, 전체산업에서 발생한 사고사망근로자수는 828명, 건설업에서 발생한 사고사망근로자는 417명으로 단일 산업으로는 가장 높은 근로자의 수로 집계되었다(Fig. 1). 산업재해 현황이 일시적인 현상인지를 확인하기 위해 2011년부터 2021년까지 10년간의 전체산업 재해율과 건설업 재해율의 추이를 살펴보면, 전체 산업재해율은 횡보 또는 다소 증가와 다소 하락을 반복하고 있지만, 건설업 재해율은 2014년을 제외하고는 지속적인 상승폭을 그리고 있다(Fig. 2). 정부와 민간기업이 중대재해처벌법 시행과 스마트 통합 안전관리 기술 등의 노력을 하고 있음에도 상승폭을 그리는 현황을 보아 건설현장 재해 발생 시 빠른 대처를 통해 피해를 최소화하는 연구가 필요하다고 판단된다.

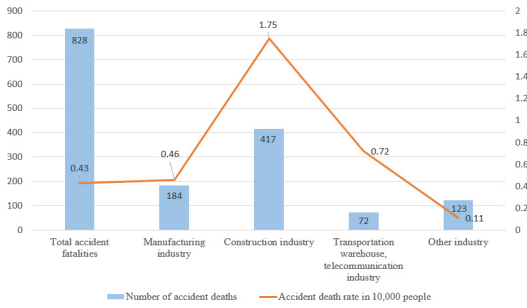


Fig. 1. Status of Construction Disaster in Korea

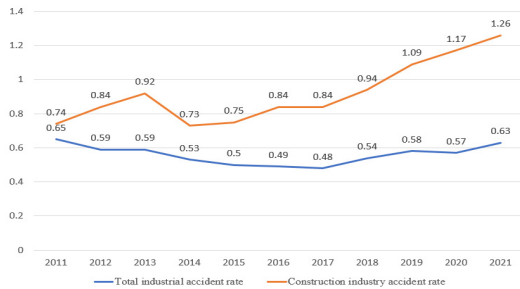


Fig. 2. Comparison of overall industrial accident rate and construction accident rate

## 2.2 스마트건설 안전관리 기술 동향

건축현장 안전관리는 생산성 향상과 재해로부터의 손실을 최소화하기 위해 재해의 종류와 원인을 파악하고 재발 방지를 위해 필요한 기술에 관한 활동을 말한다. 이는 재해로부터 근로자의 생명과 재산을 보호하고 재해가 발생하지 않는 상태를 유지하기 위해 노력하는 행위를 말한다. 이러한 지속적이고 계획적인 행위는 기업에서 안전보건관리로 불리고 있다[8].

스마트건설 안전관리는 건축현장에서 발생할 수 있는 재해를 예측하고 재해 발생 시 피해를 최소화하는 기술을 말한다[9]. 대표적인 스마트건설기술은 생산성 확보와 일정한 품질을 위해 사용되는 기술로 BIM, 클라우드, 데이터 분석, 블록체인, 가상·증강 현실, 드론, 사물인터넷, 3D 프린팅, 로봇, 모듈러, 능동형 건설장비 등으로 요약된다[10]. 이러한 기술들은 건축현장의 생산성을 높이기 위해 연구 및 개발을 넘어 건축현장 안전사고 재해 예방을 위해 적용되고 있는 추세이다[11].

국토교통부에 따르면 스마트건설기술 상용화를 위해 2020년 1월 스마트건설 핵심기술을 발표하였다[Table 1]. 정부는 스마트건설 핵심기술을 개발 및 적용하여 건축현장 근로자의 안전확보를 위해 건설업 재해를 25% 이상의 감소를 목표로 두고 있다[12].

Table 1. Smart Construction Core Technology

Focus Areas	Core technology development
Field 1: Construction equipment automation and control technology	Intelligent Construction Equipment Control
	Construction site information collection and analysis
	Automation of digitally-based road construction equipment
fields 2: Road structure smart construction technology	Digital-based road structure design-production-construction support
	Road structure remote and automated construction
	Intelligent road structure construction quality management
fields 3: Smart safety integrated control technology	Smart safety integrated control system
	Securing the safety of construction site workers
	Ensure Temporary Structure Smart Safety
fields 4: Smart construction digital platform and test bed	Digital data integration standard-based construction production process integrated management and smart knowledge management in the road sector
	Smart construction digital platform and digital twin-based management
	Establishment and operation of smart construction technology comprehensive test bed

## 2.3 웨어러블 장비를 활용한 안전관리

웨어러블 장비는 저전력 블루투스를 사용하여 각종 건설장비에 부착되어있는 센서와 개인 휴대전화기에 연결할 수 있는 장비이며 IoT(Internet of Things)의 한 기술이다. 웨어러블 장비를 착용하고 있는 근로자의 위치 정보, 신체 정보 등을 측정할 수 있고, 경제성이 우수하여 다른 산업에서도 보급되어 있고, 특히 사람의 위험 상황에 관련된 연구가 활발히 진행되었다[13]. 관련된 선행 연구는 다음과 같다.

