

무선 충전을 위한 에너지 전송 기술 및 통신 기술 분석

김선희* · 이승준** · 황규성***

1. 서 론

세계 이동통신 가입률은 100%대에 근접하고, 이동통신 서비스 중 데이터를 비롯한 비음성 서비스는 약 30~40%에 이르고 있다[1]. 우리나라의 경우에도 전체 모바일 데이터량이 약 5,600 TB에 이르며, 그 중 멀티미디어 트래픽이 전체의 약 70%를 차지하고 있다[2]. 뿐만 아니라 2012년 한 해에 전 세계 팔린 모바일 장치-모바일폰, 노트북, 카메라 및 캠코더, 태블릿, 무선 헤드셋 및 TV를 비롯한 소형 가전- 수는 약 50억개로 전 세계 인구 수와 엇비슷하다[3]. 이는 이동통신을 비롯한 각종 데이터 및 멀티미디어 모바일 단말기의 사용이 일상화되고 있음을 보여준다.

모바일 단말기의 장점은 무엇보다도 작고 가벼워 사용자가 휴대하기 쉽다는 점이다. 그런데, 이와 같은 장점을 유지하기 위해서는 현재 사용자가 지속적으로 배터리를 교체해주거나 혹은 유선 충전을 해야하는 번거로움이 있다. 그래서 최근 몇

년 사이 사용자의 편의성을 증대시키기 위하여, 무선으로 에너지를 공급 및 저장하는 기술에 많은 관심과 투자가 이루어지고 있다[2-5].

본 논문에서는 현재 진행되고 있는 무선 에너지 전송 기술들을 설명한다. 그 중에서도 기술적, 상업적으로 모바일 단말기에 적용하기 적합한 무선 주파수 에너지 방법에 중점을 두어, 해당 기술들의 표준화 동향도 살펴본다. 이어서 무선 에너지 전송 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 통신 기술을 설명하고 결론으로 마무리 하겠다.

2. 무선 에너지 전송 기술 동향

2.1 무선 에너지 전송 방법

모바일 장치의 무선 에너지 전송을 위하여 연구되고 있는 방법을 살펴보면, 에너지원에 따라 환경 자원 에너지, 기계적 에너지 및 무선 주파수 에너지 등이 있다. 그린 에너지 개념에서 관심을 받고 있는 환경 자원 에너지 중에서는 태양 에너지와 열에너지에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[6,7].

태양 에너지를 이용한 기술은 photovoltaic (PV) 셀을 이용하여 DC 전압으로 바로 변환이 가능하며, 비교적 파워 밀도가 높다는 장점이 있다. 그래서 주로 USN 센서 네트워크 노드 혹은

※ 교신저자(Corresponding Author): 황규성 주소: 경북 경산 하양읍 경일대학교(712-701), 전화: 053)850-7289, E-mail: kshwang@kiu.ac.kr

* 이화여자대학교 전자공학과 박사과정

(E-mail: happysunny@ewhain.net)

** 이화여자대학교 전자공학과 정교수

(E-mail: slee@ewha.ac.kr)

*** 경일대학교 컴퓨터공학과 조교수 (교신저자)

※ 이 논문은 이화여대 GlobalTop5, "미래형임상치료를위한 의생명전자공학시스템융합연구" 지원을 받아 수행된 연구임.

모바일 단말 장치를 타겟으로 개발되고 있다. 그러나 날씨 뿐 아니라 하루 중 시간에 따른 세기 변화 등 간헐적인 특성 때문에 현재까지는 독립된 에너지원으로 사용되지 못하고 다른 에너지 전송/저장 방법과 함께 사용되고 있다[8,9].

열 에너지를 이용한 기술은 열전발전기(Thermoelectric Generator)를 사용하여 두 개의 다른 물질에서 온도차가 발생하면 전류가 발생하는 현상을 이용한 것으로, 토양과 대기 간의 온도차를 이용하는 것이 대표적이다. 이 기술은 작은 온도 변화에 대한 낮은 효율성 및 낮은 전압이 문제로 남아 있다. 최근에는 초저전력을 요하는 임플란트 블 의료기기에서 인체 온도를 이용한 에너지 저장 방법이 연구되고 있다[10,11].

