

# 선박에서 나노 결정질 합금 및 페라이트 커플링 장치의 유도전력선통신 성능 비교

양승호\*, 정재환\*, 손경락<sup>o</sup>

## Inductive Powerline Communication Performance Comparison Using Nano-Crystalline Alloy and Ferrite Coupling Device in Ship

Seung-Ho Yang\*, Jae-Hwan Jung\*, Kyung-Rak Sohn<sup>o</sup>

요약

선박은 철 구조물이므로 선박내부에 통신설비를 증설하는 것은 쉽지 않다. 무선통신의 경우 금속매질의 특성상 신호 간섭과 감쇄로 통신거리가 제한적이며, 유선망의 경우 통신 전용선의 추가 증설이 필요하다. 선체 구조에 천공 또는 절단과 같은 물리적인 변형을 가하지 않고 전력 공급망을 이용하여 통신채널을 확보하는 방안으로 전력선 통신을 고려하였다. 본 연구에서는 시스템의 설치와 운영의 편의를 위하여 유도형 전력선 통신을 제안하였다. 기존의 페라이트 코어보다 포화자속밀도가 4배 이상 높은 나노결정질 코어를 유도형 결합기에 사용하였다. 6000톤급 실습선 선박을 이용한 현장실험에서, 두 선실간 거리가 30 m 일때, 제안된 유도형 전력선 통신 시스템은 12 Mbps 이상의 통신 속도를 보였으며, 비디오 영상과 온도도 센서 정보는 오류 없이 실시간으로 수신됨을 확인하였다. 그러나 페라이트를 사용한 유도형 결합기는 전력선 통신 시스템에서 통신 채널을 연결하지 못했다. 결론적으로 나노 결정질 코어가 페라이트 코어보다 선박 유도형 전력선통신에 더 적합함을 보였다.

**Key Words** : ship powerline communication, inductive coupler, ferrite, nano-crystalline, toroidal core

### ABSTRACT

Since ships are steel structures, it is not easy to add communication facilities inside the vessel. In the case of wireless communication, the communication distance is limited due to the signal interference and attenuation due to the nature of the metal medium. For wired networks, physical extension of the hull structure, such as drilling and cutting, may be required when extending dedicated communication lines. However, powerline communication is attracting attention because it can use the ship power supply network as a communication channel. In this paper, we proposed an inductive power line communication for the convenience of installation and operation of the system. A nano-crystalline core with a saturation magnetic flux density four times higher than that of a conventional ferrite core was used for the inductive coupling units. In the field test using a 6000-ton class

※ 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업 (NRF2017R1A2B4010993)의 지원으로 수행되었습니다.

◆ First Author : Korea Maritime and Ocean University, Major of Electronics Communication, gonggongeo@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-8888-1241) Korea Maritime and Ocean University Major of Electronics and Communications Engineering, krsohn@kmou.ac.kr, 종신회원

\* Korea Maritime and Ocean University, 01098116888@daum.net

논문번호 : KICS2018-02-046, Received February 28, 2018; Revised March 31, 2018; Accepted April 5, 2018

training-ship, the proposed inductive powerline communication system showed a data transmission rate of about 12 Mbps when the distance between two cabins was 30 m. However, the powerline communication system using the ferrite inductive coupler failed to connect the powerline channel. In conclusion, nano-crystalline cores are more suitable for ship powerline communication system than ferrite cores.