안현준 외 4인(2017)는 심정지 위험이 있는 환자를 대상으로 심전도, 심음, 동작 정보를 웨어러블 장비를 활용하여 위험 상황 발생 시 원격으로 통보하는 디바이스를 제시하였다[14]. 이인권 외 4인(2019)는 환자, 독거노인, 어린이 등의 돌봄이 필요한 대상으로 스마트밴드와 스마트폰을 활용하여 보호자에게 상황을 빠르게 통보하여 피해를 최소화할 수 있는 시스템을 제시하였다[15]. 진우강(2021)은 65세 이상의 노인과 치매 환자를 대상으로 웨어러블 장비, 스마트폰을 활용하여 건강에 이상이 생겼을 때 긴급구조 요청이 가능한 시스템을 제시하였다[16].

## 2.4 선행연구 고찰

건설산업에서는 재해를 줄이기 위해 안전관리의 한 부분으로 건축현장사고 예측, 스마트건설기술의 요소기술, 건설 안전 제도를 분석하여 건설현장에 적용하기 위한 연구들이 진행되고 있지만, 실제 건축현장에 적용하는 연구는 다소 부족한 실정이다. 관련된 선행연구는 다음과 같다.

김연철 외 2인(2017)은 건설현장 재해를 대상으로 인공지능경망 기법을 적용하여 안전사고 예측 모델을 개발하여 예측 정확도 80%를 제시하였다[17]. 이현수 외 4인(2019)은 안전관리를 대상으로 BIM(Building Information Modeling)과 웨어러블 장비를 결합하여 모니터링 시스템을 제시하였다[18]. 김광배(2019)는 기업에서 사용하고 있는 안전관리시스템을 대상으로 문제점 파악을 위해 성능과 기능을 비교 분석하였고 스마트 건설 요소기술의 방향을 제시하였다[19]. 박경수 외 3인(2020)은 국내 스마트 안전관리 기술 적용을 대상으로 건설공사 관련 제도를 분석하여 정책 및 법령에 관한 방향을 예측하고 요소기술의 발전 방향성을 제시하였다[20]. 민경석(2021)은 스마트기술별 영향도를 대상으로 조사와 분석을 시행하고 스마트기술이 사용될 영역을 예측하고 제시하였다[21]. 전원경(2022)은 스마트기술을 대상으로 스마트건설기술 현황을 분석하고 스마트건설기술 활성화 방안을 제시하였다[22]. 응급조치와 이상 상황 감지를 위해 심박수 해석, 심박수와 칼로리의 연관관계 분석, 웨어러블 장비의 신뢰도에 관한 연구는 다음과 같다. Perret-Guillaurne (2009)는 마을 사람의 심박수를 대상으로 나이가 들수록 심박수의 증가가 사망률 및 심혈관 질환의 원인이 될 수 있는 위험성을 제시하였다[23]. Ristow(2022)는 536명을 대상으로 21년 동안 심박수의 증가가 심혈관과 당뇨병의 사망원인보다 높은 원인으로 밝혀냈으며 심박수의 추적을 통해 건강상태의 변화를 조기에 탐지할 수 있음을 제시하였다[24]. 박재영 외 6인(2004)은 65명의 참가자를 대상으로 키, 몸무게의 신체정보와 심박수로 에너지 소비량을 예측할 수 있는 공식을 제시하였다[25]. 김지혜 외 2인(2020)은 웨어러블 장비를 대상으로 활동 그리고 사람의 움직임이 심박수 측정에 영향을 줄 수 있는 자세와 행동을 분석하여 올바른 웨어러블 착용 방법과 신뢰도를 제시하였다[26].

