

## 스마트 조선소를 위한 사물인터넷 기반 용접 작업장 센서네트워크 구축

김현식<sup>1</sup> · 이기승<sup>2</sup> · 강석근<sup>3\*</sup>

### Implementation of a Sensor Network in a Welding Workplace Based on IoT for Smart Shipyards

Hyun Sik Kim<sup>1</sup> · Gi Seung Lee<sup>2</sup> · Seog Geun Kang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>CEO, Mattron Corp., Changwon, Gyeongnam 51756, Korea

<sup>2</sup>Chief Researcher, Mattron Corp., Changwon, Gyeongnam 51756, Korea

<sup>3\*</sup>Professor, Department of Semiconductor Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 52828, Korea

#### 요약

본 논문에서는 사물인터넷을 이용하여 조선소의 작업장 단위로 센서네트워크를 구축하는 방안을 제시한다. 여기서는 조선소에서 가장 흔한 용접 작업장에서 조선블록을 통신매체로 활용하여 작업자의 위치, 용접 진행률, 작업 시간 등의 정보를 LoRa와 전력선통신을 이용하여 서버로 전송한다. 이와 같은 데이터통신을 위하여 유도성 커플러와 복합통신용 모뎀을 제작하여 와이어피더와 핀지그에 설치하여 센서네트워크를 구축하였다. 시험 결과, 제시된 시스템은 약 98% 이상의 데이터 전송 성공률과 작업자 위치 인식 성공률을 가지는 것으로 나타났다. 또한, 현장에서 발생된 작업 데이터는 실시간 기록과 디스플레이가 가능함을 공정관리시스템 플랫폼을 통하여 확인하였다. 제시된 시스템은 미래형 스마트 조선소 구축을 통한 우리나라 조선산업의 경쟁력 강화를 위한 단초가 될 것으로 사료된다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose a method to implement an IoT-based sensor network for each workplace of a shipyard. Here, at the most common welding workplace in shipyards, the shipbuilding blocks are used as a communication medium to transmit information such as the worker's location, welding progress, and working hour to a server using LoRa and powerline communication. To achieve the data communication, inductive couplers and hybrid modems have been manufactured and installed on wire feeders and pin jigs to establish a sensor network. As a result of field test, the proposed system shows a success rate of data transmission and a rate of successful recognition of worker's location of about 98% or more. In addition, the process management system platform can record and display the work process data generated at the field in real time. The proposed system can be a starting point for enhancing the competitiveness of Korean shipbuilding industry through the establishment of a smart shipyard.

**키워드** : 스마트 조선소, 센서네트워크, 사물인터넷, 전력선통신, LoRa 통신

**Keywords** : Smart shipyard, Sensor network, Internet-of-Things (IoT), Powerline communication, LoRa communication

Received 24 January 2021, Revised 8 February 2021, Accepted 15 February 2021

\* Corresponding Author Seog Geun Kang(E-mail:sgkang@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-1737)

Professor, Department of Semiconductor Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 52828, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.3.433>

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

현재 우리나라를 포함한 전 세계 제조업은 “제조업혁신 3.0” [1], “Industry 4.0” [2], “제조2025” [3], “이어지는 공장” 등 다양한 슬로건을 내세워 스마트 팩토리화(Smart Factory)라는 제조혁신을 추구하고 있다 [4]. 이를 통해 구현하고자 하는 세부적인 목표는 각 나라마다 시급성이나 강점과 약점, 관련 제조업 분야에 따라 달라질 수 있으나 궁극적인 목표는 생산공정에 대한 최적 관리를 통하여 생산성과 산업적 가치의 향상에 있다.

스마트 팩토리화의 가장 큰 문제점은 생산과정-기계-사람의 상호작용에 있다. 특히, 복잡하고 획일화가 힘든 생산과정과 정확성, 일관성을 가진 기계, 그리고 예측 불가능한 사람 간의 효율적인 상호작용을 이루기 위하여 생산공정에 대한 상세한 설계가 요구된다. 이와 같은 관점에서 맞춤형 스마트 팩토리의 필요성이 대두되고 있다. 맞춤형 스마트 팩토리는 사람, 사물, 장비, 시스템 등 공장을 구성하는 모든 구성요소 간의 관계를 표준화시키고, 표준화된 연결을 통해 생산 활동 전반을 데이터화시켜 저장하고, 이를 통해 물류 흐름과 공정 진행을 최적화하여 생산성의 향상을 달성한다.