## I. 서 론

선박은 강관으로 된 블록의 조립으로 용접 등에 의해 건조되므로 각각의 선실은 철판으로 격리되어진다. 선박 건조 후 운용 중에 추가적으로 선실 내부에 통신을 포함하는 설비를 늘리려 할 경우 와이파이, 블루투스, 지그비와 같은 무선통신은 신호감쇠 및 간섭으로 적용범위가 매우 제한적이다. 따라서 통신 설비를 늘리기 위해서는 새로이 통신 케이블을 설치해야 하고 이러한 케이블을 배선하기 위해서는 철판을 뚫거나 변형하는 등의 하드웨어적 수정작업이 필요가 있다. 그러나 선체에 구멍을 내거나 물리적인 변형을 가하는 것은 쉬운 일이 아니기 때문에 기존 인프라를 활용하여 통신채널을 확보하는 대안이 필요하다. 가장 유력한 후보는 선박 내 전력선을 이용하여 통신채널을 확보하는 것이다. 여기서 전력선 통신 방식으로는 전기적인 접촉식과 유도자기에 의한 비접촉식의 두 가지 방안을 고려할 수 있다. 일반적으로 많이 알려진 접촉식 전력선 통신의 경우 전력선 모뎀 연결은 전원 콘센트를 이용하지만 때로는 케이블을 물리적으로 절단하여 연결하는 경우도 발생한다. 그러나 선박 내 전선의 절단 및 훼손 등은 안전 등의 이유로 선호되지 않고 있다. 이를 해결할 방법으로 전선의 물리적 훼손 없이 신호 결합이 비접촉식으로 이루어지는 유도형 결합기를 사용하는 방법을 적용할 수 있다. 이 때 비접촉식 전력선 통신에 사용하는 결합기는 재료 특성에서 차이가 나는 나노 결정질 연 자성체 코어와 마그네슘-아연 합금 페라이트 코어 두 종류가 대표적이다<sup>1)</sup>.

나노 결정질 연 자성 물질은 고주파 응용을 위해 전력 페라이트 및 무정형 물질을 대체 할 수 있는 것으로 더 잘 알려져 있다. 자기 손실이 낮고 투자율이 기존의 페라이트보다 1.5~50배 높으며, 또한 포화 자속밀도도 2배 이상 큰 값을 가지므로 전력 전자 분야에서 주목받는 재료가 되었다. 나노 결정질 연 자성체로 만들어진 코어는 통상 15-20  $\mu\text{m}$  내외 두께의 리본으로 구성되므로 서로 격리되어 있으며 공통모드 초크, 인버터 트랜스용 코어 등으로 적용되고 있다<sup>2)</sup>.

페라이트는 Fe, Mn, Ni, Mg, Zn, Cu, Co 등의 금

속 이온의 종류와 조성비에 따라 다양한 특성을 나타낸다. 2005년 Mitsubishi Electric이 처음 제안한 자기 인덕터의 기본 구조는 전력 전자 장치에서 가장 중요한 구성 요소 중 하나이며 고주파 필터, 자기 에너지 저장 장치, EMC 초크, 자기 오류 전류 제한 기 등으로 구현되었다. 마그네슘-아연 합금 페라이트 코어를 이용한 비접촉식 결합기 구현과 이를 이용한 전력선 통신 연구는 광산, 기차, 풍력발전기 등과 같은 곳에 적용한 많은 사례들이 발표되고 있다<sup>3-5)</sup>.

본 연구에서는 Fe를 기본으로 Si, B, Nb, Cu 등이 첨가된 나노 결정질 연 자성 코어를 이용하여 비접촉식 신호결합기를 구현하여 선박 전력선 통신 적용 시험을 하였다. 6000 톤급 실습선 내부에 설치되어 있는 전선만을 사용하여 통신 설비를 증가시키는 것이 목적이다. 유도형 결합기를 적용한 상태에서 데이터 전송 속도를 측정하는 iperf 프로그램으로 통신 속도를 측정하였고, 라즈베리파이에 장착한 온도 센서를 이용하여 실시간 모니터링 시스템 연동시험 및 웹캠을 사용한 영상 데이터 전송 가능 여부를 확인하였다.

## II. 전력선 통신

전력선 통신 (Power Line Communication: PLC)란 Figure 1과 같이 전력송신을 목적으로 하는 전력선의 전원과형(60Hz)에 고주파로 변조된 통신신호를 실어서 음성, 문자, 영상 및 데이터를 전송하는 유선통신을 의미한다.

전력선 통신은 현존하는 인프라 중 가장 광범위한 네트워크를 구성하고 있다는 평가를 받고 있을 뿐만 아니라 데이터 송수신을 위한 별도의 배선작업이 필요치 않는 플러그 앤 플레이 방식이므로 사용이 간편하다. 또 기존의 전력선을 통해 LAN 환경을 쉽게 구축할 수 있다는 특징을 가진다.

