

# 신기술 에 실

## 자기장 통신 시스템

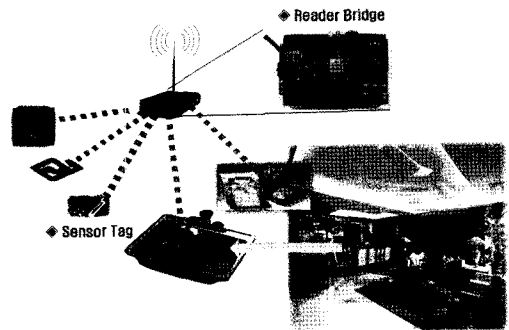
### 목 차

- 1. 서 론
- 2. 자기장통신 기술
- 3. 자기장통신 규격
- 4. 자기장통신 표준 동향
- 5. 결 론

원윤재 · 김선희 · 임승욱  
(전자부품연구원)

### 1. 서 론

눈사태, 폭풍우 등의 자연재해 감시, 지반의 침하나 산사태 등의 지중상태 관리, 지중에 설치한 파이프, 전선 등의 감시 및 관리, 건물 및 교각의 상태를 감시하고 부식상태의 점검, 수질 및 토양 오염 등의 환경오염 감시 등 센서 기반의 무선통신기술에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다. 하지만 기존의 고주파를 이용한 무선통신 시스템은 물, 흙, 금속 주변에서 무선 신호의 감쇄가 심하게 일어나서 신뢰할 만한 무선통신을 제공할 수 없다. 따라서 수중 및 지중에서 신뢰성 있는 무선 통신을 제공하기 위한 다양한 노력들이 진행되고 있다. 자기장 통신 시스템은 물, 흙, 금속 주변에서도 신호의 감쇄가 거의 없이 무선 통신 서비스를 제공함으로써 기존의 RFID(Radio Frequency Identification) 기술이나 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술의 한계점을 극복할 수 있는 시스템이 될 것으로 기대된다. (그림 1)은 자기장통신 시스템의 예로써 가정 내의 주방에서 유해균을 감지하는 센서와 자기장통신 융합 모듈을 통해 센싱된 데이터를 홈



(그림 1) 자기장통신 시스템의 예

(Home) 플랫폼에 전달하는 시스템을 나타낸 것이다.

### 2. 자기장통신기술

자기장통신기술은 자기장 영역을 이용한 무선 통신기술을 말한다. 자기장 영역이란, 전자계가 안테나로부터 분리된 후, 전자파가 되어 공간으로 전파되기 전까지의 거리를 말하는데, 안테나에서부터  $\lambda(\text{파장})/2\pi$ 까지의 영역을 일컫는다. 이 영역에서는 자기장의 세기가 전기장의 세기

에 비해 상대적으로 아주 강하기 때문에 전기장의 세기는 무시해도 괜찮고 따라서 이 영역은 자기장의 특성을 강하게 갖는다. 이와 같은 사실은 아래의 미소전류소에서 방출되는 전기장 및 자기장에 관한 맥스웰(Maxwell) 방정식을 통해 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H_{\theta} &= \frac{j\omega\mu_0 m \beta^2}{4\pi\eta_0} \left[ \frac{j}{\beta r} + \frac{1}{(\beta r)^2} + \frac{j}{(\beta r)^3} \right] \sin(\theta) e^{-j\beta r} \\
 H_{\phi} &= 0 \\
 H_r &= \frac{j\omega\mu_0 m \beta^2}{2\pi\eta_0} \left[ \frac{1}{(\beta r)^2} - \frac{j}{(\beta r)^3} \right] \cos(\theta) e^{-j\beta r} \\
 E_{\theta} &= 0 \\
 E_{\phi} &= \frac{-j\omega\mu_0 m \beta^2}{4\pi\eta_0} \left[ \frac{-1}{j\beta r} + \frac{1}{(\beta r)^2} \right] \sin(\theta) e^{-j\beta r} \\
 E_r &= 0
 \end{aligned}$$