기존 조선소의 조선블록 조립공정은 표준화되지 않은 대표적인 시스템 가운데 하나로 공정현황에 대한 실시간 파악과 평가가 어렵고 작업자에 대한 평가 및 관리가 용이하지 않다. 따라서 전체 공정에 대한 객관적인 지표 산출을 통한 작업 능력과 용접 품질의 향상 방안이 지속적으로 대두되고 있는 실정이다. 특히, 조선소의 혹독한 환경으로 인해 일반적인 스마트 팩토리 기술을 적용하기에는 많은 장애가 존재한다. 고전류, 고온, 고충량 부품이 산적한 작업환경 때문에 센서네트워크를 구성하는 사물인터넷(internet-of-things, IoT) 모듈은 내구성과 내열성을 확보해야 하고, 거대한 철판 구조물 등으로 인한 전자파 차폐환경은 일반적인 센서네트워크의 구축을 방해한다. 또한, 정형화되지 않은 단위 공정들로 인하여 전체적으로 표준화된 작업공정 체계의 도입이 어려운 점도 있다.

조선소의 용접공정에 대한 맞춤형 스마트 팩토리화는 기존에 확인할 수 없던 공정 전반에 대한 정보(공정 진행률, 예상 완공일, 선박 당 지출 재료비, 작업자의 업무 능력)를 제공할 수 있다. 또한, 데이터화된 공정은 건조 중인 선박에 대한 공정 진행률 등을 수치화함으로써

선박 건조에 소요되는 기간과 재료, 인력 등을 포함한 구체적인 선박 제조 원가에 대한 제조사와 발주사 간의 신뢰성을 제고시킬 수 있다 [5]. 이는 선박 건조과정에 내재된 비효율성을 개선함으로써 건조 원가를 낮춰 조선산업의 가격 경쟁력을 상승시키는 요인이 될 수 있다.

이를 위하여 본 논문에서는 조선소 용접공정의 스마트화를 위한 맞춤형 사물인터넷 통신네트워크 구축과 이에 필요한 용접모듈의 개발 및 시험결과를 제시한다. 여기서는 용접기-강판블록-핀지그를 매체로 활용하는 블록매체 통신을 기반으로 LoRa (long range) 통신 기반 조립장 단위 네트워크 구축과 전력선통신 기반 근거리 데이터통신망(local area networks, LAN)을 이용하여 데이터 저장 및 실시간 모니터링시스템을 구현한다. 특히, LoRa 기반 네트워크는 표 1에 나타난 바와 같이 상용화된 LTE Cat-M에 비하여 데이터 전송속도가 높지 않고 소비전력이 현저히 낮아 배터리 사용시간이 매우 길어지는 특징이 있다 [6]. LoRa 통신은 매우 넓은 지역에 다수의 작업장이 있는 조선소 등에서 대용량 데이터 전송이 요구되지 않으면서도 장시간 작업이 필요한 산업시설의 사물인터넷 기반 스마트 네트워크를 구성하는데 적합하다. 따라서 본 논문에서 제시한 스마트 조선소 구축을 위한 통신네트워크의 구축 방법은 작업자의 현재 위치, 작업의 종류 및 시행 방법, 공정 진행률 등에 대한 실시간 파악과 데이터의 기록 관리가 용이하게 하는 장점이 있다.

