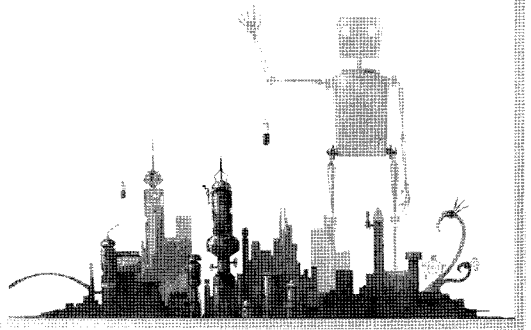


자기장통신기술 소개 및 표준화 동향

임승욱 | 자기장통신포럼 기술분과 위원장, 무선충전SIG 운영위원장,
전자부품연구원 통신네트워크센터 자기융합기술팀장
강신재 | 전자부품연구원 통신네트워크센터 자기융합기술팀 연구원



1. 머리말

무선통신기술에 대한 사회적인 수요가 늘어나고 통신기술이 점차 발전하면서 휴대폰, 위성통신, 무선 LAN 등의 다양한 적용분야에 통신기술이 사용되기 시작했다. 점점 통신기술에 대한 수요가 증가되고 다양해지면서 물과 흙 속의 환경에서 사용되는 시스템도 무선통신 기술을 요구하게 되었다. 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 등에 대한 요구가 사회적으로 끊임없이 요구되고 있다. 그러나 기존의 무선통신 기술은 전자기파를 이용한 통신 방식으로써 물속에서 신호의 감쇠가 심하게 일어나서 안정적인 무선통신을 제공할 수 없다. 또한, 지중에서도 토양이 수분을 흡수한 정도와 토양을 구성하는 구성입자들에 의한 다중경로에 의한 극심한 신호의 감쇠가 통신을 할 수 없을 정도로 일어난다. 이러한 난제에도 불구하고 수중 및 지중에서의 안정된 통신을 제공하기 위한 다양한 노력들이 진행되고 있다.

IEEE 802.15.4에서는 ZigBee 무선통신 방식에 기반을 두고 2.4GHz의 중심주파수 대역에서 250kbps의 전송속도를 제공한다. 시스템의 Latency는 40ms 이하이고 통신 반경은 약 25m 정도이다. 주로 사용되고 있는 분야로는 시설물 모니터링 및 관리, 산불 등 실시간 화재 감시, 수해 방지 및 감시, 휴전선 무인 감시, 스마트 오피스/빌딩 관리, 도로 환경 모니터링, 도시환경 통합 관리 시스템 등에 사용된다. 그러나 일정수준 이상의 안정적인 무선통신을 제공해 주지는 않는다.

또 하나의 노력으로는 IEEE 802.15.4a를 들 수 있는데 CSS/IR-UWB 무선통신 방식에 기반을 두고 첫 번째 방법과 마찬가지로 2.4GHz의 중심주파수 대역에서 1Mbps의 전송속도를 제공하고 10ms 이하의 Latency가 있다. 통신 반경은 약 200m 정도이고 사용되는 분야는 위치기반서비스, 화재 등의 재난시 인명구조, 노인/어린이/환자/경찰/소방관 등의 위치추적 및 작전수행용 통신 군용 장비 등에 사용된다. 땅과 물에 근접한 환경에서 서비스를 제공하고 있지만 정확하게 지중이나 수중에서 안정적인 무선통신 서비스를 제공하고 있지는 않다.

또 다른 방법으로는 음파를 이용한 수중 통신의 하나로써 UWASN을 들 수 있다. 10~55kHz의 중심주파

수 대역에서 100bps 이하의 전송속도를 제공하고 전송 거리는 500m 이하이다. 주된 응용분야는 환경 감시, 수중 화산 폭발 감시, 재난 방지, 선박 등의 항해보조 등이 있다. 음파를 이용해서 전자기파를 이용한 방법에 비해 수중에서 신호의 감쇠는 심하지 않지만 채널 상황에 의한 신호의 변화가 심하여 Latency를 쉽게 짐작할 수 없고 성공적으로 패킷을 받을 확률이 높지 않은 편이다. 또한 아주 낮은 전송속도만을 제공함으로 실생활에 유용하게 쓰일 수 있는 정보를 전달하기에는 부족하고 수중에 설치할 경우 배터리의 제한성으로 인해 사용에 많은 불편함이 따른다.

