

무선 에너지 전송기술 동향

■ 최성진

(울산대학교 전기공학부)

I. 서론

민간용 또는 군용으로 사용하는 휴대용 전자기기의 요구 전력이 대폭 증가되는 반면, 배터리 기술의 발전은 그에 비해 더디지만 한 실정으로 잦은 충전이 필요하게 되고, 따라서 휴대기기의 충전 편리성이 화두가 되고 있다. 무선에너지전송(Wireless Power Transfer)기술은 전기에너지를 전자기파, 자기 유도 또는 공진형태의 무선으로 전달하는 기술로서 기존 유선 전원공급이나 충전방식을 대체하여 전선의 제약없이 전력을 공급할수 있는것을 목표로 하는 기술이다. 따라서 무선에너지 전송기술은 모바일 기기에 사용될 경우, 그 파급효과가 매우 크기 때문에 관심이 집중되고 있는 연구 분야이며, 2007년 MIT가 자기공명형 방식을 제안한 이래로 이제는 하나의 기술 트렌드로도 주목 받고 있다. 특히 휴대용 전자기기를 올려두기만 하면 충전되는 무접점 배터리 충전기술(Contactless Battery Charging)은 상용화가 본격 진행되고 있어, 스마트폰 시장에서도 최근 LG의 Optimus 시리즈 최상위모델과 차세대 삼성 Galaxy 시리즈는 무선충전기능을 신제품의 마케팅 포인트로서 적극 홍보하고 있다.

II. 무선 에너지 전송 기술의 종류 및 응용

현재 흔히 알려진 무선에너지전송 관련기술은 자기 유도 방식과 전파 수신방식, 그리고 자기공명방식 세 가지로 압축된다.

각 기술의 차이점을 간단히 비교하면 다음과 같다.

① 전파 수신방식(Radiative Power Transfer)

궁극적으로 수 십미터에서 수 킬로미터까지 에너지를 전송하는 원거리 전송기술로는 전파수신 방식이 제안된 바 있다. 학문적으로는 원역장이론(Far Field Theory) 연구성과에 기반을 두고 있으며, 수백 MHz이상의 RF 방사(Radio Frequency Radiation)를 이용하여 무선통신과 유사한 방법으로 송수신 안테나간에 전력을 전달하는 방식이다. 실제로는 수신전력이 송신전력 대비 매우 낮으므로, 에너지 전송효율이 중요한 이슈가 아닌 경우에만 사용한다. 예를들어 무선센서네트워크(USN)와 같은 극소량의 전력을 소비하는 부하에 대하여 수mW의 RF 에너지를 공급 가능하다. 이 방식으로 미국의 Powercast社가 피츠버그동물원에서 라디오 전파를 이용하여 0.1W급 전력전송에 성공하였고, 국내에서는 한국전기연구원이 마이크로파를 이용한 수백 W의 무선에너지전송을 시연한 바 있다. 이러한 기술은 RF파의 특징인 전방향성(Omni-directional) 특성으로 인해 전송효율이 매우 떨어지므로 이를 만회하기위해 송신부의 전력을 끌어올릴 경우 전파인증 규격을 모두 넘기 때문에 모바일 IT 기기용으로는 부적합하다는 것이 중론이다[1].

② 자기 공명 방식(Magnetic Resonance Power Transfer)

이 기술은 파장 대비 짧은 거리에서의 근역장이론(Near Field Theory) 연구에 기반하고 있다. 매우 높은 공진양호도(Quality Factor)를 가지도록 특수 설계된 송수신 공진기의 공진주파수를

서로 정확히 일치시켜, 공명이 되도록 하는 방식이다. 미국의 벤처회사 WiTricity를 필두로 Intel, Qualcomm, Sony 社 등이 채택하여 그 가능성을 연구하고 있다. 실제 수십 MHz의 주파수를 사용하면 작은 방 크기의 내부에서 공명이 일어날 수도 있다고 하니, 구현만 되면 향후 응용범위가 넓다고 할 수 있다.