압전 소자(Piezoelectric)나 혹은 전자 유도형 변환기(electromagnetic transducers)를 이용하여 기계적 진동을 전기 에너지원으로 변환하는 기술도 있다. 예를 들어, 압전체가 부착된 신발을 신고 움직이면 이를 통하여 에너지가 저장된다[12]. 손목 시계에 부착된 자성 회전자(rotor)로부터 손목을 움직일 때마다 코일에 기전력을 생성시켜 에너지를 생성하기도 한다[11]. 이처럼 사람 및 동물의 움직임으로부터 에너지 수집이 가능하다는 것이 특징이다. 하지만 압전소자는 패키징 된 후 성능이 급격히 낮아지며, 전자 유도형 변환기는 발전을 위한 장치의 무게 및 사이즈 때문에 대부분 실험실 수준에서 이루어지고 있다[5].

무선 주파수 에너지 방식은 전자기파 방식과

자기장 방식으로 나눌 수 있으며, 자기장 방식의 경우 자기 유도 방식과 자기 공진 방식이 주로 논의되고 있다.

전자기파 방식은 에너지 송신 장치에서 안테나를 이용하여 전자기파를 방사시키면, 에너지 수신 장치에서 안테나를 이용하여 에너지를 수신하는 방식이다. 안테나는 그 크기가 에너지 전송 신호 파장의 1/2 내지 1/4이 될 때 방사 효율이 높다. 따라서, 전자기파 방식 에너지 송수신 장치는 실제적으로 안테나 구현이 쉬운 UHF 대역 이상의 주파수를 사용한다. 수신되는 에너지의 양은 송신 에너지의 양, 송수신기 안테나 간의 거리, 수신기 안테나의 크기 및 효율, 그리고 에너지 전송에 사용된 주파수 등에 의하여 결정된다[13].

POWERCAST의 P2110-EVAL-01 Power Development Kit는 3W, 915MHz 에너지 전송 장치와 6dBi 방향성 안테나를 가진 에너지 저장 장치로 구성이 된다. 최소 10m, 최대 25m 내외에서 에너지를 충전할 수 있으며[그림 1] 대략 850MHz 이상의 대역에서 동작이 가능하다. 주로 무선 센서 네트워크나 저전력 모바일 장치 등에서 사용된다[13].

Japan Aerospace Exploration Agency에서는 active integrated phased array antenna(AIPAA).

[그림 2.a]와 rectenna array[그림 2.b]를 사용

표 1. 에너지 저장 방법에 따른 전력 밀도 [6]

Method	Power Density
Solar Cells	15mW/cm ³
Piezoelectric	330uW/cm ³
Vibration	116uW/cm ³
Thermoelectric	40uW/cm ³

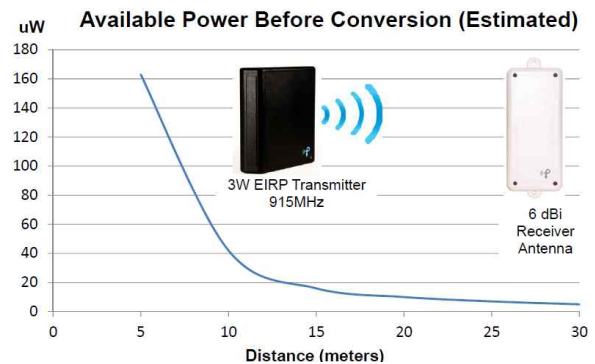


그림 1. 거리에 따른 수신 에너지 [13]

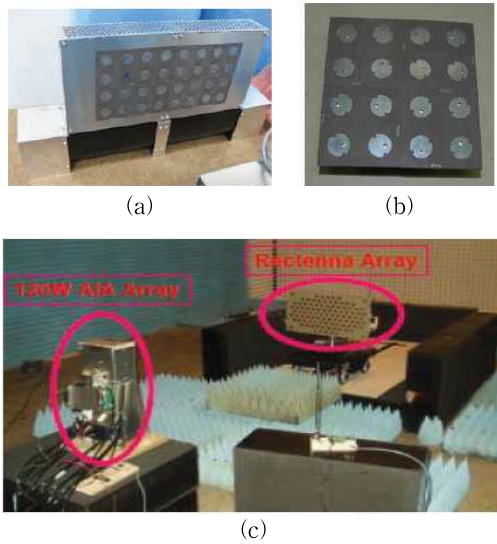


그림 2. (a)AIPAA (b)rectenna array (c) rover 테스트 환경 [14]