(수식 1) 맥스웰 방정식

m은 다이폴의 자기장 모멘트(magnetic moment)를 나타내고, β는 2π/λ, μ<sub>0</sub>는 자유공간에서의 투자율, ω는 각주파수 r<sub>0</sub>는 자유공간에서의 임피던스(impedance)를 말한다. (수식 1)에서 확인할 수 있듯이 βr 이 1보다 작은 값을 갖는 근거리장 영역에서는 1/(βr)<sup>3</sup>이 수식의 중요한 값이 되어서 1/(βr)<sup>3</sup>을 포함한 H 필드(field)가 포함하지 않은 E 필드보다 상대적으로 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

다음으로는 자기장통신 시스템의 응용분야의 주된 환경인 물과 금속에서의 자기장 특징을 살펴보겠다. 전기장과 자기장의 물에서의 특성을 살펴보자면 전기장과 관련된 물의 유전율은 약 80 정도로써 공기의 80배가량이 되고 자기장과 관련된 물의 투자율은 약 1로써 공기와 거의 유사한 값을 갖는다. 따라서 물 주변의 환경에서의 전기장은 공기 중의 전기장에 비해 80배 정도 신호의 감쇄가 크게 생기는데 반해 자기장은 물 주변이나 공기 중이나 신호의 감쇄의 차이가 거의 없다. 전기장과 자기장의 금속에서의 특성을 살펴보면 우선 표면 깊이(skin depth)를 꼽을 수

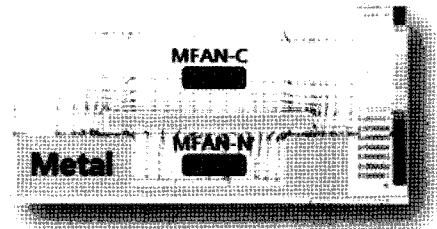
있다. 신호의 크기가 약 37%로 감쇄되는 금속의 깊이를 말하는데 주파수의 제곱근에 반비례 한다. 표면 깊이에 관한 식은 (수식 2)와 같다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{j\omega\mu\sigma}} \quad (\mu: \text{permeability}, \sigma: \text{conductivity})$$

(수식 2) 표면 깊이

표면 깊이는 투자율, 유전율, 및 주파수와 밀접한 관련을 가지고 있다. 전자기파를 이용한 통신 시스템은 무선 주파수 자원의 부족으로 수 GHz 대역을 사용하고 있는데 반해서 자기장통신 시스템은 수백 KHz의 저주파 대역을 사용하고 있다. 이는 자기장통신 시스템의 신호가 기존의 통신 시스템의 신호에 비해 1000배가량 더 깊숙이 금속을 통과할 수 있다는 점을 보여준다. 하지만, 전기장과는 달리 자기장은 금속표면에 맴돌이전류(Eddy current)라는 전류를 야기 시키는데 이는 유도한 자기장에 반하는 동작을 하여 신호의 자기 선속을 차단한다. 금속에서의 특징을 종합하면 전자기파를 이용한 통신의 경우 고주파를 이용할 경우 금속을 통과할 수가 없게 되고 자기장을 이용한 통신의 경우 표면깊이 외에 맴돌이전류에 의한 방해를 받지만 자기장의 특성상 금속에 약간의 틈이라도 있게 되면 금속 건너편으로 자기장 에너지를 전달할 수 있다. (그림 2)는 이와 같은 자기장의 특징을 보여준다.

