

자기장 통신 SoC 및 시스템 구현

김선미* · 임용석**

1. 서 론

유비쿼터스 사회 구현을 위해 연구가 상당히 진행되어 온 무선 센서 네트워크, 블루투스, RFID, ZigBee 등의 기술은 이미 우리의 실생활에 일부분 적용되고 있다. 그러나 이러한 기술들은 전자기파를 이용하여 통신을 하는 시스템들로서 매질의 변화가 민감하고, 전자파 진행 경로에 장애물이 있을 경우 다중 경로가 형성되어 신호의 감쇠가 크게 발생하는 단점을 갖고 있다. 이러한 특성은 매질의 특성이 변화되는 지중이나 수중의 시설물들을 관리하는 시스템에 적용하기에 적합하지 않기 때문에, 이러한 난제를 극복하고자 다양한 연구들이 진행되고 있다.

많은 연구들 중에서도 매질의 변화에도 신호 세기의 감쇠가 없는 자기장의 특성을 이용하여 사회 전반의 시설물들을 관리하는 자기장 통신이 최근 RFID 기술과 USN 기술의 약점을 보완하는 무선통신 기술로서 이슈가 되고 있다.

자기장 통신이란 근거리장 내에서 생성되는 자기장의 특성을 이용하여 무선 통신을 하는 것을

말한다. 전기장이 매질의 유전률에 따라 신호 감쇠가 일어나는 것에 비하여 자기장은 매질의 투자율에 영향을 받는다. 따라서 투자율이 비슷한 물, 흙 등의 매질에서는 감쇠가 적게 발생하여 최적의 통신 성능을 기대할 수 있다.

예를 들면 물에 대한 투자율이 약 1로써 공기와 거의 유사한 반면에 유전율은 약 80 정도로 물 주변의 환경에서 전기장은 공기 중의 전기장에 비해 80배 정도 신호의 감쇠가 생기는데 반해 자기장은 물과 공기에서 신호의 세기가 변함이 없다[1].

본 논문에서는 이러한 자기장 특성을 적용한 자기장 통신 시스템을 구현하고, 그 결과를 제시함으로써 자기장 통신에 관한 연구가 활발히 이뤄지기를 기대한다.

본 논문의 구성은 2장에서 근역장을 이용하는 자기장 통신 특성을 대해 소개를 하고, 3장에서는 구현한 자기장 통신 시스템에 대해 설명한다. 4장에서는 구현된 자기장 통신 시스템에서 측정된 파형을 살펴보고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 자기장 통신 특성

자기장 통신은 근거리장 (Near field) 내에서 생성되는 자기장의 현상을 이용한다. 근거리장은 안테나에서의 전류변화에 따라 강한 자기 유도가 발생하는 구간이며 전기장 및 자기장이 안테나로

* 교신저자(Corresponding Author): 임용석, 주소: 서울시 마포구 상암동 전자회관, 전화: 02)6388-6668, FAX: 02)6388-6679, E-mail: busytom@keti.re.kr

* 전자부품연구원 무선플랫폼 연구원

** 전자부품연구원 무선플랫폼 선임연구원

(E-mail: busytom@keti.re.kr)

부터 분리되어 전자파 형태로 전파를 시작하는 거리까지의 영역을 말하며 수식은 다음과 같다.

$$d = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (d: \text{근거리장}, \lambda: \text{신호파장})$$

그림 1 과 같이 Small Loop에서 형성되는 전자기장(electromagnetic field)을 살펴보면 근역장(Near field)에서는, 즉, $kr \ll 1$ 이 성립되는 구간에서는 H-field가 $1/(kr)^3$ 이 성분에 의해 dominant 하게 된다[1-2].