그 외에도 지진파를 이용한 통신으로 지중 수중 네트워크를 구성하는 노력도 있지만 대역폭이 매우 좁고 기존의 전자기파와 비교해서 상대적으로 파의 진행속도가 느린 편이며 원하는 신호를 지진파로 변환시키는 과정에서 극심한 에너지 소모가 따른다.

이와 같이 기존의 무선통신기술로는 열악한 성능을 제공하는 서비스 지역에서 자기장통신기술은 안정적인 무선통신이 가능한 기술로서 물, 흙, 금속 주변에서도 신호의 감쇠가 거의 없이 통신서비스를 제공함으로써 기존의 RFID(Radio Frequency Identification) 기술과 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술의 한계점을 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 자기장통신기술

자기장통신기술은 자기장 영역을 이용한 무선통신기술을 말한다. 자기장 영역이란 전자계가 안테나로부터 분리된 후 전자파가 되어 공간으로 전파되기 전까지의 거리를 말하며 안테나에서부터 λ (파장)/ 2π 까지의 영역을 일컫는다. 이 영역에서는 자기장의 세기가 전기장의 세기에 비해 상대적으로 아주 강하기에 전기장의 세

기는 무시할 수 있으며 이 영역은 자기장의 특성을 강하게 갖는다. 이와 같은 사실은 아래의 미소전류소에서 방출되는 전기장 및 자기장에 관한 Maxwell 방정식을 통해 확인할 수 있다.

$$H_{\theta} = \frac{i\omega\mu_0 m\beta^2}{4\pi\eta_0} \left[\frac{i}{\beta r} + \frac{1}{(\beta r)^2} + \frac{i}{(\beta r)^3} \right] \sin(\Theta)e^{i\beta r}$$

$$H_{\phi} = 0$$

$$H_r = \frac{i\omega\mu_0 m\beta^2}{2\pi\eta_0} \left[\frac{1}{(\beta r)^2} - \frac{i}{(\beta r)^3} \right] \cos(\Theta)e^{i\beta r}$$

$$E_{\theta} = 0$$

$$E_{\phi} = \frac{-i\omega\mu_0 m\beta^2}{4\pi\eta_0} \left[\frac{-1}{i\beta r} + \frac{1}{(\beta r)^2} \right] \sin(\Theta)e^{i\beta r}$$

$$E_r = 0$$

m 은 다이폴의 magnetic moment를 나타내고, β 는 $2\pi/\lambda$, μ_0 는 자유공간에서의 투자율, ω 는 각 주파수 η_0 은 자유공간에서의 impedance를 말한다. 수식에서 확인할 수 있듯이 βr 이 1보다 작은 값을 갖는 근거리장 영역에서는 $1/(\beta r)^3$ 이 수식의 dominant한 값이 되어서 $1/(\beta r)^3$ 을 포함한 H field가 포함하지 않은 E field보다 상대적으로 큰 값을 갖는 것을 확인할 수 있다.

다음으로는 자기장통신 시스템의 응용분야의 주된 환경인 물과 금속에서의 자기장 특징을 알아보겠다. 전기장과 자기장의 물에서의 특성을 살펴보자면 전기장과 관련된 물의 유전율은 약 80 정도로서 공기의 80배 가량이 되고 자기장과 관련된 물의 투자율은 약 1로써 공기와 거의 유사한 값을 갖는다. 따라서 물 주변의 환경에서의 전기장은 공기 중의 전기장에 비해 80배

정도 신호의 감쇠가 크게 생기는데 반해서 자기장은 물 주변이나 공기 중이나 신호의 감쇠 차이가 거의 없다. 전기장과 자기장의 금속에서의 특성을 살펴보자면 우선 skin depth를 꼽을 수 있다. 신호의 크기가 약 37%로 감쇠되는 금속의 깊이를 말하는데 주파수의 제곱근에 반비례한다. skin depth에 관한 식은 다음과 같다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (\mu: \text{Permeability}, \sigma: \text{conductivity})$$