Path of H-Field line around a MFAN-N encapsulated in metal



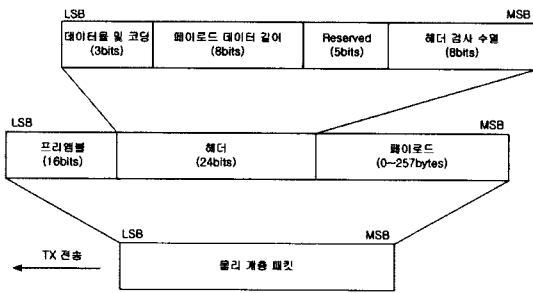
(그림 2) 자기장의 금속 주변 특성

자기장을 이용한 통신 기술은 루프 안테나를 이용하여 저주파 신호를 방출하여 자기장영역 내에서 통신을 하는 기술로써 자기장을 이용함으로써 물에서도 공기 중과 마찬가지로 무선 통신 성능을 제공하고 저주파 신호를 이용함으로써 금속에서도 기존의 전자기파 방식보다 더 우수한 무선통신 성능을 제공한다.

### 3. 자기장통신 규격

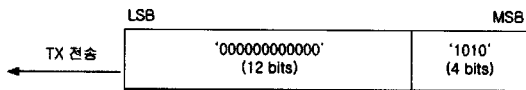
#### 3.1 물리계층 규격

물리계층 패킷 형식은 프리앰블, 헤더, 그리고 페이로드로 구성된다.



(그림 3) 물리 계층 패킷 형식

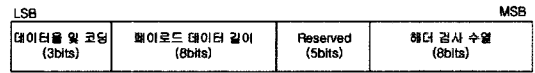
프리앰블은 16비트 수열로, 12비트 '0'과 4비트 10102로 구성되며, 수신단에서 패킷 동기, 심플 시간 조정 등의 목적으로 사용된다.



(그림 4) 프리앰블 영역 형식

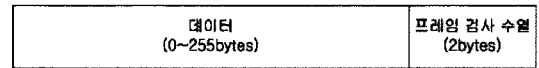
헤더는 데이터 및 코딩, 페이로드 데이터 길이의 2개의 데이터 영역과 8비트의 헤더 검사 수열로 구성된다. 데이터 및 코딩은 현재 패킷의 페이로드 영역에 적용된 데이터 및 코딩 방식을 명시하는데 데이터율은 1Kbps~8Kbps, 코딩 방법은 맨체스터 코딩(Manchester coding) 유무를 결정한다. 페이로드 데이터 길이는 현재 패킷 페이로드 데이터의 바이트 단위 길이로, 페이로드

데이터 길이는 최소 0 바이트에서부터 최대 255 바이트 범위 내에서 선택이 가능하다.



(그림 5) 헤더 영역 형식

페이로드는 실제 전송할 데이터와 이에 대한 오류를 검사하기 위하여 추가하는 프레임 검사 수열로 구성된다. 데이터의 길이가 0일 때는 프레임 검사 수열도 포함되지 않으므로 페이로드의 길이는 0~257바이트이다.

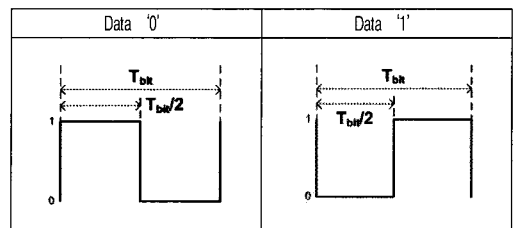


(그림 6) 페이로드 영역 형식

프레임 검사 수열은 16비트의 순회 잉여 부호를 사용하여 생성하는데, 페이로드 데이터 영역에 대하여 계산하며, 페이로드 데이터의 길이가 0이면 생성하지 않는다. 프레임 검사 수열은 다음 정의에 따라 계산한 뒤, 이를 다시 1's complement로 바꿔서 데이터 이후에 보낸다.