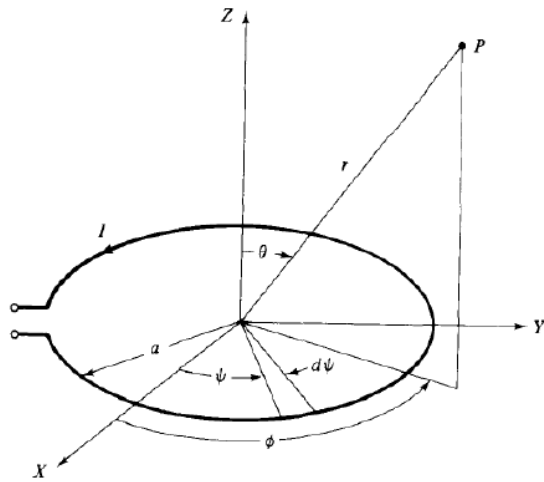


그림 1. Small Loop 안테나 모델링

$$E_{\phi} = \eta \frac{k^2 m}{4\pi} \left[\frac{1}{kr} - \frac{j}{(kr)^2} \right] \sin \theta e^{-jkr}$$

$$H_r = j \frac{2k^3 m}{4\pi} \left[\frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right] \cos \theta e^{-jkr}$$

$$H_{\theta} = -\frac{k^3 m}{4\pi} \left[\frac{1}{kr} - \frac{j}{(kr)^2} - \frac{1}{(kr)^3} \right] \sin \theta e^{-jkr}$$

$$m = (\pi a^2) I \quad \text{Magnetic dipole moment}$$

자기장의 특성은 매질에 따라 신호 감쇄율 변화가 거의 없으며 매질 변화에 의한 multi-path-fading이 거의 없는 장점이 있다. 또한 수백 kHz의 저주파 대역을 사용함으로써 상대적으로 높은 skin-depth를 갖는다[3]. 반면에 자기장의 세기는 $1/r^3$ 의 비율로 거리에 따라 감소하는 특징이 있다 [4-5].

3. 자기장 통신 시스템 설계

자기장의 특성을 이용하여 본 논문에서는 반송파 중심주파 128KHz의 통신 시스템을 구현하였다. 반송파 주파수 대역이 낮기 때문에 자기장 통신은 구현 비용 및 전력 소모가 낮으며 인체유해성 기준에도 유리한 장점을 갖고 있다[4-5].

그림 2은 자기장 통신 표준을 준수하여 본 논문에서 구현한 자기장 통신의 패킷구조를 나타낸다. 자기장 통신 패킷은 2-Byte의 Preamble, 3-Byte의 Header와 0에서 257 Bytes까지 가변 할 수 있는 Payload로 구성된다. Header에는 Data rate와 Data coding 방법, Payload 길이에 대한 정보로 구성된다. Header의 모든 정보는 상위 계층에서 결정하도록 정의되어 있다.

자기장 통신 시스템에서 지원하는 Data rate은 1Kbps에서 8Kbps까지 가변 할 수 있도록 되어있다. Data coding 방법은 Manchester와 NRZ-L를 선택적으로 사용할 수 있도록 되어 있으며, Type에 따른 Data rate와 Data coding 방법의 상관관계는 표 1로 정의 되어있다.

자기장 통신에서 사용하는 변조 방식은 에러를

Preamble (2-Byte)		Header (3-Byte)			Payload (0 ~257 Bytes)	
Synchronization (2-Byte)	Data rate/coding (3-bit)	Payload length (8-bit)	Reserved (5-bit)	HCS (8-bit)	Data (0~255 Bytes)	FCS (2-Byte)

그림 2. 자기장 통신 시스템 패킷 포맷

표 1. 모드에 따른 Data rate 및 coding method

Type	Data rate	Coding method
0	1Kbps	Manchester
1	2Kbps	Manchester
2	4Kbps	Manchester
3	2Kbps	NRZ-L + Scrambling
4	4Kbps	NRZ-L + Scrambling
5	8Kbps	NRZ-L + Scrambling

과 복잡도가 낮은 BPSK를 사용하고 있다[4].

그림 3는 자기장 통신 시스템의 전체 구조를 보여주고 있다. 저전력 소비를 위하여 M8051EW CPU를 내장하고 I/Q channel용 10bit 512K sample rate의 2ch ADC 및 Hardwired MAC/PHY로 구성되어 있다. USN센서 인터페이스를 위하여 I2C/UART/SPI/GPIO 등의 시리얼 인터페이스 내장하고 있다.