**Table. 1** Comparison of the technical specifications of the LoRa and the LTE Cat-M [6]

Feature	LoRa	LTE Cat-M
Rx bandwidth	20 ~ 125 [kHz]	50 ~ 1.4 [MHz]
Data rate	290 [bps] ~ 50 [kbps]	200 [kbps] ~ 1.0 [Mbps]
Max output power	20 [dBm]	23/30 [dBm]
Battery lifetime	105 [month]	18 [month]
Power efficiency	Very high	Medium

## II. 조선소 용접공정 맞춤형 통신네트워크

일반적으로 조선소의 선박 조립에서 용접공정은 규모에 따라 차이는 있으나 대부분 거대한 조선블록 단위 별로 이루어진다. 또한, 대부분 야외에서 조선블록에 쌓

여 소음, 먼지, 불꽃 등 혹독한 환경으로부터 작업자를 보호하기 위한 방호복과 마스크, 귀마개 등을 착용한 상태로 작업이 진행되는 특징이 있다. 따라서 작업자의 위치, 작업 진행률, 공정 현황 등에 대한 실시간 파악이 어려운 면이 있다.

최근 4차 산업혁명 시대의 도래와 함께 사물인터넷 기술은 이와 같은 애로사항을 해소 또는 완화시키면서도 끊임없는 데이터의 기록과 관리를 통하여 전체 공정에 대한 객관적인 지표 산출을 통한 작업 능력과 용접 품질의 향상 방안이 될 수 있다. 하지만 조선소의 고중량 거대 철관 구조물은 위치가 가변적인 부품으로 전자파의 전달을 방해하는 요인이 되므로 고정된 데이터 획득 장치들과 유선 선로를 이용한 통신네트워크 구성을 어렵게 만드는 원인이 되어 왔다. 이에 따라 본 논문에서는 용접건에 센서를 부착하고 조선블록을 통신매체로 활용하는 사물인터넷 통신과 용접공정에서 발생하는 다양한 데이터를 LoRa 통신을 이용하여 공정관리시스템에 전달하는 센서네트워크를 구축한다. 이와 같은 조선블록을 이용한 사물인터넷 기반 통신네트워크의 구성을 그림 1에 개념적으로 나타내었다.

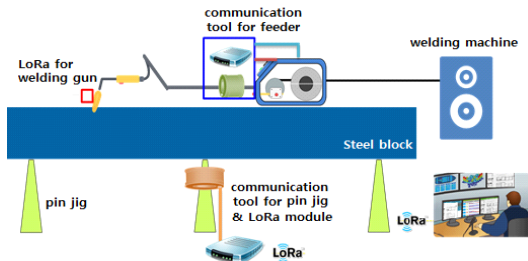


Fig. 1 Configuration of a communication network based on IoT

제시된 센서네트워크에서는 용접 대상인 조선블록 철판과 이를 지지하는 핀지그를 통신매체로 활용한다. 핀지그에 전력선통신에서 주로 사용되는 커플러를 설치하고, 이를 복합통신용 모뎀에 연결하여 LoRa 통신이나 무선 근거리통신을 이용하여 용접공정에서 발생하는 데이터를 공정관리시스템으로 전송한다. 또한, 작업자가 소지하는 와이어피더에도 커플러와 복합통신용 모뎀을 연결함으로써 용접기와 작업자의 식별, 작업 시간 및 용접 진행률, 작업 자세 등의 데이터를 LoRa 통신을 이용하여 서버에 전송한다. 따라서 이와 같은 용접 작업장 단위의 통신네트워크를 구성하기 위해서는 와

이어피더와 핀지그용 커플러, 복합통신용 모뎀의 새로운 제작이 필요하다.

### III. 커플러와 통신모뎀의 설계

전력선통신시스템(powerline communication system)을 구성하는 핵심 요소인 커플러는 통신매체인 전선으로부터 데이터를 획득하여 복합통신용 모뎀에 전달한다 [7],[8]. 이는 전선에 직접 체결되는 용량성 커플러(capacitive coupler)와 전자기 유도법칙을 이용하는 유도성 커플러(inductive coupler)로 구분된다. 전자는 전선에 직접 접촉하는 방식이므로 상대적으로 우수한 통신특성을 가지지만 전력선의 절단이 필요하다. 이에 비하여 유도성 커플러는 비접촉식으로 설치 가능하므로 통신매체의 형상 변경이 불필요한 장점이 있다. 특히, 조선소에서 사용되는 와이어피더와 핀지그의 경우 사업장마다 약간의 차이는 있으나 이미 별도의 스펙으로 제작되므로 형상의 변경에 따른 새로운 형상 설계를 시행하는 경우 비용이 크게 증가될 수 있다. 따라서 스마트 조선소 구축을 위한 본 연구에서는 핀지그와 와이어피더용 유도성 커플러를 설계/제작한다.