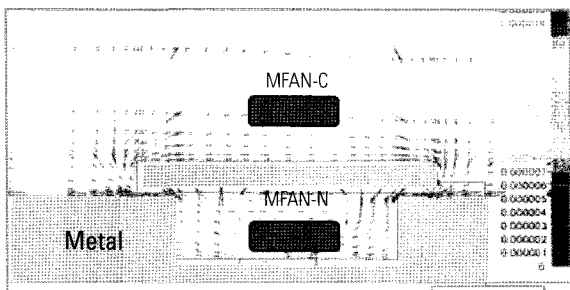
즉, skin depth는 투자율, 유전율, 및 주파수와 밀접한 관련을 가지고 있다. 전자기파를 이용한 통신 시스템은 무선 주파수 자원의 부족으로 수 GHz대역을 사용하고 있는데 반해서 자기장통신 시스템은 수백 KHz의 저주파 대역을 사용하고 있다. 이는 자기장통신 시스템의 신호가 기존의 통신 시스템의 신호에 비해 1,000배 가량 더 깊숙이 금속을 통과할 수 있다는 점을 보여준다. 그러나 전기장과는 달리 자기장은 금속표면에 Eddy current라는 전류를 야기시키는데 이는 유도한 자기장에 반하는 동작을 해 신호의 자기선 속을 차단한다. 금속에서의 특징을 종합하자면 전자기파를 이용한 통신의 경우 고주파를 이용하면 금속을 통과할 수가 없게 되고 (3MHz에서 38μm) 자기장을 이용한 통신의 경우 skin depth 외에 eddy current에

의한 방해는 받지만 자기장의 특성상 금속에 약간의 틈이라도 있게 되면 금속 건너편으로 자기에너지를 전달할 수 있다. [그림 1]은 이와 같은 자기장의 특징을 보여준다.

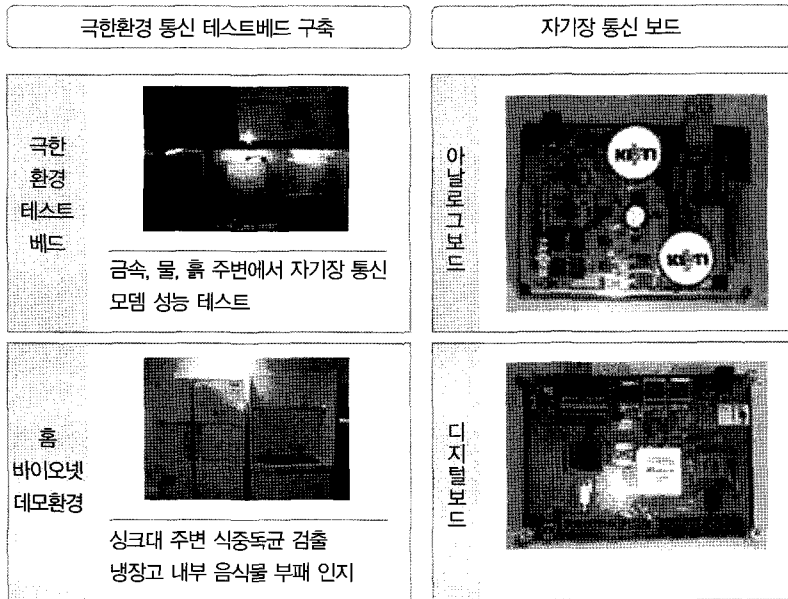
자기장을 이용한 통신 기술은 current loop 안테나를 이용하여 저주파 신호를 방출해 자기장영역 내에서 통신을 하는 기술로써 자기장을 이용해 물에서도 공기 중과 마찬가지로의 통신성능을 제공하고, 저주파 신호를 이용해 금속에서도 기존의 전자기파 방식보다 더 우수한 통신성능을 제공한다. 안테나를 제외한 통신시스템의 나머지 송수신기 부분은 기존의 통신 방법과 유사하다. 다만, 주로 응용될 분야를 고려하면 수중, 지중, 건물 속에서 주변 상황을 모니터링할 MFAN-Node(Magnetic Field Area Network)들은 쉽게 배터리 교체가 이루어지지 않는다는 점을 고려해서 low complexity를 갖는 송수신기를 설치해 저전력 소비에 초점을 맞추고 구현해야 한다. 현재 전자부품연구원에서는 극한환경에서의 통신서비스 제공을 위해 테스트 베드를 구축하고 자기장 통신 보드를 설계 및 제작하여 실험 중에 있다.

