

## 용접 작업장 통신네트워크 구축을 위한 블록매체통신시스템

김현식<sup>1</sup> · 강석근<sup>2\*</sup>

### Block Media Communication System for Implementation of a Communication Network in Welding Workplaces

Hyun Sik Kim<sup>1</sup> · Seog Geun Kang<sup>2\*</sup>

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

<sup>2\*</sup>Professor, Department of Semiconductor Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 52828 Korea

#### 요약

본 논문에서는 선박 용접공정에 사용되는 장비에 전력선통신 기술을 접목하고 금속블록을 통신매체로 사용하는 블록매체통신시스템을 제시한다. 여기서는 디지털 피더와 금속블록을 지지하는 핀지그에 유도성 커플러를 설치하고, 피더에 연결된 용접선에서 발생하는 전류에 정보신호를 더하여 금속블록에 인가함으로써 작업이 시작되면 현장에서 발생하는 정보를 상황실 서버에 실시간 전송한다. 현장시험 결과, 제시된 블록매체통신시스템의 송신부에서 전송된 데이터는 상황실 서버컴퓨터에 정확하게 수신되는 것을 확인하였다. 따라서 제시된 시스템은 기존 용접공정에 대한 변경 없이 구축이 가능하므로 향후 조선소 스마트 팩토리화를 통한 조선산업의 경쟁력 강화에 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 전자파 차폐 환경이나 밀폐된 공간에서 작업자에게 발생할 수 있는 응급상황에 신속한 대처가 가능하므로 산업재해 예방효과도 클 것으로 사료된다.

#### ABSTRACT

In this paper, we present a block media communication (BMC) system which employs powerline communication to the equipments used in the welding process for ship-assembly and uses metal block as a communication medium. Inductive couplers are installed on digital feeder and pin jig. Information signal is added to the current generated by the welding gun, and applied to the block. When the welding operation starts, information generated in the field is transmitted to the monitoring server in real-time. The field test on the BMC system confirms that the transmitted data are correctly received at the server. Since the proposed system can be built without any changes to the existing welding process, it is helpful to increase competitiveness of the shipbuilding industry through smart factory of shipyards. It is also possible to quickly respond to emergency situations that may occur to workers in an electromagnetic wave shielding environment or a closed space, the effect of preventing industrial accidents will be great.

**키워드** : 조선소, 스마트 팩토리, 용접공정, 블록매체통신, 전력선통신

**Keywords** : Shipyard, Smart factory, Welding work process, Block media communication, Powerline communication

Received 12 February 2022, Revised 1 March 2022, Accepted 1 March 2022

\* Corresponding Author Seog Geun Kang(E-mail:sgkang@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-7721737)

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

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.4.556>

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. 서 론

전 세계 제조업은 “제조업혁신 3.0” [1], “Industry 4.0” [2], “제조2025” [3] 등 다양한 슬로건을 앞세운 스마트 팩토리화(smart factory)를 통한 생산성과 산업적 가치 향상을 추구하고 있다 [4]. 스마트 팩토리화의 걸림돌 가운데 하나는 일관성을 가진 기계와는 달리 현장작업자의 생산공정은 표준화시키기 어려운 점이다. 주로 현장근로자의 수작업으로 이루어지는 조선블록 용접공정은 표준화되지 않은 대표적인 예로 공정현황에 대한 실시간 분석과 작업자의 관리가 용이하지 않다. 또한, 정형화되지 않은 단위 공정들로 인하여 전체적으로 표준화된 공정체계를 도입하기 어려운 점도 있다.