#### 3.1. 핀지그용 커플러 설계 및 제작

커플러 코어로는 나노크리스탈린이나 Fe계 나노합금이 주로 사용된다. 여기서는 후자인 비정질 나노합금을 최적 열처리 공정을 통해 리본 형태로 제작하였으며, 그 무게는 약 2.5 [kg]이다. 그림 2에 제작된 핀지그용 커플러와 삽입손실 측정결과를 나타내었다.

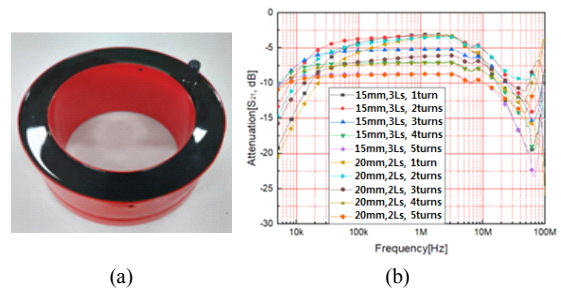


Fig. 2 An inductive coupler for pin jigs (a) Shape (b) Insertion loss

조선블록을 지지하는 핀지그는 원뿔 형태의 외형을 가지므로 핀지그의 상부에 끼워 고정시킬 수 있도록 원

통형으로 제작하였다. 핀지그용 커플러의 치수는 내경×외경×높이가 105×153×80 [mm]이며, 주요 동작 주파수 대역(operational frequency band)은 0.1 ~ 10 [MHz]이다. 그림 2(b)에 나타난 것처럼 제작된 커플러는 동작 주파수대역에서 비교적 평탄한 삽입손실을 가지는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2. 피더용 커플러 설계 및 제작

피더용 커플러는 용접 작업자가 소지하는 와이어피더와 용접점을 연결하는 선로매체에 부착하여 인식용 식별번호, 작업시간, 작업 자세 등의 정보를 핀지그용 복합통신 장치에 전송한다. 따라서 이는 휴대, 보관, 탈부착이 편리하고 작업에 방해되지 않도록 핀지그용 커플러보다는 훨씬 소형 경량화된 설계가 필요하다. 이를 위하여 피더용 커플러의 자심재료는 Mn-Zn계 페라이트를 이용하고, 운용 주파수대역 1 ~ 10 [MHz]에서 삽입손실은 -5 [dB] 이상이며 비교적 평탄한 특성을 가지도록 설계하였다. 또한, 작업자의 편의를 위하여 무게는 0.3 [kg] 이하, 내경은 17 [mm]로 제작하였다. 이와 같은 규격에 따라 설계/제작된 피더용 커플러를 그림 3에 나타내었다.

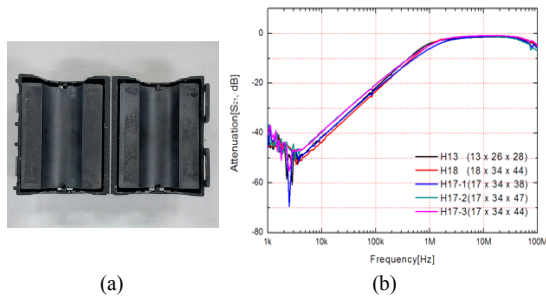


Fig. 3 An inductive coupler for feeders (a) Shape (b) Insertion loss

### 3.3. 복합통신용 모델

복합통신용 모델은 센서네트워크에서 단말 간 데이터 송수신을 직접 담당하는 인터페이스 장치이다. 일반적으로 산업 현장에서 가장 빈번하게 사용되는 유선 데이터 전송방식으로는 근거리통신망용 RJ-45와 RS-232, RS-485 등 직렬통신, 범용 비동기화 송수신(universal asynchronous receiver/transmitter, UART)용 3.3 [V] transistor-transistor logic (TTL) 통신이 있다. 무선 데이터 전송방식으로는 무선 근거리통신망, 블루투스나 지

그비와 같은 무선 개인통신망, 그리고 최근에는 LoRa 통신 등이 주로 사용된다.