하지만 아직까지의 연구 성과들은 통제된 실험실에서의 결과일 뿐, 상용화에는 많은 어려움이 존재한다고 본다. 예를 들어 공진기의 공진양호도가 100이상으로 매우 높기 때문에, 주파수 특성곡선이 하나의 주파수 중심으로 아주 뾰족한 형태를 가지고 있어 송수신부 공진기의 주파수를 정확히 일치시켜 제작하는 공정관리가 힘들다는 단점이 있으며, 여전히 안테나의 배치방향이나 주위 금속물에 의한 영향은 상존한다고 보고있다. 더구나, 부하에서 소모하는 전력이 변할 때는, 부하정합 (Load Matching) 조건이 당초 설계와 달리 크게 변하는 등 50옴 정합의 신호 전송문제에서 볼 수 없었던 전력 전송의 특수성에 대한 대처방안도 해결해야 할 과제이다.

특히 이 방식의 보급을 위해서는, 기술적 제도적 이슈에 대한 논의가 충분히 이루어져야 한다. 여기서 기술적인 이슈는 전송거리 증대, 안테나 형상 및 매칭 문제 등이며, 제도적인 이슈는 인체에 미치는 영향 등이 주요 논의 대상이다. 이 방식은 자기장 영역 내에 사람이 충전대상물과 공존해야 하는 개념이기 때문에 인체 영향성에 대한 연구 검증이 최우선적으로 완결되어야 하며, 따라서 기술적 완성도 및 상용화는 더욱 시간이 걸릴 것으로 판단된다.

③ 자기 유도 방식(Magnetic Field-coupled Inductive Power Transfer)

현재 모바일 기기용으로 가장 많이 선호하는 방법으로, 송수신코일 사이에 Faraday 전자기 유도 원리를 사용하는 방식으로,

변압기의 원리와 흡사하다. 즉, 송신코일에 교류전압을 가하게 되면 자기장이 유도되고, 수신부 코일에 다시 역기전력이 생성되어 전력을 전달할 수 있게 되는 원리로, 학문적으로는 느슨한 결합계수를 가지는 변압기(Loosely Coupled Transformer)와 같다고 할 수 있다. 자기유도방식은 수 cm이내의 근접거리에서 사용할 경우 효율이 매우 좋기 때문에 수백 W이상의 높은 전력 레벨까지 전송이 가능하여 산업체에서도 채택되고 있다.

Ⅲ. 무접점 충전 패드와 자계결합형 에너지 전송기술

무선 충전패드에서 상용화가 잘 이루어진 기술은 자기유도 방식이다. 그림 1은 자기유도 방식을 사용한 무접점 충전패드의 개념도로서 영국의 Splash Power라는 회사에서 2005년 충전패드의 개념으로 처음 제시한 그림이다[2]. 이와 관련하여 현재 상용화되고 있는 표준안이 있는데, Wireless Power Consortium(WPC)와 Power Matters Alliance(PMA)가 있다.

WPC는 미국의 Fulton Innovation社와 Texas Instruments社가 주도하여 “Qi” 라는 휴대기기용 무접점 충전 호환규격을 제안하여 충전기 회사 중심으로 채택되고 있다. 110~205kHz의 주파수 대역을 사용하며, 유효전력전송거리는 약 1cm이내이다. 송수신간 시스템 효율은 최대 74%정도이다. 전력전송의 시스템 안정성을 위하여 수신부로부터 수신부 상태데이터를 수신하는 in-band 통신을 수행한다. 1-2차 코일을 자석을 통해 강제 정렬시키는 Guided-positioning 방식인 Type A 규격과 함께 멀티코일을 이용한 Free-positioning 방식인 Type B도 규격으로 제공하고 있으나 다소 구현이 복잡하다. 최근 Nokia의 Lumia 920, Samsung Galaxy S4, LG Optimus G Pro 등의 다수에 제품에 WPC 인증 제품이 실장되었으며 특히 수신부의 경우 스마트 폰의 백커버에 내장되는 형태로 출시되었다. 아직까지의 최대 송신전력은 5W

표 1. 무선 전력 전송 방식의 비교.