본 연구에 적용한 유도형 전력선 통신은 Figure 2와 같이 두 개의 유도형 결합기를 전선에 체결하여 통신을 수행하는 방식이다<sup>6)</sup>. 유도형 결합기를 사용한 전력선 통신은 전선을 분리하거나 새로 설치하지 않고 전선에 결합기를 직접 장착하여 60 Hz 상용주파수와 변조된 고주파신호가 동시에 흐를 때 자기유도 원

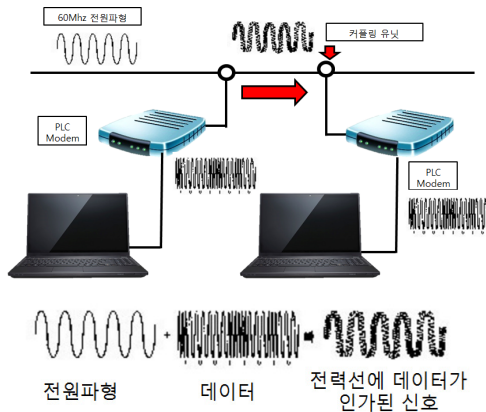


그림 1. 전력선 통신 기본원리  
Fig. 1. Basic principle of powerline communication

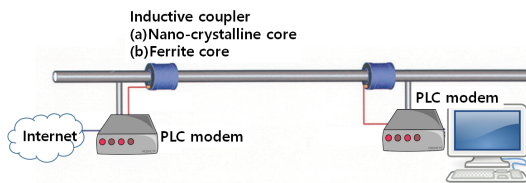


그림 2. 유도형 전력선 통신 개념도  
Fig. 2. Schematic of inductive PLC

리에 따라 통신 신호만을 유도해 낸다. 본 연구에서는 나노 결정질 코어와 페라이트 코어를 적용한 두 가지 종류의 결합기가 사용되었다.

### III. 나노 결정질 코어와 페라이트 코어

Figure 3은 본 연구에 사용한 두 종류의 토로이달 코어를 보여준다. Figure 3(a)는 나노 결정질 코어로 Fe를 기본으로 Si, B, Nb등이 첨가된 합금을 급냉응고 기술에 의해 스트립을 만들고 적당한 넓이의 리본으로 가공한다. 이 리본을 원통 형태의 코어로 만든

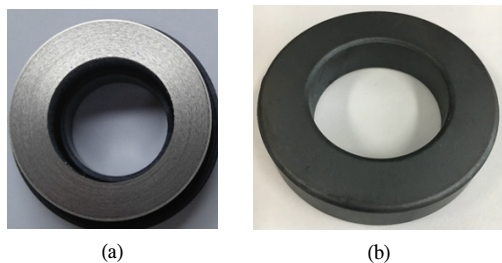


그림 3. 토로이달 코어. (a) 나노 결정립 코어 (b) 페라이트 코어  
Fig. 3. Toroidal cores. (a) Nano-crystalline core (b) ferrite core

다음 열처리하게 되면, 비정질 구조에서 미세한 나노 결정립을 가지는 결정구조로 변하여 나노 결정질 코어가 완성된다. 페라이트 코어보다 투자율이 높고, 포화자속밀도가 높으면서 낮은 보자력, 높은 비저항과 초박의 리본의 권선에 의한 최소한의 와전류 손실특성을 가진다. 또한, 같은 용도의 페라이트 코어에 비하여 크기를 줄일 수 있으며, 와이어를 절약 할 수 있어 경제적인 뿐만 아니라 코어손실이 낮고 온도에 대한 안정성이 높다.

Figure 4는 나노 결정질 코어와 Mg-Zn 페라이트 코어의 주파수 응답특성을 측정하여 삽입손실을 비교한 그래프이다. 30 MHz 이하의 전력선 통신 주파수 대역에서 나노 결정질 코어의 손실은 -6 dB 이하로 비교적 일정한 주파수 응답특성을 보인다. 그러나 MgZn 페라이트 코어는 나노 결정질 코어에 비해 최소 2dB 이상 더 큰 삽입손실을 보인다. 이는 신호 결합 효율이 떨어짐을 의미한다.