## 3. 건설현장 웨어러블 장비 적용

### 3.1 데이터 수집 방법

데이터 수집 항목은 작업자가 설정할 수 있는 이름, 성별, 나이, 업종, 키, 몸무게로 구성되고, 심박수를 활용하여 작업강도, 누적피로도, 위험상황으로 구분할 수 있는 자료 데이터가 생성된다. 데이터의 흐름은 건축현장 근로자의 웨어러블 장비에서 측정된 심박수와 위치정보를 HTTP 프로토콜의 웹 서버로 전송하고, 이 전송된 데이터는 데이터베이스에 저장되고 웹 서버로 전송하고 정제된 데이터를 모니터링 웹에서 확인할 수 있다 <Fig. 3>. 웨어러블 장비는 PPG 광혈류 센서가 적용되어 있고 블루투스 5.0을 지원하는 기기로 선정하였다. 건축현장 근로자를 모니터링하기 위해서 웹 서버는 10초 이내에 관리자에게 근로자 정보를 제공하고 5초 이내에 변경된 근로자의 데이터를 관리자에게 제공하도록 설계하였다. 웨어러블 장비를 적용할 인원은 형틀 근로자 6명으로 나이는 20세 이상 35세 미만의 근로자 2명, 35세 이상 51세 미만의 근로자 2명, 51세 이상의 작업자 2명으로 구성하였다.

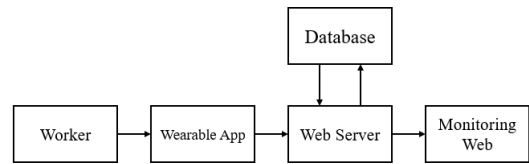


Fig. 3. Data Flow Diagram

### 3.2 데이터 분석 방법

데이터 분석 방법은 취득한 데이터를 기반으로 누적피로도, 작업 강도, 위험상황 파악을 위해 해리스베네딕트 공식, 카르보넨 운동강도, 안정심박수 등의 공식이 적용되었다 <Fig. 4>.

누적피로도를 구하기 위해 사용된 해리스-베네딕트 공식은 기초대사량(BMR)과 활동대사량(AMR) 값을 더하여 구할 수 있다 <Table 2> [27]. 이를 계산하기 위해 <Table 3> 에너지 소비량 공식을 활용하였으며 이 두 공식은 다음과 같은 방법으로 사용된다 [28]. 해리스-베네딕트 공식으로 근로자의 기초대사량과 활동대사량을 산정하고 실시간으로 유입되는 심박수 데이터를 활용하여 실시간 데이터를 추적 및 관찰한다. 또한, 카르보넨 공식 <Table 4>를 활용하여 본 연구에서 활용할 작업 강도 기준을 제시하였다 <Table 5>.

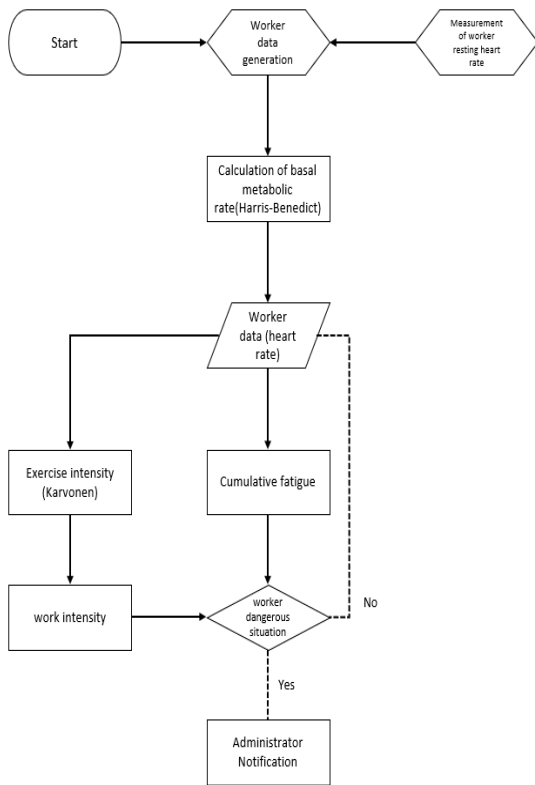


Fig. 4. Data Analysis Process

Table 2. Harris-Benedict Formula

category	Classification
(1) basal metabolic rate in males	$66.5+(13.75*\text{weight[kg]})+(5.003*\text{height[cm]})-(6.775*\text{age})$
(2) Female basal metabolic rate	$665.1+(9.563*\text{weight[kg]})+(1.850*\text{height[cm]})-(4.676*\text{age})$
example of (1)	Gender: Male, Weight: 80 kg, Height: 180, Age: 30 The basal metabolic rate is 1,863.79 kcal ( $=66.5+(13.75*80\text{kg})+(5.003*10\text{cm})-(6.775*30)$ )
(3) active metabolism	basal metabolic rate*0.35