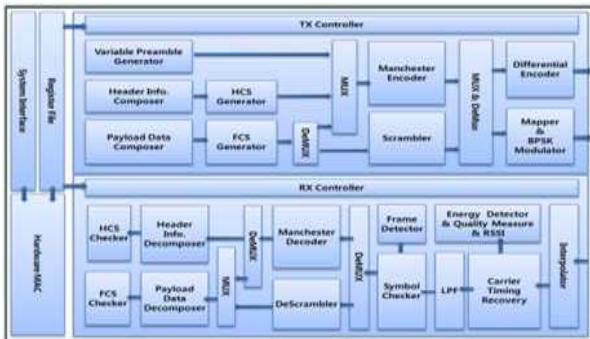


그림 3. 자기장 통신 블록도

3.1 자기장 통신 송신부

자기장 통신 송신부는 그림 4와 같이 구성되어 있다. 디지털 부분에서는 MFAN 표준을 바탕으로 패킷을 생성하며 정해진 데이터 속도에 따라 패킷을 변조한다. MFAN 표준에 따라 preamble과 header는 1Kbps, Manchester coding으로 고정되어 있으나 payload는 상위 계층의 명령에 따라 변경할 수 있도록 되어 있다. 생성된 자기장

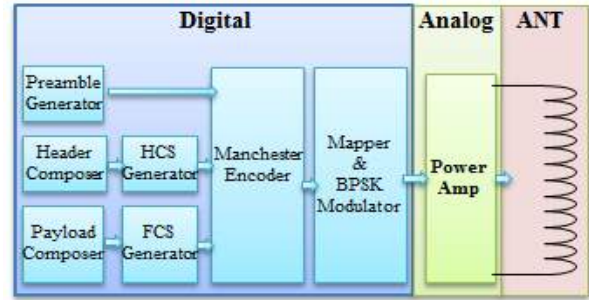


그림 4. 자기장 통신 송신부 블록도

통신 패킷은 차동 신호로 변환하여 Power Amp로 전달된다.

아날로그 회로 부분의 Power Amp는 그림 5와 같이 Full-Bridge 방식을 기본으로 인버터 회로를 응용하여 구성하였다.

디지털 단에서 생성된 차동 신호를 기본으로 반전/비반전 변경된 신호로 Power Amp가 동작하도록 한다. Power Amp의 구형과 출력 신호가 안테나에서 완전한 BPSK 신호가 되도록 하는 역할을 한다.

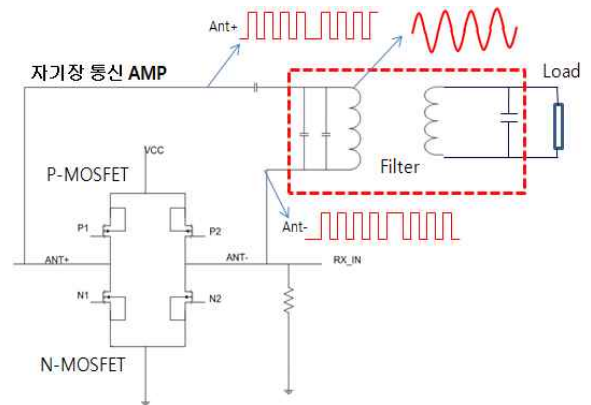


그림 5. 자기장 통신 Power Amp 설계

3.2 자기장 통신 수신부

자기장 통신 수신부는 그림 6과 같이 구성되어 있다. 자기장 통신 수신부의 아날로그 회로부는 안테나를 통하여 수신된 신호를 증폭하는 LNA, 반송파 주파수 대역에서 Baseband 대역으로 천