조선소 용접 단위장에서 발생 가능한 여러 가지 데이터를 효과적으로 처리하기 위하여 전원부와 통신부를 내재한 복합통신용 모델을 그림 4와 같이 설계 및 제작하였다. 여기에는 동축케이블을 위한 BNC 포트와 이에 따른 인터페이스도 실장하였다. 또한, 작업자의 위치 정보를 실시간 전송하는 LoRa 모듈과 함께 재해 또는 재난상황에서도 전력공급이 이루어지도록 충전용 배터리 팩을 설치하여 작업자의 위치 정보를 상시 모니터링할 수 있도록 제작하였다.

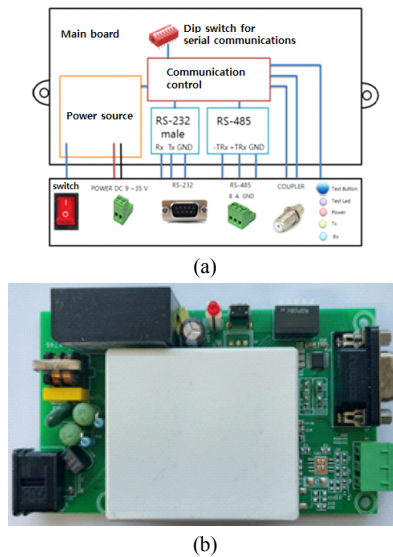


Fig. 4 A MODEM for hybrid communications (a) Block diagram (b) Manufactured PCB

## IV. 현장실험 및 분석

스마트 조선소 구축을 위하여 제작된 커플러와 복합통신용 모델을 조선블록 용접 단위장에 적용하여 실제적인 운용시험을 경남지역에 소재한 H중공업의 협조 아래 수행하였다. 개발된 사물인터넷 기반 통신네트워크의 시험을 위한 시스템 구성도를 그림 5에 나타내었다.

그림의 중앙에 용접 대상 조선블록을 지지하는 핀지그에 핀지그용 커플러가 설치되고 벽면 또는 기둥에 복합통신용 모델을 설치하여 전력선통신을 이용하여 관

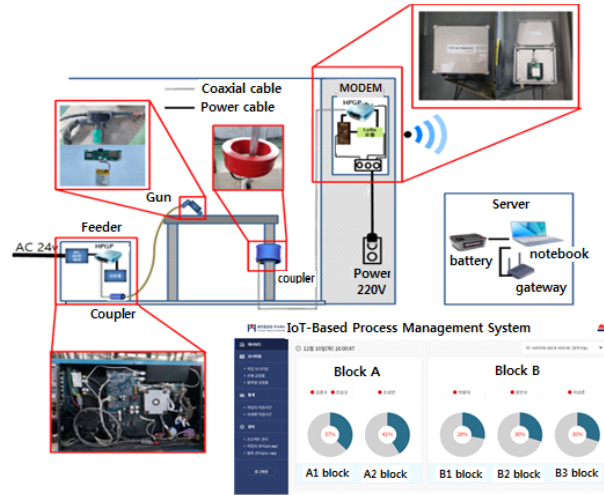


Fig. 5 The system configuration for field tests

제시시스템이 있는 서버실과 데이터통신이 이루어진다. 또한, 용접건은 피더용 커플러를 통하여 중앙 하단에 나타난 와이어피더에 내장된 복합통신용 모듈에 연결되며, 조선블록을 매체로 하여 핀지그에도 데이터를 전달한다. 오른쪽 아래에는 서버실의 공정관리 플랫폼을 나타내며 용접 작업자의 현재 위치와 용접 공정 진행상황을 실시간 데이터로 디스플레이한다.