	전파수신방식	자기공명방식	자기유도방식
전송거리	수십 m이상	수 m내외	수 mm 이내
주파수	수백 MHz이상	6.78MHz, 13.56MHz	110~357kHz
전송전력	수십 mW	수십 W	수 W
원리	원역장이론	근역장이론	패러데이법칙
기술성숙도	미진함	개념구현 중	성숙
표준화	없음	A4WP	WPC/PMA
모듈/시스템단가	고가 예상	고가 예상	상대적 저가
당면 문제점	저효율(1%이하)	인체유해성 검증	위치자유도확보

이고 추가로 10~15W급 시스템사양도 제정하고 있다. 한편, PMA는 WPC보다 좀더 높은 주파수 대역인 277~357kHz를 사용하여 좀더 부피를 줄일 수 있으며, 기타 규격은 유사하며, 미국 중심으로 보급되고 있다[3][4][5].

종합적으로 볼 때 현재 상용화되고 있는 자기유도형 방식이 겪고 있는 문제점은 다음과 같이 세가지로 요약된다. 첫째, 코일 권선을 구현하는 구조가 복잡하다. 통상 박형 송수신코일에 다층 PCB Winding 패턴을 구성해야 하므로 이러한 코일만 특수 가공 납품하는 업체가 있을 정도로 제품 디자인에 추가적 제약사항을 요구한다. 둘째, 수신부의 경우 자장이 수신코일을 관통하여 인근 회로 부품에 EMI 간섭을 야기하므로, 자장차폐물인 Ferrite Sheet를 필요로 한다. 이는 수신부 두께를 증가시키고 추가 비용 또한 만만치 않다. 셋째, 송수신부 코일의 중심부를 일치시키기 위해 밀착정렬을 하여야 한다는 점이다. 앞서 언급한 WPC규격안의 경우에도 이러한 방법을 권장하고 있으며, 실제로 상용제품인 POWERMAT 제품의 경우 이러한 밀착정렬을 강제하기 위하여 영구자석을 이용하여 충전 대상물을 강제 부착 시키는 방식(Guided Positioning)을 주로 사용하고 있다.

한편, 자기공진 방식에서도 모바일 기기용 무선충전 표준을 준비하고 있는데, 이는 Alliance for Wireless Power (A4WP)이다

[6]. 사용주파수는 6.78MHz (+/-15kHz)로서 미국과 유럽에서는 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역으로 사용 제약이 덜한 주파수 대역이며, 한국에서는 아직 군용으로 사용 제약이 있는 주파수이다. 이러한 높은 동작주파수는 높은 공진양호도를 가지는 송수신 공진 코일의 제작이 용이하다는 장점이 있고, 따라서 다중부하에 대한 동시 충전도 가능해지고 공간자유도도 증가하는 장점을 제공하는 반면 전력송신회로와 수신회로의 효율을 떨어뜨리는 문제가 있으며, 임피던스 정합문제로 인해 안정적인 효율확보가 어려운 문제가 있다. A4WP의 송수신 회로간 제어를 위한 통신방식은 2.45GHz의 Bluetooth를 사용한다.