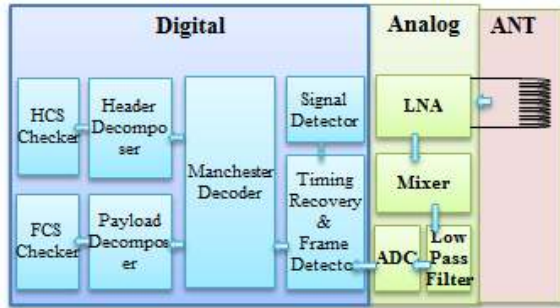


그림 6. 자기장 통신 수신부 블록도

이하기 이전 과정에 Mixer와 LPF로 구성되어 있다. 외부에서 안테나를 통하여 수신된 신호는 그 크기가 매우 작으며 노이즈 성분도 포함하고 있기 때문에 잡음을 최소화 하면서 증폭할 수 있도록 OP-Amp를 사용하여 2-stage로 LNA를 설계하였다. Mixer는 OP-Amp를 이용하여 증폭 및 single to differential 신호를 만들기 위한 회로와 differential 신호의 합이 이뤄지는 MUX로 설계되어 있으며, LPF는 2단으로 설계되어 있으며 Cut-off frequency는 가변적인 Data rate를 고려하여 설계하였다.

LPF를 통과하여 노이즈 성분이 거의 제거된 아날로그 신호는 ADC로 전달된다. ADC를 통해 완전한 디지털로 변환되면 디지털 부분에서 패킷을 분석하여 FCS, HCS등을 통해 에러 유무를 확인한다. 에러가 없이 정상적으로 수신된 패킷은 상위 계층으로 전달된다.

3.3 자기장 통신의 안테나

본 논문에서 적용된 자기장 통신 송수신 안테나 구현을 위한 parameters는 표 2와 같다. 그림 7에서는 자기장 통신 시스템의 송수신 안테나로 128KHz의 중심 주파수로 공진 특성을 갖는 루프 형태의 안테나이며 통신 성능을 고려하여 비대칭형 안테나로 송수신이 가능하도록 설계되어 있다. 안테나는 리치 코일로 제작되었으며 Capacitor를

표 2. 송수신 안테나 parameters

	송신안테나	수신안테나
Size(cm)	14×10×0.7	7(Diameter)
L(uH)	77.23	46.83
Q	56	61
Material	Litz wire	Litz wire

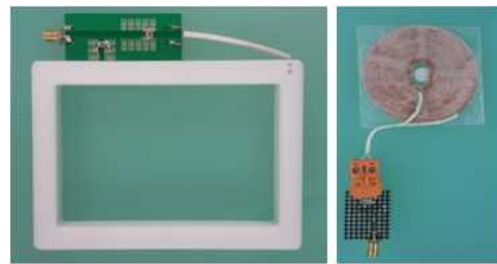


그림 7. 자기장 통신 송수신 안테나

통해서 정확한 임피던스 정합회로를 구성한다. 128KHz에서 정합이 이루어 졌음[그림 8]을 보여주며 S11이 대략 5 Ohm의 임피던스를 갖으며 안테나의 임피던스는 인버터의 특성을 고려하여 설정되었다.

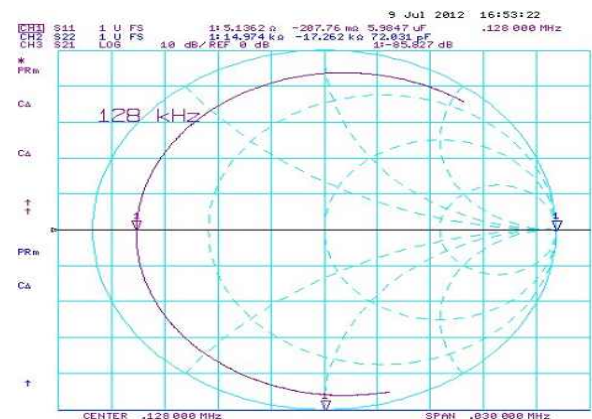


그림 8. 안테나 임피던스 측정

4. 자기장 통신 시스템 구현과 측정

그림 9 및 그림 10은 자기장 통신 시스템의 송수신부 구현 및 차동 신호, BPSK 파형을 이다. 그림 10의 (a)는 디지털 블록에서 Power Amp로 전달

