

수중 자기 유도 통신 시스템의 경로 손실 분석

이문빈, 김관수, 신요안*
 숭실대학교 전자정보공학부
 (*교신저자)

{lwb930317; kwansk93}@soongsil.ac.kr, yashin@ssu.ac.kr

요약

수중 통신은 환경의 영향을 많이 받아 일반적인 음파, 광파, 전자파 등이 잘 전달되지 않는다. 최근 이러한 복잡한 환경 속에서 통신이 가능한 자기 유도 통신에 대한 연구가 큰 관심을 받고 있으나, 대부분 이론적인 연구여서 실질적인 자기 유도 통신 시스템에 대한 구현 및 실험은 중요한 이슈이다. 본 논문에서는 범용 소프트웨어 정의 라디오 모듈과 GNU Radio를 사용한 자기 유도 통신 시스템을 구현하고 수중 환경에서 코일 위치에 따른 경로 손실에 대한 실험 결과를 제시한다.

I. 서론

수중 환경은 일반적인 통신에 사용되는 전파로는 통신하기 힘든 복잡한 환경이나, 자기 유도 (Magnetic Induction; MI) 통신은 도전물에 의해서만 영향을 받기 때문에 수중 환경에서도 우수한 성능을 가진다. 이러한 수중 MI 통신에서 송신기와 수신기 코일 안테나 사이 거리에 따른 신호의 경로 손실을 고려하는 것은 원활한 통신을 보장하기 위해 매우 중요한 요소이다.

참고문헌 [1]에서는 수중 MI 통신에서 이론적인 분석을 통해 실험에 사용할 파라미터를 도출하고 실험을 진행하여, 측정된 수신 전력에 따른 경로 손실과 송신 전력과의 관계를 수식적으로 도출하고 경로 손실의 주요 요인을 제시하였다. 한편, 참고문헌 [2,3]에서는 수중 표면에서 파장의 반사 현상에 따라 자기장의 반사가 경로 손실에 영향을 미치는 것을 제시하였다. 본 논문에서는 범용 소프트웨어 정의 라디오 모듈 (Universal Software Radio Peripheral; USRP)과 GNU Radio를 사용하여 구현된 MI 통신 시스템을 이용하여 수중 환경에서 실험을 수행하고, 송신기-수신기 코일 거리에 따른 수신 전력 측정 결과를 제시하여 이를 통해 경로 손실을 분석할 수 있는 실제 값들을 제시한다.

II. 수중 MI 통신 실험

MI 통신 시스템에서 자기장의 감쇄 요인은 주로 경로 손실과 도전율인데, 본 논문의 실험에서는 임피던스와 주파수를 상수로 설정했기 때문에 변수는 송수신기 사이의 상호 인덕턴스 (Mutual Inductance)이고 참고문헌 [4]에서 알 수 있듯이 상호 인덕턴스가 증가하면 경로 손실이 작아진다. 실험에 사용한 MI 통신 시스템에서는 주파수를 고정하였으므로 경로 손실은 송신기의 전력과 수신기의 전력의 차인 식 (1)로 나타낸다.

$$PL = P_t - P_r. \quad (1)$$

GNU Radio는 통신의 하드웨어적인 구현 요소를 소프트웨어적으로 구현할 수 있게 해주는 무료 오픈소스 소프트웨어 개발 도구로서, MATLAB과 비교했을 때 수신기의 시간 및 주파수

영역의 신호를 실시간으로 관측할 수 있으며 주파수의 오프셋도 관측할 수 있다. USRP Hardware Driver (UHD)를 지원하는 GNU Radio는 USRP를 제어할 수 있는 모듈이 있기 때문에 실험에 사용할 소프트웨어로 선택하였다. 그림 1은 BPSK (Binary Phase Shift Keying) 방식으로 실제 구현된 MI 통신 시스템을 위한 GNU Radio 모듈의 구성과 파라미터를 도시한다. 그림 2는 실제 수중 환경에서 MI 통신 실험에 사용한 장비와 환경을 나타내고 코일의 위치를 측정하기 위한 기준점을 표시하였다.