한편, 고전류, 고온, 고중량 부품 및 소재가 산적한 조선소의 작업환경은 일반적인 센싱 및 무선통신을 이용한 스마트 팩토리 기술을 적용하기에는 많은 장애가 존재한다. 특히, 거대 철판 구조물인 조선블록의 내부 용접작업장은 전자파 차폐환경이 되므로 작업자의 생명과 관련된 중대 재해가 발생하여도 외부에서 상황을 정확하게 파악하지 못하는 사고가 종종 발생한다. 이는 조선소 용접공정 맞춤형 스마트 팩토리가 시급히 필요한 이유 가운데 하나이다. 또한, 공정 진행률 등에 대한 수치화된 데이터는 제조원가 산정에 대한 신뢰성을 제고 시킴으로써 건조과정에 내재된 비효율성 개선을 통한 조선산업의 경쟁력을 상승시키는 요인이 될 수 있다 [5]. 이에 따라 국내 조선사들은 최근 스마트 팩토리시스템과 용접모니터링시스템 구축을 서두르고 있다.

본 논문에서는 선박조립공정의 가장 큰 부분인 용접공정에 사용되는 장비에 전력선통신 기술을 접목하고 금속블록을 통신매체로 활용하는 블록매체통신시스템을 제시한다. 작업자가 휴대하는 디지털 피더(feeder)와 금속블록의 하부를 지지하는 핀지그(pin zig)에 전력선통신용 커플러(coupler)를 설치하고, 피더에 연결된 용접전에서 발생하는 전류에 정보신호를 더하여 금속블록에 인가함으로써 용접작업의 시작과 동시에 현장에서 발생하는 정보를 자동적으로 상황실에 전송하는 통신네트워크의 실현 가능성을 확인한다. 이는 작업 중에 발생하는 작업자 현 위치, 작업의 종류 및 방법, 공정 진행률 등의 정보를 상황실에서 실시간으로 관리하는 용접모니터링시스템의 기반기술이다. 따라서 제시된 블록매체통신시스템은 기존 용접공정의 변경 없이 구축

이 가능한 장점뿐만 아니라 향후 조선소 스마트 팩토리화의 시작점이 될 수 있다. 또한, 전자파 차폐환경이나 밀폐공간에서 발생할 수 있는 응급상황에 신속한 대처가 가능하므로 산업재해 예방효과도 기대할 수 있다.

## II. 블록매체통신을 위한 커플러 설계

커플러는 그림 1에 나타난 것처럼 전류가 흐르는 전력선 주변에 형성되는 자기에너지를 축적하여 2차 코일에 전류를 발생시켜 전력선통신 모델에 전달하는 인덕티브 장치이다 [6,7].

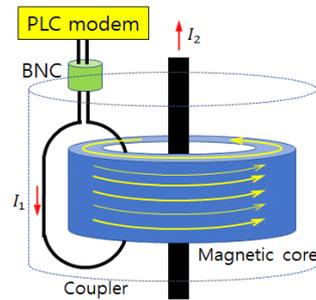


Fig. 1 The principle of an inductive coupler

전력선을 통하여 흐르는 전류가  $I_1(t)$ 일 때, 커플러 자심(magnetic core)에 형성되는 자기장의 자속밀도와 축적되는 자기에너지는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 I_1(t)}{2\pi r} \quad (1)$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{V_{core}}{\mu} B^2 \quad (2)$$

이 된다. 여기서  $H$ 는 자기장의 세기이고,  $V_{core}$ ,  $\mu$ ,  $r$ 는 자심의 체적과 투자율, 그리고 반경을 각각 나타낸다.

한편, 인덕턴스가  $L$ 인 자심에 축적되는 에너지는

$$W = \frac{1}{2} L I^2(t) \quad (3)$$

로 정의되고, 권선비가  $N$ 이고 체적이  $V_{core}$ 인 자심의 자속밀도는  $B = \mu N I_1(t)$ 이므로 자심의 인덕턴스는

$$L = \mu V_{core} N^2 \quad (4)$$

이 된다. 따라서 자심의 체적이 증가되면 자심 인덕턴스도 비례하여 증가되므로 포화자속밀도를 높일 수 있다. 하지만 디지털 피더의 경우 작업자가 휴대하여야 하므로 커플러의 무게와 설치 공간에 대한 제약이 있다.