Table 3. Energy consumption formula (minutes)

category	Classification
(1) male energy consumption (cal/min)	$-8477.604+(\text{weight}*6.481)+(\text{heart rate}*51.426)+((\text{weight}*\text{heart rate})*1.018)$
(2) Female energy consumption (cal/min)	$100.127+(\text{weight}*-106.729)+(\text{heart rate}*12.580)+((\text{weight}*\text{heart rate})*1.251)$

※heart rate : beat/min weight : kg

Table 4. Karvonen Formula

category	Classification
(1) Maximum heart rate(MHR)	1. 220 - age 2. 209-(0.7*age) 3. 202-(0.55*age) 4. 216-(1.09*age)
(2) Resting heart rate(RHR)	Heart rate measured in comfort for 1 minute
(3) Hear rate reserve	MHR - RHR

※heart rate : beat/min weight : kg

Table 5. Comparison of Karvone Exercise Strength and Work Strength of this Study

category	area 1	area 2	area 3	area 4	area 5
Karvonen Formula	Minimum Heart rate(more than) $(HRR) \times 0.5 + RHR$	$(HRR) \times 0.6 + RHR$	$(HRR) \times 0.7 + RHR$	$(HRR) \times 0.8 + RHR$	$(HRR) \times 0.9 + RHR$
	Maximum Heart rate(less than) $(HRR) \times 0.6 + RHR$	$(HRR) \times 0.7 + RHR$	$(HRR) \times 0.8 + RHR$	$(HRR) \times 0.9 + RHR$	$(HRR) \times 1 + RHR$
this study	Minimum Heart rate(more than) $(HRR) \times 0.1 + RHR$	$(HRR) \times 0.2 + RHR$	$(HRR) \times 0.4 + RHR$	$(HRR) \times 0.6 + RHR$	$(HRR) \times 0.8 + RHR$
	Maximum Heart rate(less than) $(HRR) \times 0.2 + RHR$	$(HRR) \times 0.4 + RHR$	$(HRR) \times 0.6 + RHR$	$(HRR) \times 0.8 + RHR$	$(HRR) \times 1 + RHR$

Table 6. Stable heart rate

Gender	Age	Athlete	Excellent	Good	Average	Poor
Male	18 ~ 25	49~55	56~61	61~65	70~73	more than 82
	26 ~ 35	49~54	55~61	62~65	71~74	more than 82
	36 ~ 45	50~56	57~62	63~66	71~75	more than 83
	46 ~ 55	50~57	58~63	64~67	72~76	more than 84
	56 ~ 65	51~56	57~61	62~67	72~75	more than 82
	65 ~	50~55	56~61	62~65	70~73	more than 80
Female	18 ~ 25	54~60	61~65	66~69	74~78	more than 85
	26 ~ 35	54~59	60~64	65~68	73~76	more than 83
	36 ~ 45	54~59	60~64	65~69	74~78	more than 85
	46 ~ 55	54~60	61~65	66~69	74~77	more than 84
	56 ~ 65	54~59	60~64	65~68	74~77	more than 84
	65 ~	54~59	60~64	65~68	73~76	more than 84

위험상황을 확인하기 위해서는 미국 질병예방통제센터(Center for disease control and prevention)에서 제공하는 안정심박수 하한선과 카르보넨 공식으로 확인할 수 있는 최대심박수로 설정하였다[29](Table 6).

### 3.3 안전관리 프로세스 및 적용

안전관리는 민간 건설기업의 규정과 현장 규모별에 따라 다르게 적용되고 있다. 일반적인 안전관리와 같은 경우는 작업 현황 파악, 관리대상 작업자 이동(관리감독자), 불안정한 행동 및 상태 점검, 조치 및 확인으로 진행이 된다. 웨어러블 장비를 이용한 안전관리 업무를 본다면 관리대상을 확인하기 위하여 작업자 이동이 없이 사무실 내에서 모니터링이 가능하다.

안전관리 체계 적용을 위한 현장은 서울시 강동구 성내동에 있는 현장으로 지하 3층~지상 6층의 비주거 시설이며 형틀 근로자 8명~12명, 철근 근로자 6명~10명, 상주 감리 1명, 현장감독관 1명, 관리감독자 1명, 현장관리자 1명으로 최소 20명이 근무하게 구성되었다. 웨어러블 장비를 착용할 형틀 근로자의 작업 위치는 지하 1층부터 3층에 위치하였고 주된 작업내용은 설치와 해체로 구분할 수 있다. 작업은 서포트, 보 거푸집, 내 외부 벽 거푸집, 기둥 거푸집, 슬래브 바닥, 계단실 거푸집 설치 및 해체를 진행하였다.

