

# 자력계를 이용한 자기장 통신 구현 방법 연구

장동원, 조인귀  
한국전자통신연구원  
dwjang@etri.re.kr

## A Study on the Implementation of Magnetic Field Communication Using Magnetometer Technology

Jang Dong Won, Cho In Kwi  
Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요약

본고에서는 자기장에서 데이터 통신을 하기 위한 혁신적인 접근 방식을 검토하였다. 이를 위해 기존의 자기 유도 통신 시스템의 수신기 코일을 고감도 광대역 자기장 센서(자력계)로 대체한다. 결과적으로 소형 수신 장치의 고감도 자기장 센싱 기능을 이용해서 보다 먼 통신 거리의 자기장 통신을 할 수 있는 장점을 활용한다. 이 방법은 다양한 기술의 자력계가 존재하므로 통신 응용 분야에 따라 적당한 방식의 자력계를 선택해서 사용할 수 있으며 본고에서는 수신기 크기가 제한되는 이동통신 응용을 중심으로 기술하였다. 특히 플럭스게이트나 원자 자력계 등을 이용해서 통신 시스템 구현을 위한 방법을 분석하고 기술하였다.

### 키워드

자기 유도 통신, 모바일 감지 시스템, 자기 센서, 양자 자력계

### 1. 서론

자기 유도(Magnetic Induction) 통신은 무선, 광무선, 음향 및 분자 통신으로는 곤란한 통신 환경에서 점점 더 관심을 끌고 있다. 예를 들면 수중 통신, 지중 통신, 화학 탱크 내에서 통신 그리고 의료 응용 장비 등이 있다. MI 통신은 전파 지연이 적고 주변 환경에 대한 민감도가 낮다. 또한 근거리 장소에서는 다중 경로 전파 및 페이딩과 같은 문제가 없다. 그러나 근거리 MI 통신에는 고유한 제한이 있다. 거리가 10배 증가하면 60dB (전파의 경우 40dB)의 높은 감쇠로 인해 단거리 통신만 지원할 수 있다. 최신 기술을 활용한 통신은 코일을 송신기와 수신기 양측에서 사용한다. 코일은 안테나로 설명될 수 있다. 유도 결합은 송신기와 수신기 사이의 통신 링크를 가능하게 한다. 송신기 코일은 수신기 코일에서 변조된 전류를 유도한다. 수신기 코일 클램프의 전압은 수신 신호이다(그림 1a).

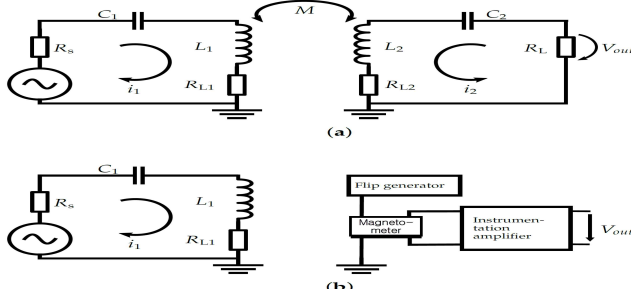


그림 1. 코일-코일(a) 및 코일-자력계(b) 통신시스템 토폴로지

합당한 거리에 도달하려면 송신기와 수신기 코일은 동조 공진 회로에서 작동해야 한다. 이 원리는 공진 주파수 주변의 신호 주파수에 대해 상당한 이득을 생성하지만 공진 회로의 품질 계수(Q)에 따라 가능한 대역폭을 줄인다. 통신 범위는 송신기와 수신기 코일의 반경에 의해 제한되기 때문에 작은 코일이 양쪽 끝에 필요한 경우 자율 수중 차량(AUV) 또는 센서 네트워크와 같은 모바일 애플리케이션에는 효율적이지 않다. 본 논문에서는 혁신적인 MI 통신 시스템 접근 방식을 분석하였다. 기존 MI 통신 시스템의 수신기 코일은 플럭스게이트, 이방성자기저항(Anisotropic Magneto Resistance) 등과 같은 고감도 자력계(그림 1b)로 대체된다. 이 자력계는 모바일 애플리케이션에 적합한 작고 가벼운 수신기 장치를 가능하게 한다. 이 방법은 다른 장점들 중에서도 저렴하고 안정적인 시스템 설계로 이어질 수 있는 많은 이점이 있다. 이러한 자기장 검출기(자력계)들은 각 영역에서 검출 및 내비게이션에 널리 활용되고 있다. 그러나 이 고감도 자기장 검출기는 데이터 통신 분야에는 아직 연구되지 않고 있다. 독일의 헬름홀츠 연구소[1]와 미국의 NIST[2]에서도 최근에 연구를 시작하였다. 본고는 자기장 검출기의 특성을 MI 통신 맥락에서 평가하고 코일-코일 및 코일-자력계 통신의 감도를 분석하고 비교한다.