### 2.1. 커플러용 자심 제작

피더용 커플러는 용접전에 전류를 공급하는 피더 내부 전력선에 설치되므로 휴대와 탈착이 편리한 소형 경량화 설계와 염도와 습도가 높은 환경에서도 부식의 위험이 적은 재료가 요구된다. 이에 따라 본 논문에서는 Mn-Zn계 페라이트(ferrite) 재료를 사용하여 외경×내경×두께 = 61mm×37mm×12.25mm인 팔각형태 자심으로 제작한다. 또한, 피더 내부의 전력선을 변경시키지 못하므로 자심을 반으로 절개하여 전력선의 양쪽에서 체결할 수 있도록 제작한다. 그림 2는 제작된 디지털 피더용 커플러의 자심을 나타낸다.

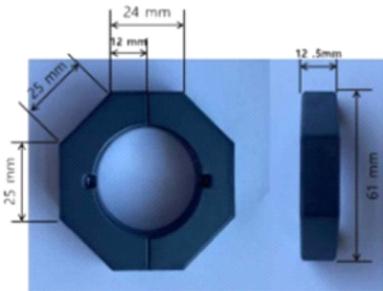


Fig. 2 The ferrite core of a coupler for digital feeders

용접블록의 지지대인 핀지그는 조선소마다 형상은 서로 다르지만 대부분 원뿔형상의 금속이다. 따라서 핀지그용 커플러는 피더용 커플러와는 달리 절개의 필요성이 없고 비교적 큰 사이즈로 제작이 가능하므로 본 연구에서는 그림 3에 나타난 것처럼 토로이달형태로 제작한다. 자심재료는 페라이트보다 투자율이 높은 나노결정질(nano-crystalline) 합금을 사용하여 외경×내경×두



Fig. 3 The magnetic core of a coupler for pin zigs

께 = 160mm×130mm×15mm로 제작하였다.

### 2.2. 커플러 제작 및 특성

커플러는 전력선통신 운용 주파수 대역에서 원하는 전자기적 특성을 가지도록 자심재료를 적층하여 제작한다. 전력선통신용 모뎀의 대역폭이 2 ~ 30MHz임을 고려하여 본 연구에서는 10MHz, 1mA 전류신호를 전력선에 인가하는 경우를 가정하여 Multiphysics 소프트웨어인 COMSOL을 이용한 시뮬레이션을 수행함으로써 디지털 피더와 핀지그에 설치할 커플러 제작을 위한 자심재료의 최적 적층 수를 결정한다.

피더용 커플러 제작을 위하여 자심 재료의 적층 수에 따른 유도 전류밀도 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타내었다.

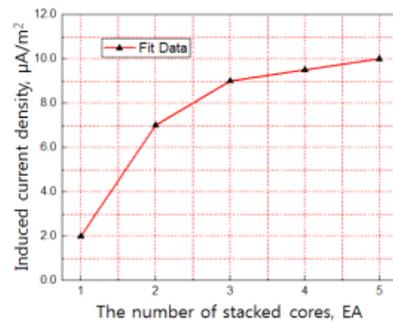


Fig. 4 Induced current density of the feeder coupler according to the number of cores

자심의 수가 3개까지는 유도 전류밀도가 크게 증가되는 것으로 나타났다. 하지만 자심 수를 더 증가시켜도 자심에 축적되는 자속밀도가 포화되어 권선에 유도되는 전류밀도는 거의 증가되지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 디지털 피더용 커플러는 그림 2에 나타낸 자심을 3개 적층하여 제작하는 것이 전자기적 특성과 커플러의 무게 및 부피에 따른 작업자의 이용 편리성 측면에서 가장 적합한 것으로 판단된다.