하여 5.8GHz 대역의 Wireless Communication and Power Transmission (WiCoPT)를 선보였다. 약 2.5m 이내에 있는 rover에 에너지를 전송하기 위하여, 전송 에너지는 최대 10W, 평균 4W 정도를 사용하였다[14]. 고출력 전자파 빔을 이용한 에너지 전송은 rover 뿐만 아니라 지상으로부터 에너지를 공급받는 충전 비행기, 우주에서 태양 에너지를 수집하여 지상으로 보내는 태양 발전(space solar power) 등이 있다[15].

전자기파 방식은 안테나는 그 배열에 따라 방향성 및 무방향성 방사가 가능하기 때문에 고정형 뿐만 아니라 이동형 기기에서도 적용이 가능하다 [2]. 한편으로는 무방향성 방사로 인하여 불필요한 공간으로도 에너지가 퍼져나가는 문제점도 있다. 중/장거리에 에너지 전송이 가능하기 때문에 다양한 분야에서 사용될 수 있으나, 상대적으로 거리 증가에 따라 에너지 전송 효율이 낮아지는 현상을 감수해야 한다[4].

전자기 유도 방식은 에너지 전송기의 코일에 교류 전류를 흘리면 코일 주변에 자기장이 형성되는데, 형성된 자기장 내에 수신기의 코일을 두어

수신기 코일에 전류가 유도되게 하는 방법이다 [16]. 일반적으로 수cm 이내의 거리에서 송수신기 코일을 접촉하여 수 W의 전력을 전송하는 방식으로 수백 kHz 혹은 수백MHz의 주파수를 사용한다. 에너지 전달 거리는 송수신 간의 거리, 송신기 코일에 흐르는 전류 세기 뿐만 아니라 송수신기 코일의 크기, 감은 수 그리고 코일 간의 방향에 의하여 결정된다[17].

전자기 유도 방식 에너지 송수기 기술은 무선 면도기, 전동칫솔 등에서 이미 상용화되었으며, 스마트카드를 비롯하여 물류 및 관리 시스템에서 활발하게 사용되고 있다. 에너지 송수신 기술의 향상으로 2010년 CES에서 PowerMat[18]가 휴대 단말 장치에 무선 충전 솔루션[그림 3]을 선보인 이후, 한림포스텍, LS전선[19][그림 4.a] 등에서도 제품을 내놓기 시작하였다. 이 제품들은 충전용 패드와 휴대폰 커버로 구성되어, 휴대폰에 커버를 씌우고 패드에 올려놓으면 휴대폰 충전이 된다. 그런데 자기 유도 방식은 송수신기 코일 간 방향에 따라 전송 효율의 차이가 발생하므로, 단말기를 충전용 패드 위에 올려놓았을 때 자동으로 최적의 단말기 위치를 찾아주는 기술에 대해서도 함께 연구가 진행된다. [17] 최근에는 iPad 및 NTT도코모/LG 스마트폰[20][그림4.b]에 무선 충전 기술을 적용하여 별도의 커버 없이 충전이 가능한 제품이 시연되었다.

전자기 유도 방식은 삽입형 의료 장치에도 꾸



그림 3. CES 2010 Powermat Booth [18]



그림 4. (a) LS전선의 아이폰4용 커버 (b) LS전선의 아이폰4용 무선충전솔루션 (c) LG전자의 옵티머스2 LTE, WPC 충전 기능 내장 [19, 20]

준히 이용되고 있다. MHz 대역 이하의 주파수가 인체 조직에서 흡수율이 낮아서, 더 안전하고, 더 높은 전송 효율을 획득할 수 있는 것으로 알려져 있기 때문이다. 또한 인체 내 에너지를 이용하는 다른 에너지 변환/저장 장치에 비하여 상대적으로 크기가 작으며, 자기장이 인체 매질의 특성 및 매질 변화에 대하여 거의 영향을 받지 않아서 수술 후 임플란트 된 의료 기기와 외부에서 양방향 통신이 가능하다는 특징 때문이다[11,21,22].