안전관리 체계를 적용하기 위한 과정은 다음과 같다.

- (1) 웨어러블 장비를 적용하기 위해 장비를 준비하고 보급하고 장비와 스마트폰 연결상태를 확인한 뒤에 네트워크 상태가 정상적으로 동작하고 있는지 확인한다.
- (2) 건축현장 근로자가 본인의 기본정보를 웨어러블 장비에 입력하고 설정한 작업자의 정보를 기반으로 기초, 활동대사량 계산, 작업강도, 에너지 소비량 측정을 준비한다.
- (3) 웹 페이지에서 에너지 소비량, 작업강도, 위험상황이 일치하는지 확인한다.
- (4) 모니터링 웹에 실시간으로 건축현장 근로자의 데이터가 축적되고 실시간으로 분석되고 있는지 확인한다.

## 4. 웨어러블 장비 적용 결과

안전관리자의 인력이 부족하거나 시간이 더욱 소요되는 안전관리에서 재해 위험률이 가장 높은 건축현장 형

틀 근로자를 대상으로 웨어러블 기술을 적용한 사례에 대한 결과를 도출하였다. 웨어러블 장비를 적용한 건축현장 근로자의 정보는 다음과 같다(Table 7). 성별은 모두 남성으로 동일한 현장에서 근무하였고 연령대는 25세부터 65세까지 6명에게 적용하였고 키는 165cm ~ 182cm이고, 몸무게는 62kg ~ 95kg 이다. 경력은 최소 3년에서 최대 32년으로 다양하였고, 경력 8년 근로자와 32년 근로자를 제외하고는 모두 흡연자였던 것으로 파악됐다. 다음은 근로자의 상태정보로 나이가 젊을수록 측정되는 기초대사량이 높았으며 안정심박수로 측정된 값은 3번 근로자가 다소 높게 측정되었다(Table 8).

Table 7. Worker's Information

Group	Worker	Gender	Age	Height (cm)	Weight (kg)	occupation	Smoking status (O, X)	Career (year)
1	(1)	Male	25	182	95	Formwork	O	3
	(2)		33	176	88	Formwork	O	7
2	(3)		50	172	68	Formwork	X	8
	(4)		50	174	71	Formwork	O	15
3	(5)		58	165	62	Formwork	O	30
	(6)		64	174	91	Formwork	X	32

Table 8. Worker's status information

Group	Worker	Basal metabolic rate (kcal)	Activity consumption (kcal)	Daily activity consumption (kcal)	Resting heart rate (beat/min)
1	(1)	2115	740.25	1445.25	61
	(2)	1937.1	677.98	1323.68	59
2	(3)	1537.6	538.16	1050.69	72
	(4)	1583.7	554.29	1082.19	61
3	(5)	1473	515.55	1006.55	62
	(6)	1760.2	616.07	1202.80	60

다음 (Table 9)은 21일간 근로자의 심박수를 추적한 데이터의 평균값으로 범위는 분당 심박수가 86 Beat/min ~ 120 Beat/min으로 확인할 수 있으며 3번 근로자의 평균 심박수가 102로 가장 높게 측정되었고 6번 근로자의 심박수가 85로 가장 낮았다.

Table 9. Operator average heart rate

Worker	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	93.28	86.5	102.15	91.95	98.21	95.22
2	101.2	95.59	102.32	91.9	96.07	78.32
3	93.94	97.6	103.39	91.67	113.08	78.34
4	100.71	98.89	101.65	93.04	98.33	74.61
5	95.2	97.5	103.48	91.46	96.95	110.76
6	97.23	84.89	101.83	91.06	94.21	79.73
7	93.67	98.19	101.74	92.54	92.95	74.01
8	93.58	95.31	103.19	93.67	93.08	83.54
9	96.82	95.31	104.17	94.53	94.16	78.2
10	105.31	95.84	103.92	93.43	96.89	78.21
11	94.3	93.77	103.06	95.88	93.88	84.41
12	99.46	107.6	102.79	97.43	91.75	84.94
13	95.49	101.68	103.53	90.08	90.49	84.68
14	116.96	96.8	102.84	91.11	91.72	87.01
15	93.53	101.63	103.79	91.29	87.05	91.2
16	98.81	79.39	103.64	103.11	100.79	86.19
17	103.44	97.41	101.96	103.15	93.83	117
18	95.76	120.93	101.2	102.78	95.82	94.07
19	98.71	111.73	102.61	103.07	105.35	80.95
20	94.09	107.29	103	103.22	109.13	82.49
21	94.73	101.33	101.86	102.02	104.07	79.08
Average	97.91	98.34	102.77	95.64	97.03	85.85

웨어러블 장비를 활용하여 추적한 심박수의 분포도는 <Fig. 5>과 작업강도의 분포도는 <Fig. 6>로 확로 확인할 수 있고 평균 작업강도와 누적피로도(%), 최대·최소 심박수에 따른 위험상황을 <Table 10>로 확인할 수 있다.