Table. 2 The success rate of data transmission

The number of transmitted packets	105
The number of received packets	105
The number of error packeds	2
Success rate	98.09%

실증시험은 그림 5에 나타낸 시스템을 하나의 단위로 하여 조선소 용접 단위장 5곳에서 진행하였으며, 데이터 전송 성공률과 작업자 위치 인식 성공률을 정량적 측정지표로 사용하고, 공정관리 플랫폼에 기록되는 실시간 데이터 확인을 정성적 평가지표로 사용하였다. 위치 인식 모듈이 장착된 와이어피더용 통신장치에서 핀지그용 통신장치로 전송된 데이터가 LoRa모듈을 통하여 게이트웨이까지 성공적으로 전송되는 시험결과를 표 2에 나타내었다. 시험에서는 10분 동안 5.7초의 주기로 총 105개의 와이어피더 ID를 데이터 패킷으로 전송하고 서버에 오류 없이 수신된 데이터 패킷의 수를 산술적 비율로 계산한다.

시험 결과 10분 동안 전송된 105개의 데이터 패킷은 모두 수신되었으나, 2개의 패킷에서 오류 데이터가 확인되었다. 따라서 데이터 전송 성공률은 약 98% 정도이며, 이는 조선블록을 통신매체로 사용하는 비교적 혹독한 통신환경을 감안하면 매우 높은 성공률인 것으로 판단된다.

다음으로는 용접 작업자의 위치를 인식하는 시험으로 서로 다른 세 장소에서 용접이 이루어지는 핀지그 ID를 전송하여 서버에서 위치를 추정하는 시험으로 10분 동안 5.7초의 주기로 104개 또는 105개의 데이터 패킷을 전송한 결과를 표 3에 나타내었다.

Table. 3 The rate of successful recognition of worker's location

Location	Tx packets	Rx packets	Success rate
A	104	0	100.0%
B	105	1	99.05%
C	105	1	99.05%

A 위치에서 송신한 104개의 데이터 패킷은 모두 정상적으로 수신되어 100% 성공률을 나타내었으나, B와 C 위치에서 송신된 105개의 데이터 패킷에서는 오류 데이터가 각각 1개씩 발견되어 약 99%의 성공률을 나타내었다. 따라서 표 2의 데이터 전송 성공률과 함께 분석하면 본 연구에서 제시한 스마트 조선소를 위한 작업장 센서네트워크는 데이터 패킷의 수를 크게 증가시키더



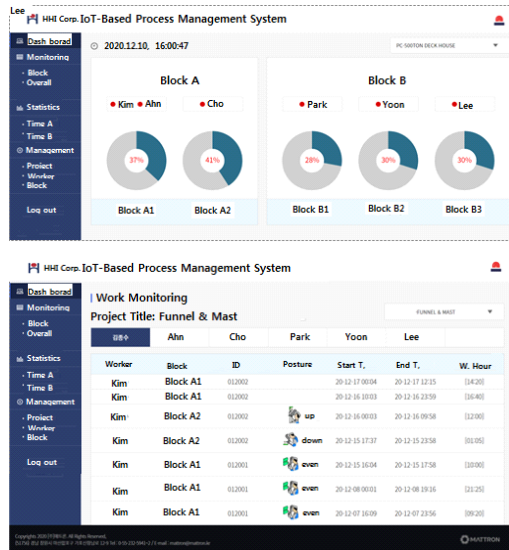


Fig. 6 Monitoring display of the process management system

라도 최소 95% 이상 성공적인 데이터 전송을 보장할 수 있을 것으로 추정된다.

마지막으로 서버실에 구축된 공정관리시스템 플랫폼에 디스플레이되는 용접 현장 데이터 모니터링 화면을 통한 정성 평가 결과는 그림 6에 나타내었다. 5곳의 작업장에 분산된 작업자의 용접작업 수행 현황에 대한 데이터들이 실시간으로 모니터링 됨을 확인할 수 있다. 용접건과 와이파이피더에 연결된 커플러를 통하여 전송되는 데이터는 현장의 위치와 작업시작 및 종료 시간을 정확하게 기록한다. 또한, 피더용 커플러는 데이터의 종류에 따라 LoRa와 전력선통신을 이용하여 관계시스템에 데이터를 전송하여 공정관리시스템 플랫폼의 서버에 실시간 저장 관리되고 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 스마트 조선소를 위하여 사물인터넷을 이용하여 작업장 단위로 센서네트워크를 구축할 수 있는 방안을 제시하였다. 그 중 하나의 예로 조선소에서 가장 많이 이루어지는 용접 작업을 대상으로 대형 철강 구조물인 조선블록을 통신매체로 활용하여 작업자의 위치, 용접 진행률, 작업 시간 등의 정보를 LoRa와 전력선통신을 이용하여 관계시스템인 서버실로 전송한다.