자기 공진 방식은 유도 방식과 마찬가지로 코일을 이용하여 루프 안테나를 구성하되, 인덕티브한 코일 뿐 아니라 커패시티브한 소자(혹은 구조)를 연결하여 LC 공진체를 구성한다. 이를 이용하면 자기 에너지가 송수신 공진체 사이에 집중되면서, 공간으로 복사되는 에너지는 감소하고 에너지 전달 거리는 증가하게 된다[4]. 즉, 자기장의 특성을 유지하면서 송수신 거리를 확장함으로써 자기 유도 방식의 단점 중 하나였던 거리 문제를 개선하였다. 하지만, 자기 유도 방식에 비하여 먼

거리에 에너지를 전달해야 하므로 에너지 손실 및 효율 감소 문제와 인체 영향을 고려해야 한다. 또, 공진체 간의 에너지 전달 효율은 공진체 간의 거리 및 주변 공진체의 여부에 의하여 변화가 크기 때문에, 실시간으로 공진체를 조절하는 기법이 필요하다.

WiTricity[23]는 자기 공진 방식의 가능성을 제시하였던 MIT 공대 Marin Soljačić 교수 연구팀에서 창업한, 자기 공진 방식의 대표 기업이다. CES 2009에서 이미 TV와 프로젝터, 노트북, 그리고 믹서 등의 가전 기기에 자기 공진 방법을 적용한 무선 전력 전송을 선보였다. 이후 에너지 전송 장치와 수신 장치 사이에 공진 리피터를 두어 릴레이처럼 에너지가 전달되게 함으로써 에너지 전송 거리를 확장하였다. 또 응용 분야도 다양화하여 Audi의 차량에 무선 충전을 적용하고 있으며, IHI Corporation, Mitsubishi Motors Corporation와 함께 전기 차량용 무선 충전 시스템 연구를 진행하고 있다.

LS전선도 자기 공진 방식을 적용하여 TV나 LED 스탠드 등을 최대 2m까지 전송하였으며, 이 기술을 아파트와 공공 건물 등 빌트인 시장 공략 중이라고 발표하였다[24][그림 6]. 삼성전자는 갤럭시S3 LTE 모델에 자기 공진 유도 방식을 적용하여 제품을 출시함으로써, 세계 최초로 휴대폰/스마트폰을 위한 자기 공진 방식 무선충전 솔루션을 상용화하였으나 무선 충전 패드 판매는 미뤄진



그림 5. WiTricity 기술의 응용 개념도[23]



그림 6. LS 전선의 자기공진방식 시제품 [25]

것으로 알려졌다[25].

2.2 무선 에너지 전송 표준 동향

무선 에너지 전송 국제 표준의 대표 기구인 Wireless Power Consortium(WPC)[26]는 2008년 12월 8개의 업체가 참여하여 첫 회의를 시작한 이후 현재 TI, 듀라셀, 필립스, 로움, 한림포스텍 등 약 100여개의 업체가 멤버로 참여하고 있다[그림 7]. 2009년 8월 자기 유도 방식에 기반을 둔 휴대폰 충전용 Qi Low Power (5~6W) 스펙을 제정하였으며, 3개의 파트 - 인터페이스, 성능요구조건, 인증시험-로 구성되어 있다. 2009년 9월에 이를 모두 만족하는 휴대 단말기 무선 충전 제품을 처음으로 인증하였으며 2012년 7월에 100번째 Qi 인증 제품이 나왔다. 현재는 전기 스탠드,



그림 7. WPC 멤버 [26]

전기보온밥통에서부터 냉장고, TV등에 적용할 수 있는 Medium Power (30~120W)에 대한 표준화 작업을 진행하여 V0.9까지 진행되고 있다.