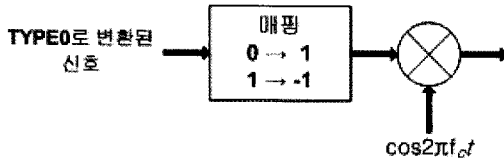
CRC Type	Length	Polynomial	Preset	Residue
ISO/IEC 13239	16bits	X16+X12+X5+1	0xFFFF	0x1D0F

맨체스터 코드는 각 비트 구간( $T_{bit}$ )의 중간에서 신호 레벨이 변하는 특징을 갖는다. 즉 데이터 비트가 '0'인 경우에는 레벨 '1'에서 레벨 '0'로 변하고, 반대로 데이터 비트가 '1'인 경우에는 레벨 '0'에서 레벨 '1'로 변한다.



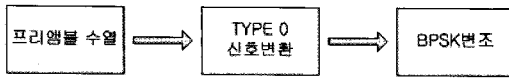
(그림 8) 맨체스터 코딩의 정의

자기장 통신 저주파 대역 무선 네트워크의 중심 주파수  $f_c$  는 128 KHz 이고 변조방식은 BPSK이다.

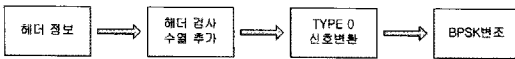


(그림 9) BPSK 변조도

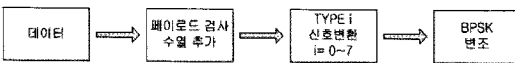
프리앰블 및 헤더는 Type 0 (1Kbps + Manchester coding) 방식으로 고정되어 있으며 페이로드만 헤더에 기록된 데이터를 및 코딩 방식을 적용한다.



(그림 10) 프리앰블의 코딩 및 변조 과정



(그림 11) 헤더의 코딩 및 변조 과정



(그림 12) 페이로드의 코딩 및 변조 과정

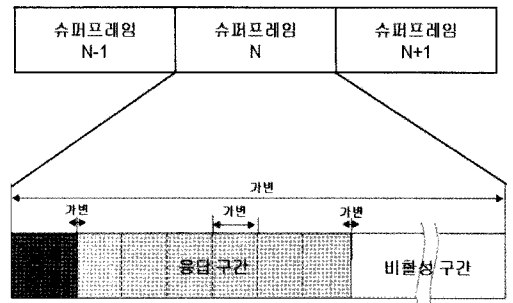
### 3.2 매체접근제어계층 규격

#### 3.2.1 네트워크 구성요소

네트워크를 구성하는 중요한 구성요소는 시간적인 요소와 물리적인 요소로 나누어 볼 수 있다. 시간적인 요소는 요청 구간, 응답 구간, 비활성 구간으로 구성되는 슈퍼프레임을 말하고 물리적인 요소는 코디네이터와 노드로 구성되는 네트워크를 의미한다. 물리적인 요소의 가장 기본이 되는 요소는 노드이다. 노드의 종류에는 네트워크를 관리하는 코디네이터와 네트워크의 구성 요소인 노드가 있다. 네트워크에서 제일 번

저 결정되어야 하는 노드는 코디네이터이며, 코디네이터가 요청구간에서 요청패킷을 전송함으로써 네트워크의 슈퍼프레임이 시작된다. 코디네이터는 통신 영역 안에 있는 노드들의 합류와 분리, 해제 및 송수신 구간을 관리하는 역할을 담당한다. 네트워크는 통신 영역 내에서 하나의 채널을 사용할 수 있으므로 하나의 네트워크만 존재한다. 네트워크 안에서 코디네이터를 제외한 나머지 디바이스는 노드가 된다. 코디네이터와 각 노드 간에는 1:1로 연결되어 있으며, 네트워크에 참여한 디바이스들은 그 역할에 따라 코디네이터와 노드로 나누지만, 모든 노드는 코디네이터 또는 노드의 역할을 할 수 있다.