3. 인체유해성 연구

기존의 전자기파를 이용한 통신은 인체유해성에 대한 연구가 많이 진행되어 왔고 국내외로 어느 정도 체계화 된 규격이 잡혀있는 상황이다. 기존에 의료기기 및 센서용으로 자기장이 쓰이고 있긴 하지만 무선 데이터 통신에서 저주파의 자기장을 이용하는 기술은 처음 고안하고 있기에 다각도에서 인체유해성에 대한 고찰이 필요하다. 현재 전파연구소에서 제정한 저주파 자기장 관련 인체보호기준은 다음과 같다. 제3조 전신노출에 대한 전자파강도기준에 일반인에 대한 전신노출과 직업인에 대한 전신 노출에 대해 언급이 되어 있다. 관심대역인 150kHz 미만의 대역에 대해서는 직업인의



[그림 1] Path of H-Field line around a MFAN-N encapsulated in metal



[그림 2]

경우 약 12A/m로 규정이 정의되어 있고 일반인의 경우 5A/m로 규정이 정의 되어 있다. 현재 자기장통신기술이 고려하고 있는 응용분야는 주로 지중, 수중, 그리고 건물 속인 점을 생각해보면 조금 더 여유로운 규정에 대해서도 고려해보고 다양한 시나리오 속에서 실험과 검증을 통해서 인체에 해를 끼치지 않는 범위 내에서 최대한 시스템이 용도에 맞는 성능을 낼 수 있는 규정의 재정립이 필요한 실정이다.

4. 표준화 동향

4.1 자기장통신기술의 포럼 및 국내 표준화 활동

현재 국내에서는 자기장통신기술의 표준화 및 양질의 서비스 제공을 위해 전자부품연구원, 한국건설기술연구원, 3Alogics, EC Technology, 우림건설, ADT 캡스 같은 연구원 및 기업들이 기술표준원과 TTA 등 국가표준기관 및 학계와 연계하여 관련 포럼을 조직하여 활

동 중에 있다. 2008년 10월 자기장통신포럼을 구성해 포럼활동을 시작했으며 자기장통신 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, 국제회의 참석을 통한 국제표준화 동향 파악 및 네트워크 구축에 관한 업무를 진행 중에 있다. 자기장통신포럼은 하나의 운영 위원회와 그 하부 조직으로 3개의 분과 위원회(기술, 표준, 응용 분과 위원회)로 구성되어 있다. 기술 분과는 주로 자기장 통신 기술 개발, 표준 기고문 작성, 기술 동향, 특허 동향 파악 등의 업무를 담당하고 있다. 표준 분과는 국내 및 국제 표준화 활동 및 전문 인력 초청 세미나 등의 업무를 담당하고 응용 분과는 자기장통신기술에 대한 시장의 요구 조사, 서비스 시나리오 작성, 및 다양한 마케팅 전략 등에 대한 업무를 진행 중에 있다.

포럼이 예상하는 기대효과는 크게 기술적 효과와 경제적 효과로 나누어 볼 수 있다. 기술적 효과로는 제약된 전송거리가 단점인 RFID와 주된 응용분야가 수중이나 지중 등으로 기존의 통신 방식으로 안정적인 통신을 제공하기가 힘든 USN 영역의 단점들을 보완해 USN 환경에서 상대적으로 안정적 통신 서비스를 제공하고 RFID가 사용되는 응용분야에서도 더욱 증가된 통신거리로 인하여 다양한 서비스를 제공할 수 있는 기술적 효과를 줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한 자기장 통신의 핵심 기술인 PHY/MAC(Physical/Medium Access Control) 표준화 기술 개발을 통해 관련분야 표준 모델을 제시하고 건설 및 가진, 농업, 교통 등 다양한 응용 서비스 분야에 접목할 수 있는 IT 융합 기술의 핵심 원천 표준화 기술을 확보할 것으로 전망된다. 경제적 효과는 자기장 통신 표준화 주도를 통한 표준화 연계 글로벌 신 시장 육성 및 시장 선점 기회를 제공하고 2013년 1,705억 달러에서 2018년 6,000억 달러 정도로 예상 되는 관련 시장에서의 경쟁력 확보를 기대한다. 또한 관련 기술의 방향성 제시를 통한 기업의 중복투자를 방지하고 기업 참여 유도를 통한 시장 요구기술 표준 제정에 의해 기업의 기술변화에 따른 시장 적응력 향상을 기대한다.

현재 포럼에서는 자기장통신기술 관련 국내 표준화 활동을 활발히 진행 중이다. 2009년 1월에 자기장통신 관련 물리계층 요구사항과 매체접근제어 계층 요구사항에 대한 포럼 표준 개발을 완료하고 2009년 3월에

KS 표준에 공시를 하여 2009년 12월에 KS 표준 2건이 제정이 되었다. 2009년 8월에는 TTA에서 과제로 채택이 되어 표준 개발이 현재 진행 중에 있다.