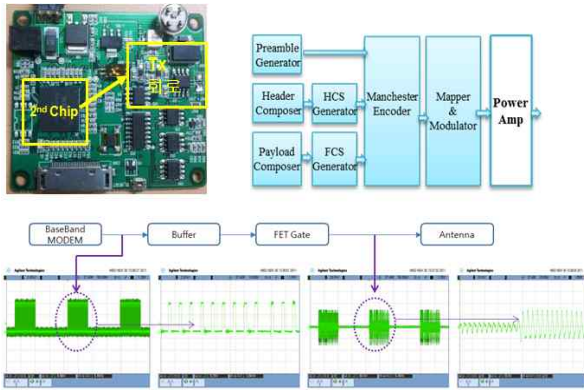
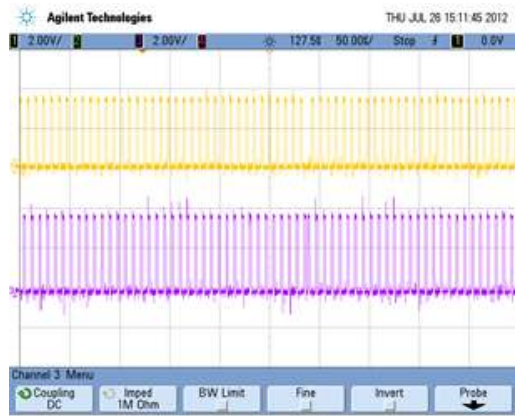
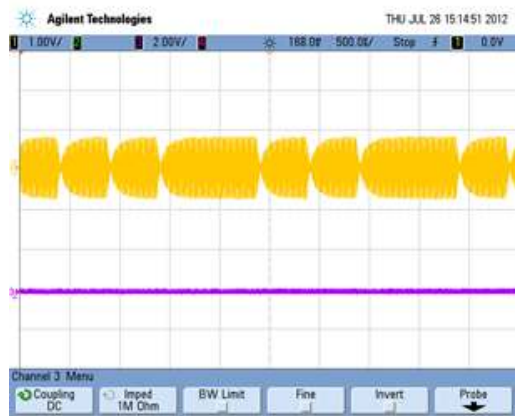


그림 9. 자기장 통신 송신부 구현



(a) 차동 신호



(b) BPSK 파형

그림 10. 자기장 통신 송신부 파형 측정

되는 차동 신호의 파형의 오실로스코프 결과이며, (b)는 Power Amp를 통해 안테나에서 BPSK 변조가 이뤄진 파형을 오실로스코프를 통하여 얻은 결과이다.

그림 11 및 그림 12는 자기장 통신 시스템의 수신부 파형을 측정된 결과이다. 그림 12의 (a)는 송수신 신호를 비교하기 위해서 송신 안테나 파형과 수신부 첫 번째 LNA 파형을 측정된 것이다. 안테나를 통해서 수신된 신호의 크기가 너무 작아 측정이 불가능하여 첫 번째 LNA 출력 파형을 측정하였다. (a)의 노란색 파형의 송신 안테나에서 측정된 것이고 보라색 파형이 첫 번째 LNA에서 측정된 파형이다.

그림 12의 (b)는 첫 번째 LNA 출력단과 두 번째 LNA 출력단의 파형을 측정된 것이다. 첫 번째 LNA는 외부에서 안테나를 통해 미약한 신호를 증폭하여 BPSK 변조된 신호를 보여주고 있으며, 두 번째 LNA는 수신된 신호의 세기가 작아서 복원하기 어려울 경우 신호를 추가적으로 증폭하는 역할을 한다. (c)는 LNA 최종 출력을 바탕으로 증폭 및 single to differential로 변환된 신호를 보여주고 있다. (d)는 MUX의 출력 파형을 보여주고 있는데 (c)의 두 신호가 MUX의 입력이 되어 출력은 두 입력된 신호가 합이 됨을 보여준다. (e)는 LPF 출력 파형을 보여 주고 있으며 MUX의 출력신호가 LPF의 입력 신호가 되어 (e)에서 보는 것과 같이 심볼(symbol) 형태로 노이즈 및 반송파 주파수가 제거되어 출력된다.