미국의 Consumer Electronics Association (CEA)에서는, 2010년 12월에 R6.3 “Wireless Power Subcommittee”를 설립하여, 2011년 10월 CEA-2042.1 “Wireless Power Glossary of Terms” 표준을 발표하였다. Fulton, Intel, Qualcomm 등의 업체가 참여하고 있으며, 인체 유해성 및 EMI, 무선전력전송효율 그리고 자기 유도형 및 공진형에 대한 표준을 함께 추진하고 있다[27].

ISO/IEC JTC1 은 2011년 6월에 무선 충전을 위한 인큐베이터 그룹을 설립한 후 SC6 “Telecommunications and information exchange between systems”를 통해 PWI를, 그리고 2011년 10월에 NP “PHY and MAC Layer Protocol of In-band Control for Wireless Power Transfer” 1건을 제출하였다[2].

2012년 5월에는 퀄컴, 삼성전자, SK 텔레콤, Powermat 등 7개의 회사가 함께 Alliance for Wireless Power(A4WP)를 창립하였다. 이 연합에서는 동작 주파수, 최소 파워 전달 요구사항, 동작 모드, 프로토콜 및 규정 준수 테스트 절차에 관한 표준을 준비하고 있다. 자기 공진 방식을 기반으로 하고 있으며, 거리 확장이 가능하기 때문에 다수의 장치에 대한 동시 충전을 지원할 것으로 알려져 있다[28]. 창립 후 2달 정도 지난 현재 총 10개 기관이 참여하고 있는 가운데, 삼성전자는 해당 규격을 준수하는 스마트폰을 선보였다 [25].

이 외에도 중국의 China Communications Standards Association(CCSA)와 일본의 Broadband Wireless Forum(BWF) 등에서 전자기기에 대한 무선 에너지 전송 기술 표준화를 진행

중이다[2].

3. 자기장 통신 기술 동향

3.1 에너지 전송 기술에서의 자기장 통신

무선 에너지 저장 장치를 갖춘 모바일 단말기를 관리 및 제어하기 위해서는 유선이 아닌, 무선 통신을 이용하는 것이 타당하다. 그런 면에서 무선 주파수 에너지 전송 기술은 에너지 전송을 위한 자원, 즉 주파수 및 안테나/코일 등을 단말기 제어를 위한 무선 통신과 공유할 수 있다는 특징을 갖는다.

무선 에너지 전송 시스템에서는 일반적으로 에너지 전송 장치에서 단말기로 데이터를 보내는 다운링크와 단말기에서 데이터를 보내는 업링크가 시간적으로 구분되어 있는 하프듀플렉싱 방법을 이용한다. 업링크 동안에 단말기는 저장해 놓은 에너지를 이용하여 통신 신호를 전송하기도 한다. 그리고 시스템에 따라, 업링크 동안에도 에너지 송신기가 계속 에너지를 송신하고, 단말기에서는 에너지를 저장하면서 동시에 송신기에서 변화를 감지할 수 있는 어떠한 동작을 통하여 단말기의 정보를 전달하기도 한다. 이 때 변화를 주기 위한 동작 원리는 전자기파 방식과 자기장 방식으로 나누어 생각할 수 있다.

전자기파 방식 에너지 전송 시스템의 다운링크에서는 단말기가 안테나를 통하여 수신된 에너지로부터 정보를 추출한다. 하지만 업링크의 경우, 단말기는 데이터에 따라 안테나의 로드를 변화시킨다. 전송 장치는 단말기 안테나 로드 변화로 인하여 반사되어진 에너지 변화량을 감지하여 단말기에서 보낸 정보를 알아낸다[5].

전자기파 방식 시스템의 경우 비교적 먼 거리까지 통신이 가능해야 한다. 그래서, 업링크도 안

테나 반사를 이용하지 않고 다운링크와 동일하게 안테나를 이용하거나, 혹은 업링크 없이 단방향 통신만 지원하기도 한다. WiCoPT는 2m 떨어져 있는 rover 제어를 위하여 2Kbps MSK 변조, 단방향 통신을 사용한다[14].