그림 5는 3개의 자심을 적층하여 제작된 피더용 커플러의 삽입손실을 나타낸다. 4MHz 이하의 주파수 대역에서 제작된 커플러의 삽입손실은 -10dB이하로 측정되었지만 전력선 통신의 주요 주파수 대역인 10 ~ 30MHz에서는 -5dB 정도의 비교적 우수한 감쇠특성을 가지는 것으로 측정되었다.

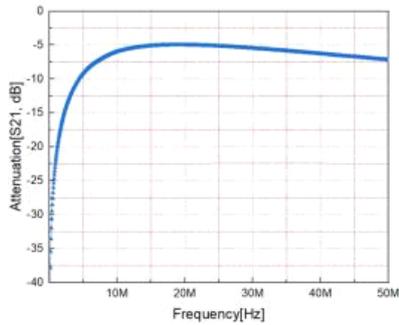


Fig. 5 Insertion loss of the coupler for digital feeder when 3 magnetic cores are stacked

한편, 핀지그용 커플러도 COMSOL을 이용한 시뮬레이션 결과 자심의 적층 수에 따라 권선에 유도된 전류밀도는 그림 6과 같이 나타났다.

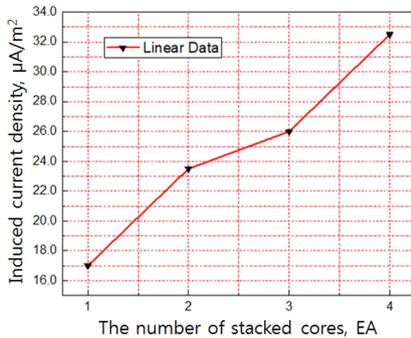
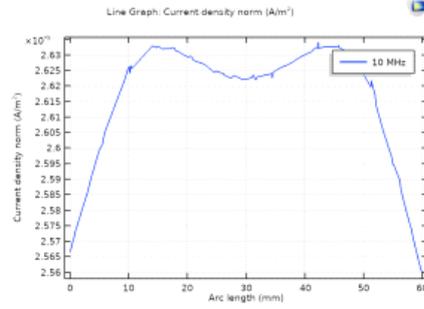
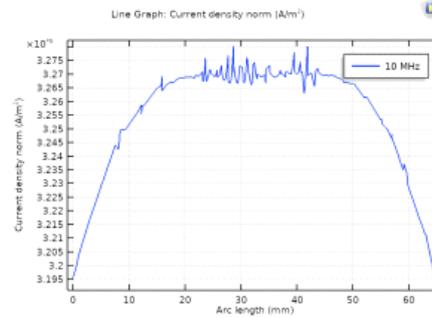


Fig. 6 Induced current density of the pin zig coupler according to the number of cores

토로이달 형태의 자심을 4개까지 적층하면서 권선에 유도되는 전류밀도를 모의실험한 결과, 적층 수가 증가됨에 따라 유도전류밀도는 거의 선형적으로 증가되는 것을 알 수 있다. 하지만 적층 수가 4개인 경우 권선에 유도되는 전류의 스펙트럼은 그림 7(b)에 나타난 것처럼 평탄한 응답특성을 나타내야 하는 15 ~ 50MHz 대역에서 매우 불안정한 특성을 가지는 것으로 나타났다. 이에 비하여 적층 수가 3개인 경우 20 ~ 40MHz 대역에서 유도전류밀도가 최대값의 불과 0.4% 정도인  $0.01 \times 10 \mu\text{A}/\text{m}^2$  가량 감소되지만 비교적 안정적인 특성을 가지는 것으로 측정되었다. 이 결과를 토대로 본 연구에서 핀지그용 커플러는 토로이달 자심을 3개 적층하여 제작하는 것이 적합한 것으로 판단하였다.