네트워크에서 활용할 수 있는 시간적인 요소는 시간 분할 다중 접속 방식에서의 시간슬롯(Time Slot)이다. 코디네이터는 응답구간에서 데이터를 전송하는 노드의 그룹을 관리하고, 선택된 그룹의 네트워크 안에 있는 노드들에 의해 시간슬롯은 자율적으로 관리된다. 슈퍼프레임 구조는 요청 구간, 응답 구간, 비활성 구간으로 이루어지며 요청 구간과 응답 구간의 길이는 가변적이다. 슈퍼프레임은 코디네이터가 요청 구간에서 응답 요청 패킷을 전송함으로써 시작된다. 응답 요청 패킷에는 응답 구간 동안 응답 패킷을 전송할 수 있는 노드들에 대한 정보를 가지고 있으며, 노드들은 응답 요청 패킷에 있는 정보를 사용하여 응답 구간 동안 응답 패킷을 전송한다.

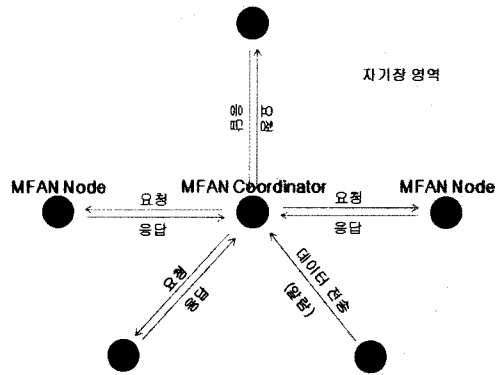


(그림 13) 슈퍼프레임 구조

- 요청구간 : 요청구간은 코디네이터가 응답구간 동안 응답 프레임을 전송하기 위한 노드들에 대한 정보를 가지고 있는 응답요청 프레임을 전송하는 구간이다.
  - 응답구간 : 응답구간은 코디네이터의 응답요청에 따라 노드가 응답 프레임을 전송할 수 있는 구간이며, 네트워크 안에 있는 노드의 개수에 따라 여러 개의 시간 슬롯으로 나뉘질 수 있다. 각 시간 슬롯의 길이는 응답 프레임의 길이와 수신확인 프레임의 길이에 따라 가변적이다. 슬롯 번호는 분할된 시간 슬롯의 순서에 따라 정해지며 각 시간 슬롯에서 전송할 노드는 코디네이터에 의해 할당된다. 코디네이터는 응답구간의 사용을 위해 특정 그룹에게 응답구간을 할당하고 할당된 그룹의 노드들은 응답 구간을 통해 자율적으로 데이터 프레임을 전송한다.
  - 비활성 구간 : 비활성 구간은 일정시간 동안 응답 패킷을 전송하는 노드가 없으면 시작되며, 코디네이터의 요청 없이도 노드들이 데이터를 전송할 수 있는 구간이다. 이 구간은 코디네이터가 요청 패킷을 송신하기 전까지 지속된다.
- 네트워크를 구성하는 물리적인 요소는 코디네이터를 중심으로 하는 스타 토폴로지 네트워크에서의 코디네이터와 노드이다. 코디네이터를 중심으로 각각의 노드들과 데이터를 전송할 수 있도록 네트워크를 구성하고 네트워크의 기본 구성 요소는 노드이다. 코디네이터는 네트워크 전체를 관리하고 하나의 네트워크 안에서 오직 하나만 존재하여야 한다. 코디네이터는 응답 요청 패킷을 모든 노드에게 동시에 브로드캐스팅함으로써 노드를 제어한다. 노드는 코디네이터의 통제에 따라 응답 패킷을 송수신하여야 한다. 네트워크는 (그림 14)와 같이 구성될 수 있다.
- 코디네이터 : 코디네이터는 네트워크를 관리하는 노드로써, 한 네트워크 안에 오직 하나만

존재하며, 응답 요청 패킷을 이용하여 노드를 관리하고 제어한다.

- 노드 : 노드는 코디네이터를 제외한 네트워크를 구성하는 노드로써, 한 네트워크 안에 최대 65,519개만큼 존재하며, 코디네이터가 보내는 요청 패킷에 의해 응답 패킷을 전송한다.