### II. 본론

현재 다양한 자기 센서가 상용화되어 있다[3]. 대부분 센서는 다양한 감지 원리에 따라 자기장의 자기 플럭스 밀도를 측정한다. 특정 측정 작업을 위해 특정 유형의 자기장 센서가 사용된다. 예를 들어 거대자기저항(GMR) 센서는 하드 디스크의 헤드를 읽는데 사용되는 반면 초전도 양자간섭 장치(SQUID)는 약한 생체 자기장을 측정하는데 사용된다. 이 절에서 가장 일반적인 센서는 자기 통신 시스템에서 광대역 수신기로서의 적합성에 관련하여 특성화된다. 이동통신 목적과 관련된 중요한 특성이 표 1에 요약되어 있다.

• SQUID는 매우 민감한 자기장 센서이다. 이 센서는 fT 정도의 자기 플럭스 밀도를 측정할 수 있다(예: 자기 뇌파 검사에 의한 뇌 활동 추적). 조

전도를 유지하기 위해 SQUID는 절대 0도 내에서 작동하도록 액체 헬륨으로 장치로 냉각시켜야 하므로 모바일 응용에는 불가능하다.

표 1. 이동통신 응용을 고려한 자력계(자기장 센서) 특성 비교

	Induction	AMR	SQUID	Optical Pumping	Hall	Fluxgate/GMI	GMR/TMR
검출 기준	fT-T	nT	fT	pT	T	pT	nT
전원	Battery	Battery	Line	Battery	Battery	Battery	Battery
크기	Ultra small-large	Ultra small	Medium	Medium	Ultra small	Small	Small
측정값	Vectorial	Vectorial	Vectorial	Scalar	Vectorial	Vectorial	Vectorial
잡음	Low	Medium	Ultra-low	Ultra-low	High	Low	High
대역폭	Small	Large	Small	Small	Medium	Medium	Medium
지자기장에 대한 포화	No	No	Yes	Yes	No	No	No
동작 온도	Normal	Normal	Ultra-low	Normal	Normal	Normal	Normal
가격	Low	Low	High	High	Low	Medium	Low
모바일 응용 적합도	Only small coils	Yes	No	No	Yes	Yes	Yes

• 광학 펌핑 공명 방법은 저주파수에서 매우 높은 감도를 나타내지만, 센서 크기가 크며 자기장의 스칼라값만 감지할 수 있다. 통신 목적과 관련된 주요 문제는 이러한 자력계의 감도가 10Hz 이상의 주파수에서 급격히 감소한다. 이는 통신 속도에 방해가 된다.

• 홀 효과 센서는 가장 인기 있는 자기장 센서 중 하나로 매우 저렴하고 주로 근접 검출기로 사용된다. 감도가 낮으므로 탐색용으로 사용할 수 없다. 홀 효과 센서의 대부분 특성은 자기 통신 시스템에 적합하지만, 탐지 임계값이 높으면 통신 범위가 매우 짧다.

• 플럭스 게이트 센서는 pT까지 자기장을 감지할 수 있다. 소형 및 배터리 전원 공급 장치로 인해 플럭스 게이트 자력계는 모바일 응용에 적합하다. 달성 가능한 데이터 속도는 플럭스 게이트 센서의 상위 주파수에 의해 제한되는데 약 10kHz이다. 플럭스 게이트 센서와 유사한 거대자기 임피던스 센서는 더욱 높은 주파수(약 10MHz)에서 동작할 수 있다.

• GMR 및 AMR 센서는 오늘날 거의 모든 스마트 폰에서 구현된다(주로 나침반 기능). 두 센서 유형 모두 초저전력 소비가 필요하며 저렴하다. 주요 이점은 최대 1MHz 이상의 높은 대역폭 갖는 것이다. AMR 센서는 감지 한계가 낮으므로 통신 시스템에 적합하다.

표 1에 언급된 특징 이외에도, 적용 분야에 따라 선형성, 높은 강도로 인한 자기 소거 및 자기장의 지향성과 같은 다른 특성을 다루어야 한다.

### III. 결론

본고에서는 자기 통신을 위한 혁신적인 접근법을 검토하였다. 핵심 아이디어는 수신기 측에 고감도 광대역 자기장 센서를 사용하는 것이다. 수신기 코일과는 다른 측정 원리가 사용되기 때문에 기존의 MI 코일-코일 통신과 비교하여 몇 가지 장점이 제시되었다. 대부분 결과는 광범위 원자 자력계나 AMR 센서를 가정하였다. 작은 크기와 함께 자력계의 다중 입력/단일 출력(MISO), 단일 입력/다중 출력(SIMO)구성을 통해서 감도를 향상시킬 수도 있다. 또한 코일-자력계 통신에 높은 투자율 송신기 코어 재료를 사용해서도 통신 범위를 크게 확장할 수 있다.

### Acknowledgements

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019-0-00007, [전문연구실]10pT급 미소자계 기반 중장거리 자기장 통신기술)

### 참고 문헌

- [1] Hott, M.; Hoehner, P.A.; Reinecke, S.F. Magnetic Communication Using High-Sensitivity Magnetic Field Detectors, Sensors2019, 19, 3415.
- [2] Gerginov V, da Silva FCS, Howe D., Prospects for magnetic field communications and location using quantum sensors, Rev Sci Instrum. 2017 Dec;88(12):125005.
- [3] A. Grosz, M. J. Haji-Sheikh and S. C. Mukhopadhyay, High Sensitivity Magnetometers, Springer, 2017.