(a)



(b)

Fig. 7 Spectral analysis of the pin zig coupler when the number of cores is (a) 3 (b) 4

### III. 현장실험 및 분석

경남지역에 소재한 H중공업의 협조 아래 블록매체 통신을 위하여 제작된 디지털 피더용 커플러와 핀지그용 커플러를 조선블록 용접작업장에 실제 적용하여 현장 운용시험을 실시하였다.

시험이 수행된 용접작업장의 개략적인 구조를 그림 8에 나타내었다. 블록매체통신 기반 통신네트워크는 점선으로 표시된 3개의 작업영역에 설치하였다. B1과 B3 영역에는 거대한 금속블록에 대한 용접이 진행되었으며, B2 영역에서는 상대적으로 작은 블록을 용접하였다. 핀지그용 전력선통신 모델은 용접공정에서 발생되는 정보를 종합 관리하는 상황실 서버컴퓨터로 전송하는 복합통신장치이다. 이는 향후 스마트 팩토리화를 고려하여 다양한 형태의 데이터 전송방식을 지원할 수 있도록 RS-232와 RS-485 직렬통신, 유무선 근거리통신망, IEEE 802.15.4 지그비와 저전력 무선통신을 위한 LoRa[8] 모듈용 포트가 탑재된다.

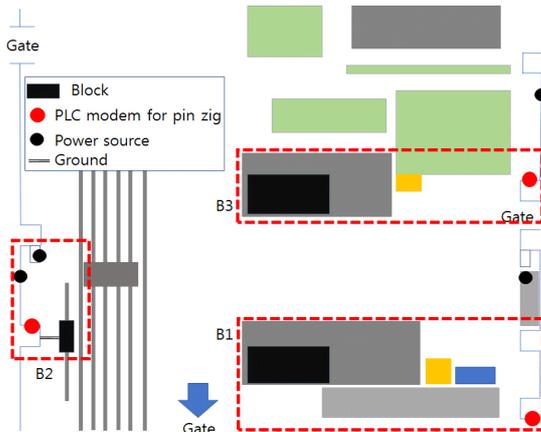


Fig. 8 Simplified diagram of the communication network in a welding workplace for the field tests

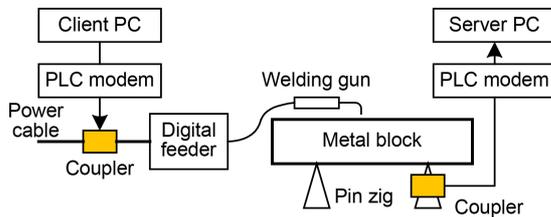


Fig. 9 The configuration of block media communication for field tests

그림 8에 점선으로 나타낸 3곳의 작업영역에 설치된 블록매체통신시스템의 구성은 그림 9에 나타내었다. 시험용 데이터 생성을 위한 클라이언트컴퓨터(Client PC), 전력선모뎀(PLC modem) 장치, 피더용 커플러, 용접건이 송신부가 되고 핀지그와 커플러, 전력선모뎀, 서버컴퓨터(Server PC)가 수신부가 된다. 데이터통신을 위한 전송매체는 용접 대상인 금속블록이다. 또한, 그림 8에 나타낸 작업장의 3개 구역에서 4명의 용접사가 표 1에

Table. 1 The rate of successful recognition of worker's location

Coupler	ID No.	Worker/Place	Remark
Feeder	011001	W1	Portable
	011002	W2	
	011003	W3	
	011004	W4	
Pin zig	012001	B1	Fixed
	012002	B2	
	012003	B3	

W : worker, B : working region B

나타낸 것처럼 관리 ID번호가 할당된 4개의 피더와 3개의 핀지그용 커플러를 사용하여 작업을 수행하였다.