(그림 14) 네트워크 구조

### 3.2.2 프로토콜 동작 개요

네트워크의 슈퍼프레임은 요청구간, 응답구간, 비활성구간으로 나뉘지며 네트워크의 구성요소인 코디네이터와 노드가 각 구간에서 다음과 같이 동작한다.

- 요청구간에서의 패킷 전송 : 요청구간에서는 코디네이터가 전체 노드에게 응답 요청 패킷을 브로드캐스팅한다. 응답 요청 패킷을 수신한 노드들은 이를 토대로 응답 구간에 응답 패킷을 전송할 지 여부를 결정한다. 코디네이터는 응답구간에 전송할 노드의 그룹을 정할 수 있다.
- 응답구간에서의 응답 패킷 전송 : 응답구간에서는 코디네이터에 의해서 선택된 노드는 응답패킷을 전송할 수 있다. 노드가 응답구간을 통해 응답패킷을 전송하면 수신 받은 코디네이터는 응답 수신확인 패킷을 보낸다. 응답 수신확인 패킷을 받지 못한 노드는 코디네이터로부터 응답 수신확인 패킷을 받을 때까지 응

답 구간에서 각 시간 슬롯마다 계속해서 응답 패킷을 전송한다.

- 비활성구간에서의 데이터 패킷 전송 : 코디네이터가 특정 시간 동안 아무도 응답 패킷을 전송하지 않으면 비활성 구간이 되고 코디네이터가 요청 패킷을 전송하기 전까지 이 구간은 지속된다. 예외적으로 비활성 구간 동안 노드는 코디네이터의 요청 없이 데이터를 전송할 수 있다.

## 4. 자기장통신 표준 동향

### 4.1 국내 표준 동향

자기장통신 관련 표준화 및 양질의 서비스 제공을 위해 전자부품연구원, 한국건설기술연구원, 3ALogics, EC Technology, 우림건설, ADT 캡스 같은 연구원 및 기업들이 기술표준원과 TTA 등 국가 표준기관 및 학계와 연계하여 관련 포럼을 조직하여 활동 중에 있다. 2008년 10월 자기장통신 포럼을 구성하여 포럼활동을 시작했으며 자기장 통신 관련 인적 네트워크 구축 및 홍보 활동을 통한 국내 표준화 기반 구축, 국내 전문 위원회 구성 및 포럼활동을 통한 국가 표준안 도출, 각계의 의견수렴을 통한 표준의 투명성 확보 및 보급/확산, 및 국제회의 참석을 통한 국제표준화 동향 파악 및 네트워크 구축에 관한 업무를 진행 중에 있다. 자기장통신 포럼은 하나의 운영 위원회와 그 하부 조직으로 3개의 분과 위원회(기술, 표준, 응용 분과 위원회)로 구성되어 있다. 기술 분과는 주로 자기장통신 기술 개발, 표준 기고문 작성, 기술 동향, 특허 동향 파악 등을 담당하고 있으며 표준 분과는 국내 및 국제 표준화 활동 및 전문 인력 초청 세미나 개최 등을, 응용 분과는 자기장 통신 기술에 대한 시장의 요구 조사, 서비스 시나리오 작성 및 다양한 마케팅 전략 등에 대한 업무를 담당하고 있다. 자기장통신의 핵심 기술인 PHY/MAC 표준 기술 개발을

통해 센서 IT 융합 관련 분야 표준 모델을 제시하고 건설 및 가전, 농업, 교통 등 다양한 응용 서비스 분야에 접목할 수 있는 IT 융합 기술의 핵심 원천 표준화 기술을 확보할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 2009년 1월에 자기장 통신 관련 물리계층 요구사항과 매체접근제어 계층 요구사항에 대한 자기장통신포럼 표준을 완료하였고, 2009년 3월에 KS 표준 공시를 통해 2009년 12월에 KS 표준으로 제정이 되었다.