본 연구에서 코어의 자속 에너지를 계산하기 위하여 사용한 나노 결정질 코어와 페라이트 코어의 B-H 특성 곡선은 Figure 5와 같다. 일반적으로 나노 결정질 코어의 포화 자속밀도는 페라이트 코어보다 수 배 이상 높은 것으로 알려져 있다.

일차전류에 의한 토로이달 코어 내부 자기에너지 분포를 보기위하여 FEMM (Finite Element Method Magnetics) 4.2를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다<sup>7)</sup>. FEMM은 2 차원 평면 및 축 대칭 영역에서 저주파 전자기 문제를 해결하기 위한 프로그램 패키지이다. Figure 6은 일차전류가 코어 중심을 관통하여 흐를 때 나노 결정질 코어에 축적되는 자속밀도 에너지 분포를 전산 모의한 결과다. 코어의 시뮬레이션을 통해 자속 밀도분포를 계산하였을 경우 코어의 높은 투자율

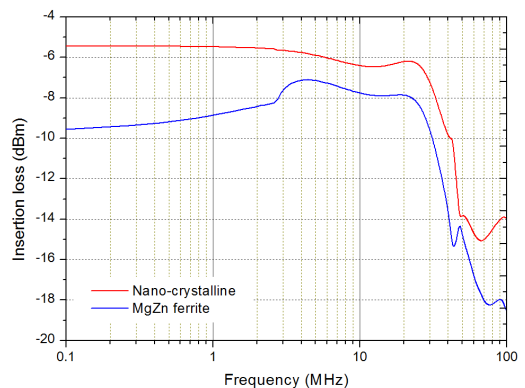


그림 4. 토로이달 코어의 삽입손실 (측정값)  
Fig. 4. Measured insertion loss of toroidal cores

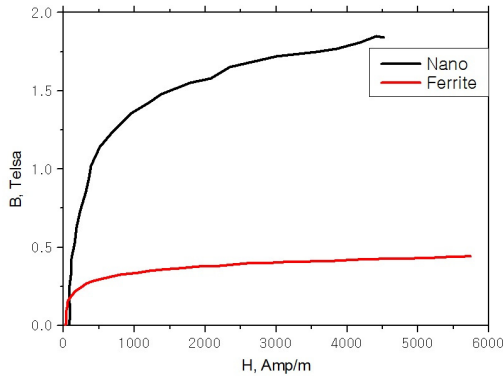


그림 5. 나노결정립과 페라이트의 B-H 그래프  
Fig. 5. B-H graph of nano-crystalline and ferrite.

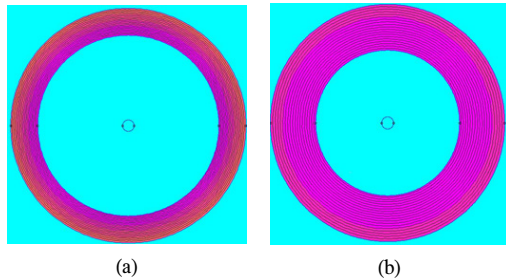


그림 6. 자속밀도분포를 보여주는 FEMM 시뮬레이션 결과.  
(a) 나노결정립 코어, (b)페라이트 코어  
Fig. 6. FEMM Simulation result to show the flux density distribution. (a) Nano-crystalline core, (b) ferrite core

때문에 자속에너지는 코어 내부에 갇혀있고 중심으로 갈수록 자속밀도는 크게 나타남을 볼 수 있다. 100 A 일차전류 조건에서 페라이트 코어의 자속밀도는 0.0005 J, 나노 결정질 코어의 자속밀도는 0.005 J로 계산되었다. 결과적으로 포화자속밀도가 큰 나노 결정질 코어에 훨씬 큰 자기에너지가 축적됨을 알 수 있다. 이러한 자기에너지의 차이가 전력선 통신 성능에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

#### IV. 선박 내 통신 실험

Figure 7은 실험에 사용한 두 종류의 유도형 결합기를 보여준다. Figure 7 (a)는 나노결정질 코어로 구현한 결합기이며 Figure 7 (b)는 Mg-Zn 페라이트 코어로 만든 상용결합기 제품이다. 각각의 코어에 대한 사양은 표 1과 같다. 여기서 OD는 외경, ID는 내경, H는 높이를 의미한다.