4.2 자기장통신기술의 국제 표준화 활동

자기장통신포럼은 국제 표준화 활동 또한 적극적으로 진행하고 있다. 2009년 6월 일본에서 열린 ISO/IEC JTC1 SC6 WG1에 자기장 통신 기술 관련 Magnetic Field Area Network(MFAN)이란 타이틀로 NP(New Work Item Proposal)를 제안하였고 2009년 12월에 많은 소속국가들의 지지와 동의 하에 국제표준 NP로 채택이 되었다. 현재 다음 단계로써 WG1(Working Group1) 내의 회원국들의 대표들과 자기장통신 관련 WD(Working Draft)를 진행 중에 있다. 남은 국제 표준화 과정을 주도적으로 진행하여 자기장통신기술 관련 국내 및 국제 표준화 방향을 리딩하고 동시에 지적재산권 확보를 통해 로열티를 확보하는 것을 목표로 자기장 통신 포럼은 표준 업무를 계속해서 주도적으로 진행하고 있다. ISO/IEC JTC1 SC6는 전기 통신 및 시스템 간 정보교환(Telecommunications and Information Exchange Between Systems)에 관한 표준 작업을 담당하는 분과위원회로서 전기통신 및 개방시스템 상호접속(OSI: Open Systems Interconnection)에 대하여 수송서비스(Transport service)를 위한 4개 계층(Layer)에 대한 표준화를 추진하고 있고 WG4에서 RFID 기술 표준화 추진 중에 있다. <표 1>은 각 WG에서 진행하고 있는 업무를 요약한 것이다.

<표 1>

워킹그룹	워킹그룹명	업무
WG1	Physical &Data Link&Layers	OSI 데이터 연결계층의 서비스와 프로토콜
WG7	Network &Transport Layers	OSI 망계층/수송계층의 서비스와 프로토콜
WG8	Directory	OSI 디렉토리 서비스 및 프로토콜
WG9	ASN.1 &Registration	OSI 등록 프로시저 스펙 및 코딩 규칙

5. 맺음말

현재 사람들의 활동 및 가시영역 밖에는 상하수도관 및 전선 등의 다양한 설비들이 운영되고 있고 이런 시설들의 관리는 현실적으로 미흡하다. 상하수도관을 예를 들어보면 물이 목적지까지 도착되기 전에 땅속으로 새어나가는 양이 시점을 기준으로 약 50%가 넘는다고 한다. 그러나 정확히 어디에서 물이 새는지에 대한 여부를 판가름하기가 쉽지 않다. 이런 시설들에 대한 효율적인 관리를 목표로 삼고 있는 것이 바로 자기장통신기술이다. 기존의 통신기술들은 데이터를 전자기파에 실어서 보내지만 전자기파는 수분에 의한 신호세기의 감쇠, 토양 속의 다양한 입자들에 의해 겪게 되는 다중 경로에 의한 감쇠 등의 이유로 안정적인 통신 서비스를 제공하지 못한다. 반면에 자기장통신기술은 데이터를 수중이나 지중 또는 건물 속에서 쉽게 접할 수 있는 물질들에 의해 심각한 신호의 방해받지 않는 자기장에 실어서 보내기에 상대적으로 안정적인 통신 서비스를 제공할 수 있다. 또한 자기장 통신 기술은 응용분야를 고려하여 저전력 소비를 우선적으로 고려하여 물리계층 및 매체접근 계층 등의 시스템을 구축하고 있다. 자기장통신포럼 활동을 통해서 이미 국내외에서의 자기장통신기술에 대한 수요를 확인했고 현재 많은 관심 속에서 주도적으로 자기장통신기술에 대한

표준을 진행하고 있다. 산학연관의 더욱 지속적인 관심과 지지 하에 자기장 통신 기술 관련 지적재산권과 연계된 국가 및 국제 표준화를 통하여 국가 경쟁력 제고 및 세계시장 선점을 위한 표준화 활동 활성화가 필요하다.

[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] www.wirelesspowerconsortium.com
- [4] Yun-Jae Won, Shin-Jae Kang, Seung-Ok Lim, Sun-Hee Kim, and David Choi, "A Communication System Using Magnetic Fields", IEEE Wireless Vitae' 09.
- [5] Yun-Jae Won, Shin-Jae Kang, Seung-Ok Lim, Sun-Hee Kim, and David Choi, "Adaptive Detection Algorithms of Magnetic Wave Communication Systems for Sensor Networks in HARsh Environments", IEEE Wireless Telecomm Symposium 2009.
- [6] Digital Communications, John Proakis, McGraw-Hill, 2000. **TTA**