### 4.2 국제 표준 동향

자기장통신 관련 표준화 현황을 살펴보면, 2009년 6월 일본에서 열린 ISO/IEC JTC1 SC6 총회에서 자기장통신 기술 관련 기고문을 발표하였고 9월에 MFAN(Magnetic Field Area Network)이란 이름으로 NP(New Work Item Proposal)을 제출하였다. 3개월 간의 투표를 거쳐 2009년 12월에 일본, 중국, 독일 등 12개국의 지지를 얻어 국제표준 프로젝트로 채택되었다.

## 5. 결론

자기장통신 시스템은 센서 융합의 무선통신 분야에서 절실히 요구되는 기술로써 자기장 영역을 이용해 데이터를 전송함으로써, 물, 흙, 금속 주변에서 신뢰성 있는 통신 서비스를 제공할 수 있다. 또한 그 활용 분야의 특성상 저전력으로 동작해야 하므로 물리계층 및 매체접근제어 계층은 저전력 시스템에 적합하게 설계되었다.

자기장통신 관련 표준 규격은 국내 자기장통신 포럼의 활동을 통해 KS 표준이 제정되었고 ISO 국제표준화도 진행 중에 있다. 산, 학, 연, 관 등 상호 협력을 통한 자기장통신 관련 원천기술 개발 뿐 아니라, 국가 및 국제 표준화를 통해 국가 경쟁력을 향상시키고 센서IT 융합 관련 신시장 창출 및 세계시장 선점에 크게 기여할 것으로 기대된다.

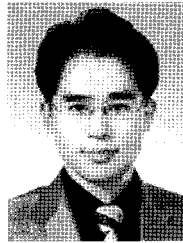
Acknowledgements

본 연구는 지식경제부의 “차세대 지능형 정보 전자핵심사업”의 지원을 통해 수행되었다.

참고문헌

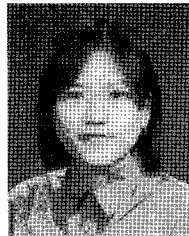
- [1] Andre Kurs, et al. "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", Science 317, 83 (2007).
- [2] Aristeidis Karalis, J.D. Joannopoulos, Marin Soljacic, "Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer", Annals of Physics 323 (2008), pp 34-48.
- [3] Yun-Jae Won, Shin-Jae Kang, Sun-Hee Kim, David Choi, and Seung-Ok Lim, "A Communication System Using Magnetic Fields", IEEE Wireless Vitae'09
- [4] Yun-Jae Won, Shin-Jae Kang, Sun-Hee Kim, David Choi, and Seung-Ok Lim, "Adaptive Detection Algorithms of Magnetic Wave Communication Systems for Sensor Networks in HARsh Environments", IEEE Wireless Telecomm Symposium 2009.

저자약력



원 윤 개

2000년 고려대학교 산업공학과(학사)  
 2002년 고려대학교 산업시스템공학과(석사)  
 2000년~2001년 (주)비클텍 기술이사  
 2002년~현재 전자부품연구원/선임연구원  
 관심분야 : 자기장통신, 무선충전, 센서네트워크, IT융합 시스템  
 이 메 일 : yjwon@keti.re.kr



김 선 희

2000년 이화여자대학교 전자공학과(학사)  
 2002년 이화여자대학교 정보통신학과(석사)  
 2002년~2005년 한국전자통신연구원/ 연구원  
 2005년~현재 전자부품연구원/선임연구원  
 관심분야 : 무선센서네트워크, 무선통신, 자기장통신  
 이 메 일 : elecsunny@keti.re.kr



임 승 옥

1997년 건국대학교 전자공학과(학사)  
 1999년 건국대학교 전자공학과(석사)  
 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(박사)  
 1999년~2000년 성미전자/연구원  
 2001년~현재 전자부품연구원/ 책임연구원  
 관심분야 : 무선센서네트워크, 무선통신, 자기장통신  
 이 메 일 : solim@keti.re.kr