선박내부의 통신설비를 늘리기 위해 Figure 8과 같이 서로 떨어진 두 선실(Room1과 Room2) 내부에 비

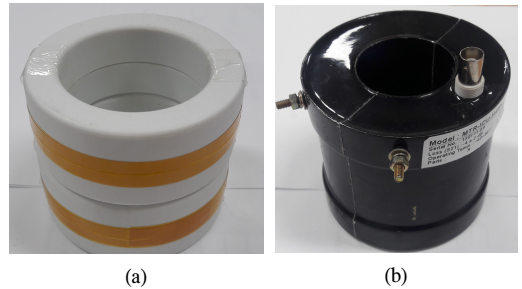


그림 7. 유도형 결합기. (a) 나노결정립 코어 이용, (b) 페라이트코어 이용  
Fig. 7. Inductive coupling unit using (a) Nano Crystalline and (b) ferrite core

표 1. 두 종류 코어의 파라미터  
Table 1. Parameters of two types of cores

Type	Dimension			Weight (g)	Inductance ( $\mu$ H)
	OD	ID	H		
Mg-Zn	62	36	13	149	0.71 @2MHz
Nano	45	22	25	104	27 @100kHz

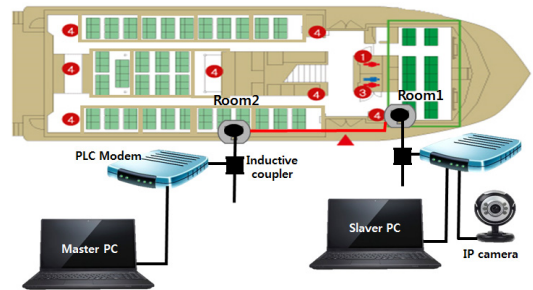


그림 8. 선박에서 전력선 통신 실험 구성도  
Fig. 8. PLC experimental setup on ship

접촉식 통신 장치를 설치하고 선내 배선만을 이용한 통신이 가능한지 실험하였다. 건조된 지 20년 정도 지난 실습선 선박이므로 내부 배선도에 대한 정확한 정보를 파악하지 못하여 전기적으로 연결된 두 지점을 찾아 선택한 곳이 사관식당인 Room1이고 통신실인 Room2이다. 통신실에 장착된 전력선 모뎀을 마스터로 설정하고 사관식당에 설치한 전력선 모뎀은 슬레이브로 설정하였으며, 마스터 모뎀 쪽에는 관측하기 위한 모니터용 노트북만을 장착하고 슬레이브 모뎀 쪽에는 모니터와 웹캠, 라즈베리파이를 준비하였다.

나노 결정질 코어와 페라이트 코어를 이용한 유도형 결합기별 통신 속도 측정, 라즈베리파이를 이용한 센서 데이터 전송 실험 및 웹캠을 이용하여 비디오 전송 실험을 수행하여 비접촉식 전력선의 선박 통신 응용에 대한 성능을 비교하였다. Room1에 설치한 통신

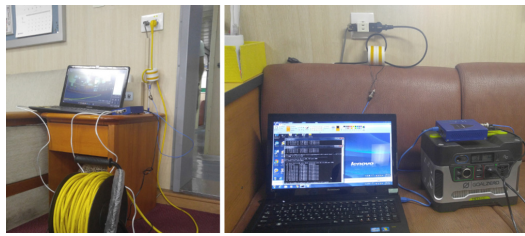


그림 9. 대역폭 측정을 위한 실험장치도 (a) 선실1, (b) 선실2  
 Fig. 9. Bandwidth measurement setup. (a) Room1, (b) Room2