이와 같은 데이터통신을 달성하기 위하여 유도성 커플러와 복합통신용 모델을 제작하여 와이파이피더와 핀지그에 설치하여 센서네트워크를 구축하였다. 현장시험을 통하여 제시된 시스템은 약 98% 이상의 데이터 전송 성공률과 작업자 위치 인식 성공률을 가지는 것으로 측정되었다. 또한, 작업현장에서 발생된 작업공정 데이터는 실시간 기록 및 보관이 가능함을 공정관리시스템 플랫폼을 통하여 확인할 수 있다. 따라서 제시된 시스템은 미래형 스마트 조선소 구축을 통한 조선산업의 경쟁력 강화를 위한 시작점이 될 것으로 사료된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Local Government-University Cooperation-based Regional Innovation Project (Smart Manufacturing Engineering, Gyeongsangnam-do Regional Innovation Platform) funded by the Ministry of Education (National Research Foundation of Korea, NRF).

REFERENCES

- [ 1 ] MOTIE, Manufacturing Innovation 3.0 Strategy for Realization of a Creative Economy [Internet]. Available: <https://www.motie.go.kr>.
- [ 2 ] TTA, IT Glossary: Industry 4.0 [Internet]. Available: <https://www.tta.or.kr>.
- [ 3 ] KOTRA, *From Fostering to Innovation: Chinese Manufacturing 2025 Strategy and Implications*, China Investment News, vol. 460, 2015.
- [ 4 ] MSF, Current Affairs Economic Glossary: Smart Factory [Internet]. Available: <https://terms.naver.com>.
- [ 5 ] Gyeongsangnam-do, *IoT-based Industrial Accident Prediction Monitoring System Development*, Regional Innovation Platform Project, Jan. 2021.
- [ 6 ] LoRa Alliance, What is LoRaWAN Specification [Internet]. Available: <https://www.lora-alliance.org>.
- [ 7 ] H. S. Kim, S. H. Park, and S. G. Kang, "Development of communication joint tools for implementing a legacy-line communication system in a train," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 4, pp. 877-887, Apr. 2015.
- [ 8 ] H. S. Kim and S. G. Kang, "A powerline-based legacy-line communication system for implementation of a communication network in ship," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, pp. 1831-1838, Aug. 2015.



**김현식(Hyun Sik Kim)**

1993. 2 : 경남대학교 재료공학과 공학사  
 1995. 2 : 경남대학교 재료공학과 공학석사  
 1998. 2 : 경남대학교 재료공학과 공학박사  
 1993. 3 ~ 2000. 4 : 한국전기연구원 선임연구원  
 2000. 4 ~ 현재 : ㈜매트론 대표이사  
 ※ 관심분야 : 광대역 전력선통신, 나노재료



**이기승(Gi Seung Lee)**

2018. 2 : 울산대학교 재료공학과 공학사  
 2018. 2 ~ 2020. 2 : 재료연구소 연구원  
 2020. 2 : 울산대학교 재료공학과 공학석사  
 2020. 8 ~ 현재 : ㈜매트론 주임연구원  
 ※ 관심분야 : 전력선통신, 세라믹재료



**강석근(Seog Geun Kang)**

1988. 2 : 경북대학교 전자공학과 공학사  
 1993. 2 : 경북대학교 전자공학과 공학석사  
 1999. 8 : 경북대학교 전자공학과 공학박사  
 2003. 4 ~ 현재 : 경상대학교 반도체공학과 교수  
 2003. 4 ~ 현재 : 경상대학교 공학연구원 책임연구원  
 ※ 관심분야 : 디지털 통신, 신호처리