자기 유도 방식 시스템은 업링크 동안 단말기 코일의 부하를 변화시켜서 송신기에서 바라본 단말기의 임피던스를 변화시킨다. 임피던스의 변화에 따라 송수신기 간에 쇄교하는 자속의 양이 변하고, 이는 다시 송신기 코일에 유도된 전류가 변화되므로 송신기는 전류의 변화를 통하여 데이터를 수신한다[5].

변조 방식은 ASK의 복조기가 비교적 단순하기 때문에, 단말기에서의 크기 및 전력 소모 감소를 위하여 ASK를 가장 많이 사용한다. 그런데 다운링크 동안에도 단말기는 에너지를 계속 저장할 수 있다. 따라서 에너지 전송기는 ASK 변조를 할 때 변조 정도(진폭의 최대일 때와 최소일 때의 차)를 10~100% 내에서 선택할 수도 있다.

자기 공진 방식 시스템은 자기 유도 방식에 비하여 먼 거리까지 동작해야 하므로, 코일의 부하를 변화시키는 방법으로는 원하는 거리에서 안정적인 통신이 어렵다. 따라서 자기 공진 방식 시스템에서는 업링크와 다운링크를 동일하게 운영하는 방법이 연구되고 있다.

Keio Univ.에서는 670KHz 대역 자기 공진 방식 에너지 전송 시스템 운동을 위하여 OFDM을 적용하였다. 송수신 루프 안테나를 각각 지름 27cm로 제작하여 10cm 거리에서 통신을 하였으며, 공진체의 주파수 선택적인 특성 때문에 이론상의 BER보다는 낮은 BER을 얻었다[29]. KETI는 자기 공진 방식에 기반을 둔 통신, Magnetic Field Area Network(MFAN)를 자기 공진 방식 에너지 전송과 접목하여 연구하고 있다. 128KHz

캐리어 주파수에 BPSK 모듈레이션을 사용하여 8m 거리에서 1Kbps까지 테스트하여 통신 거리를 확장하였다[30].

3.2 자기장 통신 표준 동향

자기 유도 방식 에너지 전송 시스템에서 사용하는 무선 통신 방법은 ISO/IEC 18000-2 "Information technology -- Radio frequency identification for item management -- Part 2: Parameters for air interface communications at 135KHz"와 18000-3, at 13.56MHz에서 크게 벗어나지 않는다. 하프듀플렉싱을 기본으로 하며, 다운링크에서는 100% cat10% ASK 변조를 하고, 데이터 부호화를 위해서는 Pulse-Interval Encoding catPulsetPosition Modulation을 한다. 업링크에서는 부하변조방식을 사용하며, 18000-3은 에너지 전송 주파수를 32배 낮은 부반송파로 동작한다. 18000 시리즈는 2005년 개정 작업을 시작하여, 18000-2는 2009년 9월 30일에 개정된 2th Edition, 18000-3은 2010년 11월 4일에 개정된 3rd Edition이 현재 공개되어있다[31].

WPC에서 통신을 위하여 사용되고 있는 통신 방법을 살펴보면, Low Power 스펙에서 Medium Power 스펙으로 바꾸면서, 기존의 단방향 통신에서 양방향 통신으로 바꾸었다. 또한 ASK 뿐 아니라 FSK와 PSK 방식도 추가하였다. FSK 변조 방식은 174KHz/175KHz를 사용한다. PSK는 90도 변화를 이용하는데, 위상 변화를 한 클럭에 30도씩, 3단계로 나누어 변화시킨다.[26]

MFAN(Magnetic Field Area Network)는 국내에서 2009년 12월에 KS X 4651-1 [정보기술 - 자기장 통신 네트워크 - 저주파 대역 - 제 1부: 물리 계층 요구 사항]과 KS X 4651-2 [제 2부: 매체접속제어 계층 요구사항]으로 제정된 이후

ISO/IEC JTC1 SC6에서 2011년 11월 30일 ISO/IEC 15149: Magnetic Field Area Network (MFAN)으로 제정되었다[31,32]. 그리고 MFAN을 무선 에너지 전송 시스템과 통합하기 위하여 NP단계를 진행하고 있다. MFAN 물리계층은 128KHz 캐리어 주파수에 BPSK 변조, 그리고 Manchester 기저 대역 변조를 추가하여 1~8Kbps의 데이터율을 지원한다. 매체접속제어 계층에서는 스타 토폴로지에 따라 하나의 코디네이터와 한개 이상의 노드들로 구성한다. 코디네이터는 TDMA 방식에 따라 네트워크를 관리하며, 릴레이 방식을 이용하여 통신 거리를 확장한다.