시험 장치는 Figure 9 (a)와 같고 웹캠과 라즈베리파이 센서 시스템이 장착되어 있다. Room2에 설치한 시험 장치는 Figure 9 (b)와 같고 데이터 수신을 확인하는 컴퓨터가 설치되어 있다. 외부로 드러난 전선을 발견할 수 없었으므로 벽면 전원 콘센트에 전선을 연결하여 결합기를 체결하였다. 통신 속도 측정은 네트워크 대역폭 측정 및 트래픽 제너레이터용으로 사용되는 iperf 프로그램을 이용하였다.

```
C:\Users\Wsohn\KR\Desktop\iperf-2.0.5-cygwin\iperf-
0 -w 300k -f n -i 3 -t 30

Client connecting to 10.7.2.100, TCP port 5001
TCP window size: 0.29 MByte

[ 3] local 10.7.2.101 port 49633 connected with
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 3] 0.0- 3.0 sec   4.75 MBytes  13.3 Mbits/sec
[ 3] 3.0- 6.0 sec   4.62 MBytes  12.9 Mbits/sec
[ 3] 6.0- 9.0 sec   4.50 MBytes  12.6 Mbits/sec
[ 3] 9.0-12.0 sec   4.62 MBytes  12.9 Mbits/sec
[ 3] 12.0-15.0 sec  4.50 MBytes  12.6 Mbits/sec
[ 3] 15.0-18.0 sec  4.62 MBytes  12.9 Mbits/sec
[ 3] 18.0-21.0 sec  4.62 MBytes  12.9 Mbits/sec
[ 3] 21.0-24.0 sec  4.50 MBytes  12.6 Mbits/sec
[ 3] 24.0-27.0 sec  4.62 MBytes  12.9 Mbits/sec
[ 3] 27.0-30.0 sec  4.50 MBytes  12.6 Mbits/sec
[ 3] 0.0-30.0 sec  46.0 MBytes  12.9 Mbits/sec
```

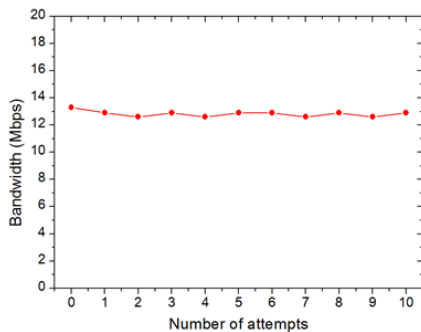


그림 10. iperf를 이용하여 측정된 대역폭. (a) 측정된 데이터 속도, (b) 채널 안정도  
 Fig. 10. Bandwidth measurement results using iperf. (a) Measured data rate, (b) Channel stability

Figure 10(a)는 30초간 연속적으로 10회 측정된 통신 속도를 보여준다. 이를 통해 두 결합기간 채널의 대역폭을 확인할 수 있다. 대역폭 안정도는 Figure 10 (b)와 같이 약 12.6-12.9 Mbps로 매우 안정적임을 알 수 있으며 선내 전력선 배선을 이용하여 원활한 전력선 통신이 가능함을 확인할 수 있다. Mbps 급의 대역폭을 이용하면 실시간 고화질 영상 데이터 전송도 가능하다.

Figure 11은 웹캠을 이용하여 유도형 결합기를 통해 영상을 전송하는 실험 구성도와 결과이다. Figure 11 (a)는 사관식당에 설치된 웹캠과 유도형 전력선 통신 시스템이며 Figure 11 (b)는 통신실에 설치된 영상 수신 시스템이다. Figure 11 (c)와 같이 웹캠으로부터 찍힌 영상 데이터가 통신실의 마스터 모뎀에 연결된 모니터용 노트북에 실시간으로 전송되는 것을 확인하였다.

선박 내 센서 시스템의 추가설치와 유도형 전력선 통신 기반 모니터링 시스템 구축이 가능한지 검토하기 위하여 Figure 12와 같이 라즈베리파이 기반 온도 측정 센서 시스템을 구성하고 Figure 12 (b)와 같이 Room1에 설치하였다. 여기서는 나노결정질 유도형 결합기가 적용되었다. Room2는 Figure 12 (c)와 같이 유도형 전력선 통신을 이용하여 전송된 센서 데



(a) (b)



(c)