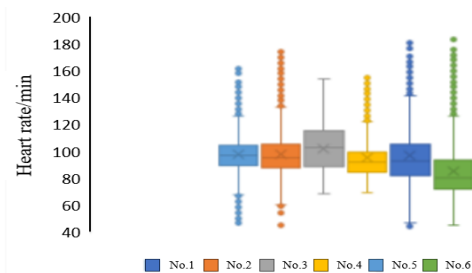


Fig. 5. Operator heart rate distribution plot

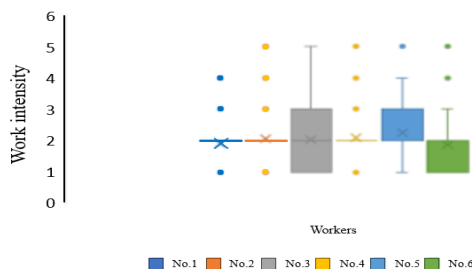


Fig. 6. Operator Work Strength Distribution Plot

먼저, 1번 근로자의 심박수 분포는 105에서 90이 가장 많이 측정되었고 작업강도는 2단계로 확인해 볼 수 있다. 2번 근로자의 심박수 분포는 88에서 106이 가장 많이 측정되었고 작업 강도는 2단계로 확인할 수 있다. 3번 근로자의 심박수 분포는 89에서 116이 가장 많이 측정되었고 작업강도는 1~3단계로 확인할 수 있다. 4번 근로자는 85에서 100이 가장 많이 측정되었고 작업강도는 2단계로 확인할 수 있다. 5번 근로자는 82에서 106이 가장 많이 측정되었고 작업강도는 2단계에서 3단계로 확인할 수 있다. 6번 근로자는 72에서 94가 가장 많이 측정되었고 작업강도는 2단계를 확인할 수 있다.

Table 10. Worker's status information

Number	Work Strength	Accumulated Fatigue (%)	Maximum heart rate DANGEROUS SITUATION (times/minutes)	Minimum heart rate DANGEROUS SITUATION (times/minutes)
(1)	1.91	249	0	60
(2)	2.05	244	0	6
(3)	2.04	340	0	0
(4)	2.10	191	0	0
(5)	2.26	298	274	47
(6)	1.87	202	230	74

### 5. 결론

스마트건설기술이 건축현장에 적용하기 위한 연구가 지속하고 있으며, 건설프로젝트의 성공을 위해 스마트 안전관리에 관한 관심이 더욱 증가하고 있다. 정부와 민간기업은 스마트건설기술 적용을 위한 정책 및 제도가 수정·보안이 되는 등의 노력을 진행하고 있다. 스마트 건설기술은 기존의 전통적인 인력 위주의 수동적인 방식을 새로운 기술을 활용하여 자동화 방식으로 공기 단축, 생산성과 품질 향상, 중대재해 저감 등의 문제를 해결하기 위해 노력하고 있다. 타 산업에서도 인간의 생명을 지키기 위해 사용되고 있는 웨어러블 장비를 건축현장에서도 근로자의 안전상태를 확인하고 위험요소를 선제적으로 제거할 수 있는 기술로 건축현장 관리자의 업무의 효율성을 증대시켜 줄 방안으로 제시되고 있는 기술이다[30].

본 연구에서는 건축현장 작업자들의 신체정보를 기반으로 1일 활동 소비량, 활동 소비량, 기초대사량, 체질량 지수, 안정심박수로 작업강도, 누적피로도, 위험상황의 기준을 제시하였고, 안전관리 프로세스를 설정하였다.

눈으로 확인할 수 없는 작업자들의 현 상태를 제시한 기준을 통해 신속하게 파악할 수 있었으며, 단발성이 아닌 지속성을 지닌 파악이 가능하였다. 또한 심박수를 치환하는 공식을 통해 작업자의 누적피로도를 확인할 수 있는 결과를 제시하여 심박수 분석에 대해 다소 생소한 사용자 역시 결과에 대해 비교적 쉽게 접근하고 이해가 가능하다.