본 논문에서 구현한 자기장 통신 시스템의 측

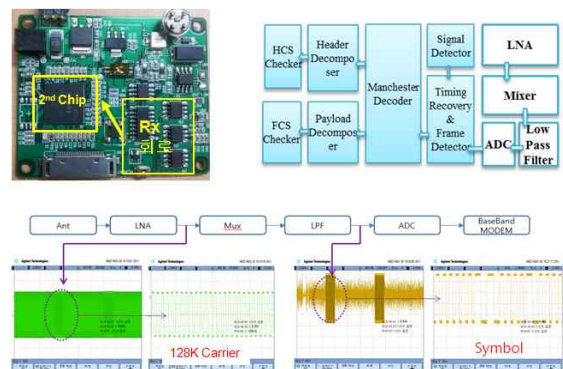


그림 11. 자기장 통신 수신부 구현

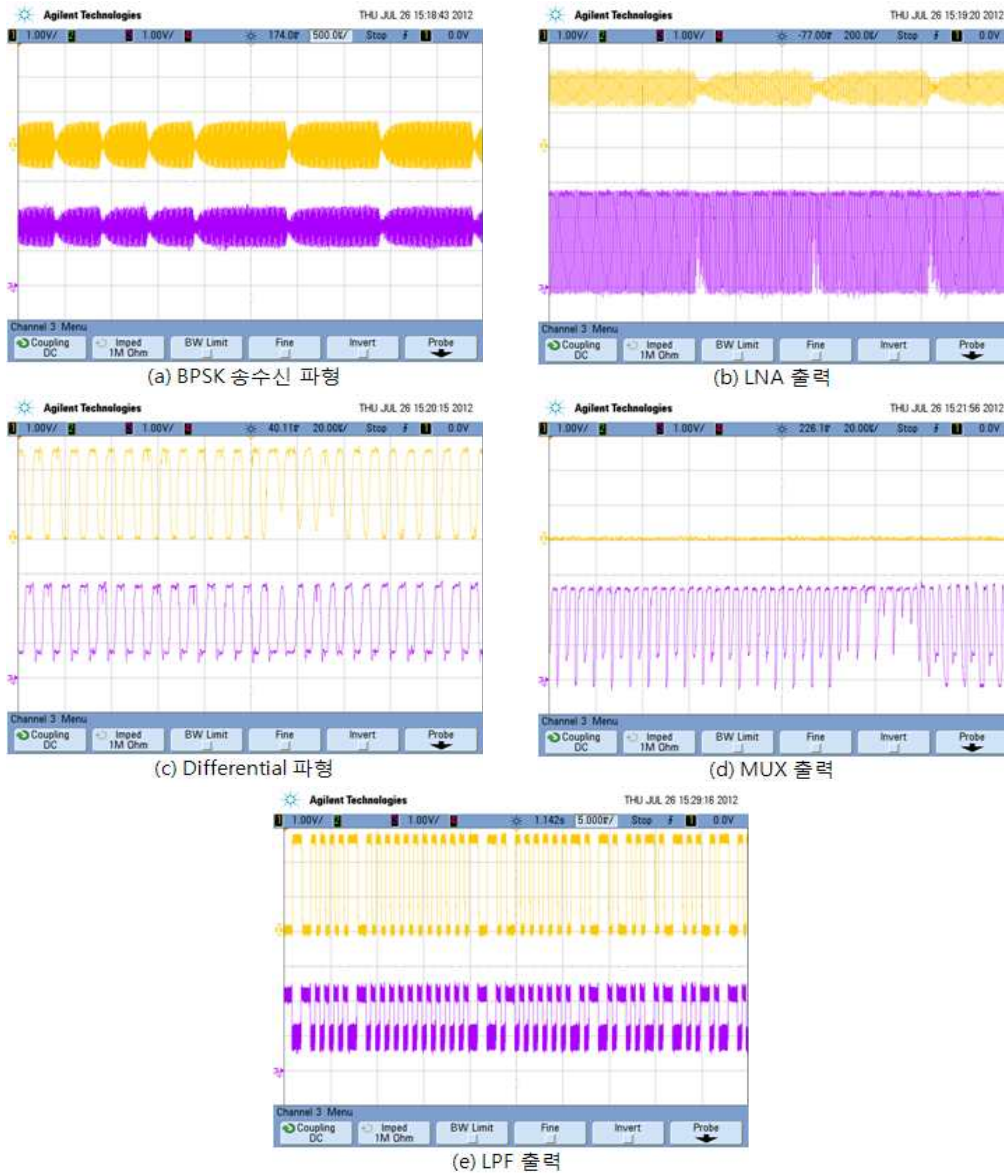


그림 12. 자기장 통신 수신부 파형 측정

정 환경은 그림 13과 같다. 거리 2m에서 비대칭의 송신단 안테나와 수신단 안테나를 이용하여

측정하였다.