그림 11. 영상 전송시험. (a) 선실1, (b) 선실2, (c) 선실2에서 수신한 영상  
 Fig. 11. Image transmission test. (a) Room1, (b) Room2, (c) Video image captured at Room2

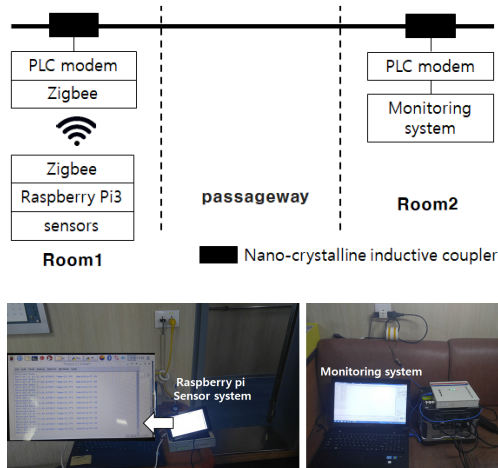


그림 12. 나노 결정질 유도형 결합기를 이용한 선내 안전모니터링 시스템  
 Fig. 12. Cabin safety monitoring system using nano-crystalline inductive coupler

이터를 모니터링 할 수 있도록 Hercules 프로그램이 탑재된 시스템이 설치되어 있다. Room1의 라즈베리 파이 센서 시스템과 전력선 모뎀간 통신은 지그비 방식을 적용하였으며 센서 시스템의 설치 자유도를 높이고자 하였다.

Figure 13은 Room1의 온습도 정보가 Room2의 Hercules 프로그램에 실시간으로 나타나고 있음을 보여준다. 이 실험을 통해서 선박 내 고립된 공간에 유도형 전력선 기반 통신시스템을 이용하여 안전모니터링 시스템을 임의적으로 설치하고 철거할 수 있음을 확인하였으며 나노 결정질 결합기의 신호 결합 성능이 검증되었다.

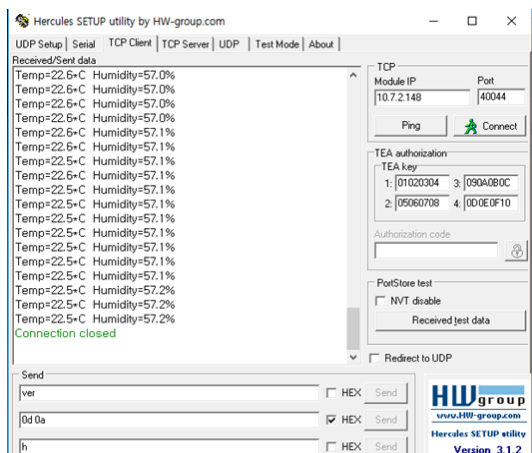


그림 13. 모니터링 시스템에 수신된 온도와 습도 데이터.  
 Fig. 13. Temperature and humidity data received at monitoring system.

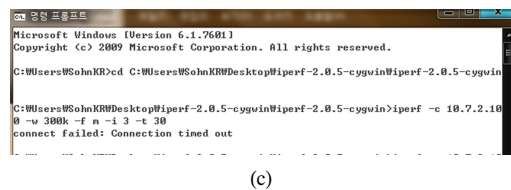
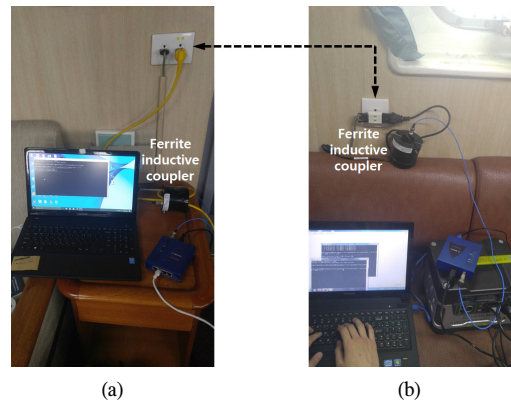


그림 14. 페라이트 유도형 결합기를 이용한 선내 전력선 통신 시험. (a) 선실1, (b) 선실2, (c) 실험결과  
 Fig. 14. Powerline communication using ferrite inductive coupler. (a) Room1, (b) Room2, (c) Test results