사례분석 결과 평균 심박수가 높아도 체질량지수, 기초대사량, 나이, 몸무게 등의 다른 영향이 존재할 수 있으므로 심박수 단일 정보로는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 근로자의 신체정보, 신체적 특성을 고려하여 이를 작업강도, 누적피로도, 위험상황으로 결과를 나타낼 수 있었다.

웨어러블 장비를 건축현장에 적용한 결과, 수면과 유사한 휴식을 취하는 경우, 갑작스럽게 일을 시작하는 경우 근로자의 반응속도와 인지능력이 감소된 불안정한 행동이 곧 사고로 직결될 수 있다. 그러므로 근로자가 휴식 시간을 가졌다면 간단한 체조를 통해 정상적인 신체 상태에서 작업을 시작할 수 있는 대책이 필요하다고 생각된다. 51세 이상의 근로자의 경우는 심박수의 최대범위가 50세 이하의 근로자보다 상대적으로 낮으므로, 작업강도가 높은 작업 이후에는 충분한 휴식이 필요하고, 작업강도가 높은 작업을 지속하는 것은 지양하는 것을 권장한다고 생각된다. 또한, 건축현장 근로자의 경우 일반적인 회사원의 수준보다 2배 이상의 칼로리를 소비하고 있음을 확인하였다.

건축현장에는 열사병 사고, 심정지 사고 등의 다양한 사고가 존재하고 4분이 넘어가면 생존 확률이 절반 미만으로 내려가는 위험성이 존재하지만, 웨어러블 장비를 활용하여 실시간 심박수 모니터링이 가능하다면 즉각적인 초기 대응이 가능하여 피해 예방과 최소화를 기대할 수 있다.

## References

- [1] National Law Information Center, "Act No. 17907 on Punishment for Serious Accidents, etc", Republic of Korea, 2021.
- [2] Ministry of Employment and Labor Industrial Accident Prevention Policy Division, "20 Years of Occupational Accident Death Statistics Announcement", p.14, Ministry of Employment and Labor, 2021, pp.4-9.
- [3] Technology Policy Division, "Realization of smart construction core technologies by 2025", pp.7, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020, pp.2-7.
- [4] Shin, J.K, "Real-time monitoring system for construction site workers using smart technology", Ph.D dissertation, Kyonggi University, pp.12.
- [5] Choi, B.J, "Construction site safety and health management using wearable technology", *Korea institute of Construction Engineering and management*, vol. 20, no. 4, pp.30-33, 2019.
- [6] Park, J.J, "Research on measures to improve the pre-hospital emergency medical system to analyze domestic industrial accidents and reduce fatal accidents - Focusing on small-scale construction sites -", Ph.D dissertation, Dankook University, pp.8.
- [7] Yang, Y.S., Park, J.H., Lee, C.S, "Disaster risk analysis by occupation of construction workers", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 25, No. 10, pp.149-156, 2009.
- [8] Kim, K.B, "Study on IoT-Based Smart Safety Management System in Construction Site", Master's thesis, Kangwon University, pp.4.
- [9] Shin, J.K, "Real-time monitoring system for construction site workers using smart technology". Ph.D. Dissertation, Kyonggi University, pp.3.
- [10] Jeon, W.J, "A Study on the Implementation of Smart Construction Technology by Domestic Construction Companies". Master's thesis, Kangwon University, pp.17.
- [11] Min, K.S, "A Study on the Prevention of Safety Accidents in Construction Sites Using Smart Technology.", *Safety Culture Research Paper* No. 11, pp.97-114, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.52902/kjsc.2021.11.97>
- [12] Technology Policy Division, "Realization of smart construction core technologies by 2025", pp.7, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020, pp.2-7.
- [13] Kim, K.B., Jeong, J.Y., Song, I.H., Shin, Y.T, "A Study on the Factors Influencing the Acceptance Intention of IoT-Based Construction Safety Service", *Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management*, Vol. 13, No. 2, pp.2395-2401, 2021.
- [14] Ahan, H.J., Yoo, S.M., Jo, K.W., Park, H.K., Kim, I.Y, "Development of a Multi-Body Signal Measurement Wearable Device for Heart Stopping Detection", *The Korean Society of Media & Biological Engineering*, Vol. 38, No. 6, pp.330-335, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.9718/JBER.2017.38.6.330>
- [15] Lee, I.K., Park, J.H., Jin, S.R., Han, K.D., Hwang, H.Y, "Accident response system through emergency situation recognition and real-time video sharing using heart rate", *Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 23, no. 2, pp. 358-363, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.2.358>