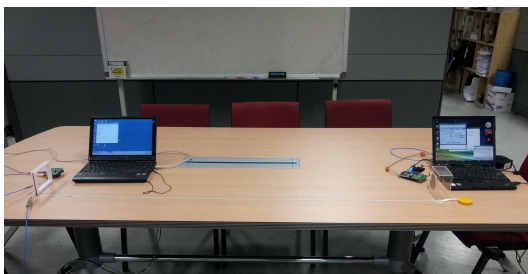


그림 13. 자기장 통신 시스템 측정 환경

5. 결 론

본 논문에서의 자기장 시스템에 적용되는 통신 SoC는 SMIC 0.18u CMOS 공정에서 구현하였다.

본 논문에서는 매질의 변화에 강한 특성을 갖고 있는 자기장 특성을 이용한 자기장 통신 시스템 구현 및 실험을 통한 검증으로 자기장 통신이

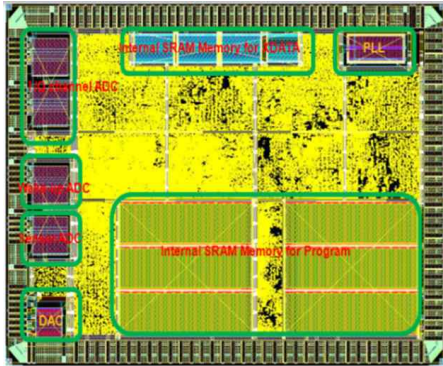


그림 14. 자기장 통신 SoC Layout

무선 센서 네트워크 구현 가능성을 보였다. 또한 본 논문에서 구현한 자기장을 이용하는 시스템은 최근의 주목받고 있는 무선전력전송기술에도 활용될 수 있다. 향후 자기장 통신을 지중 및 수중 등의 난환경에서 시설물 관리 시스템에 적용하여 진정한 유비쿼터스 사회 실현 가능성이 높일 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Schantz, H.G. "A near field propagation law & a novel fundamental limit to antenna gain versus size," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE, Vol.3A, pp. 237-240.

[2] Said M.Mikki, Yahia M. M. Antar, "Near-filed analysis of electromagnetic interactions in antenna array through equivalent dipole models," IEEE Trans. Antenna Propagat., Vol.60, pp. 1381-1389, Mar. 2012.

[3] Shao Keran, "A skin depth-independent finite method for Eddy current problems," IEEE Trans. Magnetics, Vol.22, pp. 1248-1250, Sep. 1986

[4] 임승옥, 강신재, "자기장통신기술 소개 및 표준화 동향," TTA Journal, No. 127.

[5] 김선희, 원윤재, 임승옥, "자기장 통신 네트워크의 에어 인터페이스 및 물리 계층 구현," 대한전공학회 하계종합학술대회, 2009. 07.

[6] ISO/ IEC 15149, "Telecommunications and information exchange between systems--Magnetic field area network (MFAN)"

[7] www.rubee.com



김 선 미

- 2001년~2005년 금오공과대학교 전자공학부 학사
- 2005년~2007년 금오공과대학교 전자통신공학과 석사
- 2008년~2011년 DS-Electron 선임연구원
- 2011년~현재 전자부품연구원 무선플랫폼센터 연구원
- 관심분야 : RFID, 자기장통신, 무선충전



임 용 석

- 1998년~2001년 고려대학교 전기전자전파공학 학사
- 2001년~2003년 고려대학교 전자공학 석사
- 2011년~현재 고려대학교 전자공학과 박사과정
- 2007년~현재 전자부품연구원 무선플랫폼센터 선임연구원
- 관심분야 : 통신 SoC설계, 자기장통신, 무선전력전송