5. 결 론

본 논문에서는 모바일 단말기를 위한 무선 에너지 전송 기술들에 대하여, 각각의 원리와 개발 수준, 그리고 특징들을 설명하였다. 그중에서도 상업적으로 사용되고 있는 무선 주파수 에너지 전송 방법에 중점을 두어 표준화 현황 및 에너지 전송 시스템 제어를 위한 무선 통신에 대해서도 살펴보았다. 단기적으로는 모바일 단말기 사용자의 편의를 위하여 무선 주파수를 이용하여 무선 충전 가능 거리를 확장시키고, 또한 해당 영역 내에 있으면 사용자의 인지 없이도 자동으로 충전되는 기술을 개발하는데 집중할 것으로 예상된다. 장기적으로는 환경 자원 에너지 및 기계적 에너지 등과 같이 자연 친화적인 에너지를 모바일 단말기에 적용할 수 있도록 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Portio Research, "Mobile Factbook - April 2012," <http://www.sbd.co.kr>

- [2] 대한전자공학회, “무선전력전송기술 및 산업동향 세미나,” July, 2012.
- [3] A4WP Launch Presentation, May. 2012. <http://www.a4wp.org>.
- [4] 윤재훈, 변우진, 최재익, 이호진, “RF 에너지 전송기술 산업화를 위한 분석,” 한국전자통신연구원 전자통신동향분석 제26권 제4호, pp. 79-89, Aug, 2011.
- [5] 표철식 외 7명, “훤히 보이는 RFID/USN,” 전자신문사, June, 2008.
- [6] Sravanthi Chalasani, James M. Conrad, “A Survey of Energy Harvesting Sources for Embedded Systems,” Southeastcon, 2008. IEEE, pp. 442-447, 2008.
- [7] Joseph A. Paradiso, Thad Starner, “Energy scavenging for mobile and wireless electronics,” Pervasive Computing, IEEE Vol.4, No.1, pp. 18-27, 2005.
- [8] Hui Shao, Chi-Ying Tsui, Wing-Hung Ki, “The Design of a Micro Power Management System for Applications Using Photovoltaic Cells With the Maximum Output Power Control”, Very Large Scale Integration Systems, IEEE Trans. on, Vol.17, No.8, pp. 1138-1142, Aug. 2009.
- [9] Fabio Ongaro, Stefano Saggini, Paolo Mattavelli, “Li-Ion Battery-Supercapacitor Hybrid Storage System for a Long Lifetime, Photovoltaic-Based Wireless Sensor Network,” IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.27, No.9, pp. 3944-3952, Sept. 2012.
- [10] Chao Lu, Sang Phill Park, Vijay Raghunathan, Kaushik Roy, “Analysis and Design of Ultra Low Power Thermoelectric Energy Harvesting Systems,” Low-Power Electronics and Design, ACM/IEEE International Symposium on. pp. 183-188, 2010.
- [11] Jacopo Olivo, Sandro Carrara, “Energy Harvesting and Remote Powering for Implantable Biosensors,” IEEE Sensors Journal, Vol.11, No.7, pp. 1573-1586, July, 2011.
- [12] N.S. Shenck, J.A. Paradiso, “Energy Scavenging with Shoe-Mounted Piezoelectrics,” IEEE Micro, Vol.21, No.3, pp. 30-42, 2001.
- [13] POWERCAST, “RF Energy Harvesting and Wireless Power for Low-Power Applications,” <http://www.powercastco.com>.
- [14] Shigeo Kawasaki, “Microwave WPT to a Rover Using Active Integrated Phased Array Antennas,” Antennas and Propagation, Proceedings of the 5th European Conference on, pp. 3909-3912, 2011.
- [15] James Benford, “Space Applications of High-Power Microwaves,” IEEE Trans. on Plasma Science, Vol.36, No.3, June 2008.
- [16] R.Selvakumaran, W. Liu, B.H Soong, Luo Ming, S.Y Loon, “Design of Inductive Coil for Wireless Power Transfer,” 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 584-589, July, 2009.
- [17] Eberhard Waffenschmidt, Toine Staring, “Limitation of inductive power transfer for consumer applications,” Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. 13th European Conference on, pp. 1-10, 2009.
- [18] “CES 2010 Powermat-The Future of Battery Technology,” <http://www.youtube.com>.
- [19] 심우성, “30조 규모 ‘무선 충전기’ 시장 열린다” <http://it-times.kr>.
- [20] 이호준, “LG전자 무선충전 기술, 국제표준 규격 승인 획득”, <http://www.etnews.com>.
- [21] Kihyun Jung, Yong-Ho Kim, Euy Jung Choi, Hyun Jun Kim, Yong-Jun Kim, “Wireless Power Transmission for Implantable Devices using Inductive Component of Closed-Magnetic Circuit Structure,” Proc. of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, Aug. 2008.
- [22] Yong-Xin Guo, Duan Zhu, Rangarajan Jegadeesan, “Inductive wireless power transmission for implantable devices.” Antenna Technology, 2011 International Workshop, pp. 445-