- [16] Jin, W.K, "A Study on the Design and Development of Smart Wearable Devices Using Solar Power Generation Technology", Ph.D. Dissertation, Dong-Eui University, pp.1-193.
- [17] Kim, Y.C., Yoo, W.S., Shin, Y.S, "Application of Artificial Neural Network Techniques for Prediction of Construction Safety Accidents", *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 1, pp.7-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.1.7>
- [18] Lee, H.S., Lee, K.P., Park, M.S., Kim, H.S., Lee, S.B, "Building Site Safety Management System Based on BIM Using Location Tracking Technology", *Korea institute of Construction Engineering and management*, Vol. 10, No. 6, pp.135-145, 2009.
- [19] Kim, K.B, "A Study on IoT-Based Smart Safety Management System in Construction Site", Master thesis, Kangwon University, pp.1-41.
- [20] Park, K.S., Lim, S.B., Kim, S.H., Koo, K.Y, "A Study on the Improvement of Construction Safety System for the Application of Smart Construction Technology", *Korea Construction Safety Association*, Vol. 3, No. 1, pp.9-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20931/JKICS.2020.3.1.009>
- [21] Min, K.S, "A Study on the Prevention of Safety Accidents in Construction Sites Using Smart Technology.", *Safety Culture Research Paper*, No. 11, pp.97-114, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52902/kjsc.2021.11.97>
- [22] Jeon, W.K, "A Study on the Implementation of Smart Construction Technology by Domestic Construction Companies", Master Dissertation, Kangwon University, pp.1-71, 2022.
- [23] C. Perret-Guillaume, L. Joly, and A. Benetos, "Heart Rate as a Risk Factor for Cardiovascular Disease", *Progress in Cardiovascular Diseases*, vol. 52, no. 1. Elsevier BV, pp. 6-10, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.pcad.2009.05.003>
- [24] Ristow Brandon, Doubell Anton, Derman Wayne, Heine Martin, "Change in resting heart rate and risk for all-cause mortality", *European Journal of Preventive Cardiology*, vol. 29, no. 7, pp.249-254, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/euripc/zwab231>
- [25] Park, J.Y., Park, S.T., Jeon, T.W., Um, W.S., Lee, D.K., Park, I.R., Kang, H.J, "Estimation of Energy Consumption of College Students Using Heart Rate in Exercise," *Exercise Science*, Vol. 13, No. 3, pp.311-32, 2004.
- [26] Kim, J.H., Lee, J.L., Woo, M.J, "Is Heart Rate Measured by Smartwatch during Exercise Reliable? Analysis of Correlation and Agreement Between Heart Rates of Polar and Smartwatch." *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 11, No. 6, pp.331-339, 2018.
- [27] Park, J.S., Lim, J.E, "Measurement of resting metabolism and comparison of predicted values of overweight and obese women in Korea", *The Korean Society of Community Nutrition*, Vol. 23, No. 5, pp.424-430, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5720/kicn.2018.23.5.424>
- [28] Harris JA, Benedict FG, "A biometric study of basal metabolism in man", *Washington: Carnegie institution of Washington*, Vol. 4, No. 12, pp. 370-373, 1919. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>
- [29] Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O, "The effect of training on heart rate: a longitudinal study", *Ann Med Exp Biol Fenn.*, Vol. 35, No. 3, pp.307-315, 1957.
- [30] Lee, K.S, "Development of real-time monitoring system for construction site workers using wearable equipment". Master's thesis, Kyonggi University, pp.1-59, 2022.

이 기 석(Ki-Seok Lee)

[준회원]



- 2023년 2월 : 경기대학교 대학원 건축공학과 (건축공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 한국건설산업연구원 연구원

<관심분야>

건축시공, 건설안전, 건축시공관리

신 윤 석(Yoon-Seok Shin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 대학원 건축공학과 (시공관리석사)
- 2010년 2월 : 고려대학교 대학원 건축공학과 (시공관리박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 건축공학과 정교수

<관심분야>

건축시공, 건설안전, 건축시공관리

유 위 성(Wi-Sung Yoo)

[정회원]



- 2003년 6월 : Texas A&M University 대학원 건축공학과 (건설관리석사)
- 2010년 2월 : The Ohio State University 대학원 건축공학과 (시공관리박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국건설산업연구원 연구위원

<관심분야>

건설관리, 빅데이터, 인공지능 기술, 지능형 의사결정