Figure 14는 페라이트 유도형 결합기를 이용한 전력선 통신 성능을 확인하기 위한 실험 장치도이며 시중에 개발되어 시판중인 Figure 7 (b) 제품을 사용하였다. 실험방법은 Figure 9와 동일하다. 통신실험결과 Figure 14 (c)에서 보이는 것과 같이 iperf 프로그램을 사용하였을 때 ‘connect failed’ 알림이 표시되었으며 채널이 열리지 않음을 통해 통신이 불가능함을 확인하였다. 나노 결정질 코어와 비교하면 페라이트 코어의 포화자속밀도가 상대적으로 작고, 이로 인해 코어 내부에 축적되는 자기에너지가 작으므로 신호결합 효율이 떨어지는 것이다.

## V. 결론

본 논문에서는 전력선 케이블의 손상이나 전용통신 선로의 추가 없이 선박 내부 전선을 이용하는 유도형 전력선 통신을 사용하여 센서 시스템의 추가 설비가 가능함을 보였다. 유도형 전력선 통신의 핵심 소자로 나노결정질 코어를 이용한 결합기와 페라이트 코어를 이용한 결합기를 동일한 현장 조건에서 시험한 결과 포화자속밀도가 높은 나노결정질 코어가 적합함을 밝혔다. 자계 에너지량이 적고 자속 밀도가 낮은 페라이트 코어가 통신이 불가능 했던 것과 달리 자계 에너지

지가 높은 나노 결정질 코어가 통신이 원활히 이루어 짐을 확인할 수 있었고 이를 통해 나노 결정질 코어가 선대통신에 보다 적합함을 알 수 있다. 선박 내 통신 설비를 증설하는 방안으로 본 연구에서 제시한 나노 결정질 유도형 결합기 기반 비접촉식 전력선 통신이 적용될 수 있기를 기대한다.

### References

- [1] J. Binkofski, "Influence of the properties of magnetic materials on the size and performance of PLC couplers," *Int. Symp. Power Line Commun. and Its Appl.*, pp. 281-284, 2005.
- [2] V. Valchev, A. V. Bossche, and P. Sergeant, "Core losses in nanocrystalline soft magnetic materials under square voltage waveforms," *J. Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 320, Issues 1-2, pp. 53-57, 2008.
- [3] H. S. Kim, S. Y. Nam, and K. R. Sohn, "Characteristics of legacy line communication using a high-current welding machine," *J. Korean Soc. Marine Eng.*, vol. 41, no. 6, pp. 557-562, 2017.
- [4] K. R. Sohn, K. H. Kim, S. U. Jeong, S. Y. Nam, and H. S. Kim, "Performance analysis of the powerline communication for condition monitoring system of an MW class offshore wind turbine's nacelle," *J. Korean Navig. and Port Res.*, vol. 40, no. 3, pp. 159-164, 2016.
- [5] K. R. Sohn, "Smart safety monitoring system using inductive power line communication based raspberry-pie," *J. KICS*, vol. 42, no. 9, pp. 1850-1856, 2017.
- [6] <http://www.mattron.kr>.
- [7] <http://www.femm.info/wiki/HomePage>.

양 승 호 (Seung-Ho Yang)



2012년 2월 : 한국해양대학교  
전자통신공학과 졸업  
2018년 3월 현재 : 한국해양대  
학교 전자통신공학과 석사과  
정  
<관심분야> 인공지능, 머신러  
닝, 전력선 통신

정 재 환 (Jae-Hwan Jung)



2012년 2월 : 한국해양대학교  
전자통신공학과 졸업  
2018년 3월 현재 : 한국해양대  
학교 전자통신공학과 석사과  
정  
<관심분야> 인공지능, 머신러  
닝, 전력선 통신

손 경 락 (Kyung-Rak Sohn)



1992년 2월 : 경북대학교 전자  
공학과 학사  
2002년 8월 : 경북대학교 전자  
공학과 박사  
2003년 9월~2018년 현재 : 한  
국해양대학교 전자통신공학  
과 교수

<관심분야> 전력선통신, 가시광통신, 센서네트워크,  
기계학습