실험을 진행하기 위해 수조의 송신기 코일의 위치는 수조의 중간 위치인 (18.5, 0, 12.5) [cm]로 설정했는데, 코일이 수면에 가까울수록 반사가 많아지므로 수조의 중간 위치를 선택하게 되면 반사의 영향을 덜 받아 y 축 방향의 송신기-수신기 코일 사이 거리 변화에 따른 경로 손실을 비교하기 유리하다. 이러한 실험 구성에 따라, 수조 내 여러 위치에서 실제 측정된 수신 전력은 표 1과 같다.

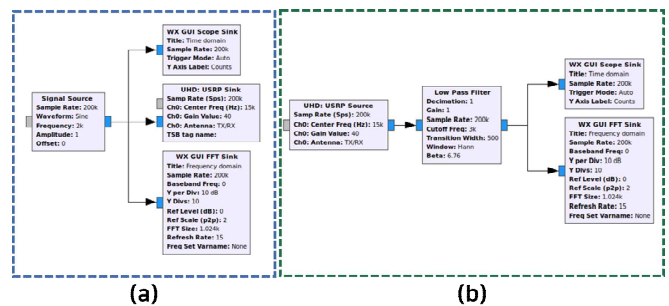


그림 1. 구현된 MI 통신 시스템을 위한 GNU Radio 모듈 구성: (a) 송신기, (b) 수신기

Fig. 1. GNU radio modules for the implemented MI communication system: (a) transmitter, (b) receiver

III. 결론

본 논문에서는 MI 통신 시스템을 소프트웨어 정의 라디오 기반으로 구현하였으며, 수중에서 송신기-수신기 코일 간 거리의 변화에 따른 수신 전력 측정 결과를 제시하였다. 이 결과를 활용

해 경로 손실을 추정할 수 있으며, 이에 따른 통신 거리를 고려한 MI 통신 시스템 설계시 활용 가능성을 제시하였다.

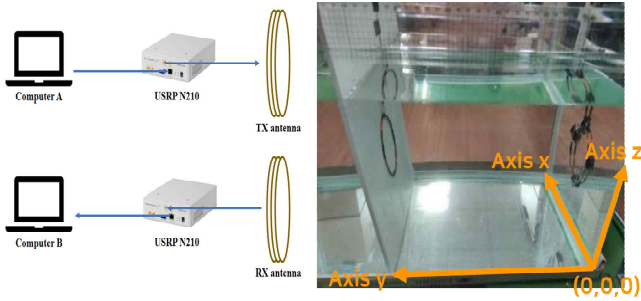


그림 2. 수중 MI 통신 실험 환경

Fig. 2. Experiment setup for underwater MI communication

표 1. 송신기-수신기 코일 간 거리 변화에 따른 수신 전력

Table 1. Received power according to the distance between the transmitter and the receiver coils

송신기-수신기 거리 [cm]	수신 전력 [dB]
5	-48.20
10	-61.47
15	-73.22
20	-80.47
25	-86.64
30	-89.99
35	-94.44
40	-98.67

감사의 글

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다 (2016R1A2B2014497).

References

- [1] M. Mostafa, H. Esmail, and E. M. Mohamed, "A comparative study on underwater communications for enabling C/U plane splitting based hybrid UWSNs," *Proc. IEEE WCNC 2018*, Barcelona, Spain, Apr. 2018.
- [2] I. F. Akyildiz, P. Wang, and Z. Sun, "Realizing underwater communication through magnetic induction," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 11, pp. 42-48, Nov. 2015.
- [3] J. Zhou and J. Chen, "Maximum distance estimation of far-field model for underwater magnetic field communication," *Proc. IEEE CCWC 2017*, Las Vegas, USA, Mar. 2017.
- [4] X. Tan, Z. Sun, and I. F. Akyildiz, "Wireless

underground sensor networks: MI-based communication systems for underground applications," *IEEE Ant. & Prop. Mag.*, vol. 57, no. 4, pp. 74-87, Aug. 2015.