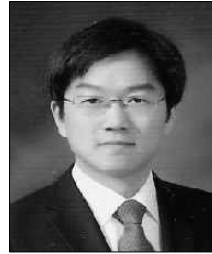
448, 2011.

[23] “WiTricity,” <http://www.witricity.com>.
 [24] 서명덕, “오!완전신기~ 자기 공명 방식으로 2m 까지 전력전송,” <http://itviewpoint.com/205650>.
 [25] “삼성전자,” 스마트기기 무선충전 시대 연다”, <http://www.eetkorea.com>.
 [26] “WIRELESS POWER CONSORTIUM,” <http://www.wirelesspowerconsortium.com>.
 [27] “CEA”, <http://www.ce.org/>
 [28] “Alliance for Wireless Power,” <http://www.a4wp.org/>
 [29] Shinpei Noguchi, Mamiko Inamori, Yukitoshi Sanada, “Data Transmission for Resonant-type Wireless Power Transfer,” Wireless Personal Multimedia Communications, 2011 14th International Symposium on, pp.1-5, 2011.
 [30] SunHee Kim, YunJae Won, YongSeok Lim, KyeungHak Seo, SeungOk Lim, “Design of Physical Layer for Magnetic Field Area Network,” Ubiquitous Information Technologies & Applications, ICUT '09. Proceedings of the 4th International Conference on, pp. 1-4, 2009.
 [32] “국가표준인증종합정보센터,” <http://www.standard.go.kr>.
 [31] “ISO“, <http://www.iso.org>.



김 선 희

- 1996년~2000년 이화여자대학교 전자공학과 학사
- 2000년~2002년 이화여자대학교 정보통신학과 석사
- 2002년~2005년 한국전자통신연구소 연구원
- 2005년~2012년 전자부품연구원 선임연구원
- 2009년~현재 이화여자대학교 전자공학과 박사과정
- 관심분야: 무선에너지전송, 임플란티블 의료 기기



이 승 준

- 1982년~1986년 서울대학교 전자공학과 학사
- 1986년~1989년 EECS, U.C.Berkeley 석사
- 1989년~1993년 EECS, U.C.Berkeley 박사
- 1992년~1998년 현대전자 시스템 IC 연구센터 책임연구원
- 1993년~현재 이화여자대학교 전자공학과 교수
- 관심분야: 인체 삽입형 의료기기, 유방암 검진 의료기기, 간질 조절용 의료기기



황 규 성

- 1998년~2004년 고려대학교 전기전자전파공학과 학사
- 2004년~2006년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사
- 2006년~2010년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사
- 2010년~2011년 전자부품연구원 선임연구원
- 2011년~현재 경일대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 관심분야: 통신시스템, IT융합, 보안시스템