각 용접사들이 용접을 시작하면 클라이언트컴퓨터는 'Hello'라는 간단한 텍스트와 함께 지역IP주소를 데이터 형식으로 만들어 5초 주기로 피더용 커플러에 전송한다. 피더용 커플러는 용접건을 통하여 금속블록에 데이터가 포함된 전류신호를 인가한다. 금속블록의 하부 지지대에 설치된 핀지그용 커플러는 금속매체를 통하여 흐르는 전류에 의하여 생성된 자기장으로부터 데이터를 추출하여 전력선통신 모뎀으로 전송하고 서버컴퓨터는 피더의 지역IP주소를 재생한다.

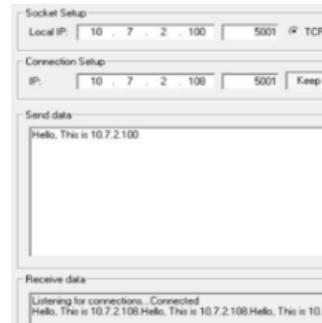


Fig. 10 The result of block media communication of the field tests

전송시험 결과 상황실 서버컴퓨터에 재생되는 데이터를 캡처한 화면을 그림 10에 나타내었다. 클라이언트 컴퓨터에서 송신한 데이터가 아래쪽 수신데이터에 지속적으로 정확하게 재생되는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 조선블록을 통신매체로 사용하는 블록매체통신시스템의 실현 가능성이 입증된 것으로 판단할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 조선소 선박조립공정의 주요 부분을 차지하는 용접공정에 사용되는 장비에 전력선통신 기술을 접목하고 금속블록을 통신매체로 활용하는 블록매체통신시스템의 프로토타입을 제시하였다. 여기서는 디지털 피더와 금속블록 하부 핀지그에 커플러를 설치하고 용접건에서 발생하는 전류에 정보신호를 더함으로써 작업의 시작과 동시에 공정 관련 데이터를 서버로 전송한다. 현장시험 결과, 제시된 시스템은 송신부에서

전송된 데이터가 서버컴퓨터에서 정확하게 재생되는 것을 확인하였다. 따라서 제시된 통신시스템은 조선소 스마트 팩토리화를 통한 조선산업의 경쟁력 강화를 위한 시작점이 될 것으로 기대된다. 또한, 전자파 차폐 환경이나 밀폐공간에서 진행되는 용접작업에서 발생할 수 있는 응급상황에 신속히 대처할 수 있으므로 산업재해 예방효과도 지대할 것으로 사료된다.

한편, 제시된 블록메체통신시스템은 조선소 용접공정에 적용하여 실시간 데이터 전송 가능성을 확인하는 프로토타입 버전이므로 향후 이론적 배경과 전송오류 확률 등에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was partly supported by “Regional Innovation Strategy (RIS)” through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE)(2021RIS-003), and also supported in part by the Smart Factory Technological R&D of MSS (S2931886).

### 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/dictionary>, Apr. 2022.
- [ 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>, Apr. 2022.
- [ 5 ] H. J. Kim, “A Study on the Establishment of Mid & Long Term Strategies for Prevention. of Occupational Accident Plan,” OSHRI Technical, Report 2019-OSHRI-1469, 2019.
- [ 6 ] H. S. Kim, W. J. Ju, and S. G. Kang, “A fire prevention system of the nacelle of wind turbine generator system based on broadband powerline communication,” *Journal of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 6, pp. 1229-1234, Dec. 2018.
- [ 7 ] S. G. Kang, “Design of an inductive coupler for broadband powerline communication for real-time monitoring of distribution automation system,” *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 12, pp. 1618~1623, Dec. 2019.
- [ 8 ] LoRa Alliance, What is LoRaWAN Specification [Internet]. Available: <https://www.lora-alliance.org>, Apr. 2022.



김현식(Hyun Sik Kim)

1998. 8 : 경남대학교 재료공학과 공학박사  
 1995. 3 ~ 2000. 3 : 한국전기연구원 연구원  
 2000. 4 ~ 현재 : ㈜매트론 대표이사  
 ※ 관심분야 : 광대역 전력선통신, 나노재료



강석근(Seog Geun Kang)

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