Ⅳ. 전계결합형 무접점 충전기술의 개요 및 특징

한편, 전계결합을 이용하면서도 면대면 에너지 전송이 가능한데, 이 방식의 시스템 구조는 그림 2와 같다. 송신부(1차측, Primary side)와 수신부(2차측, Secondary side)가 두 개의 전극쌍을 통해 전계결합되는 원리로, 각각의 전극쌍 사이에 생성되는 전기장을 매개로 에너지를 전달하는 특징이 있다. 전계결합형 방식이 가지게 될 상대적 장점은 다음과 같다. 첫째, 송수신부에 코일이 아닌 평판 전극을 사용하므로 구조가 단순하다. 즉

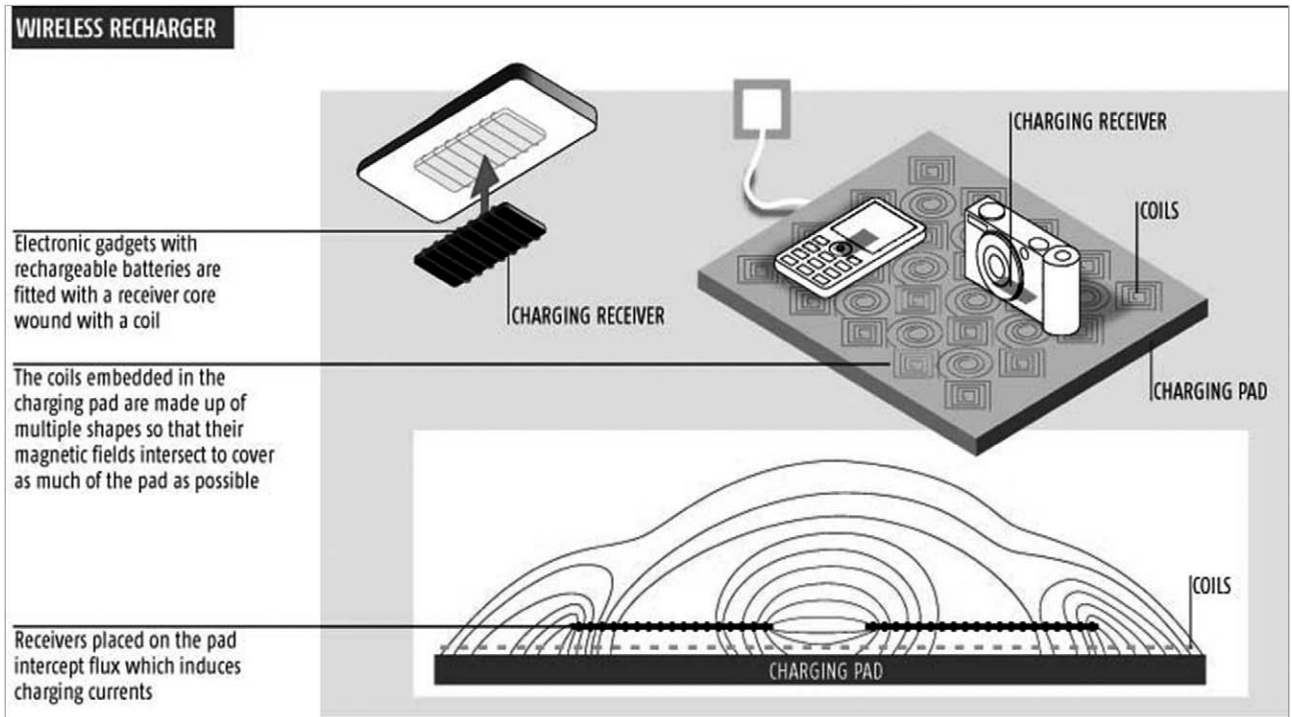


그림 1. 무접점 충전패드의 기본 개념 (Splash Power 社).

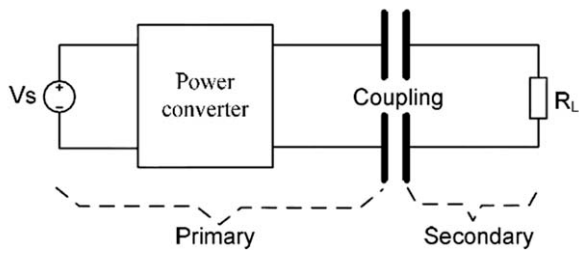


그림 2. 전계결합형 무선 에너지 전송방식의 기본 구조.

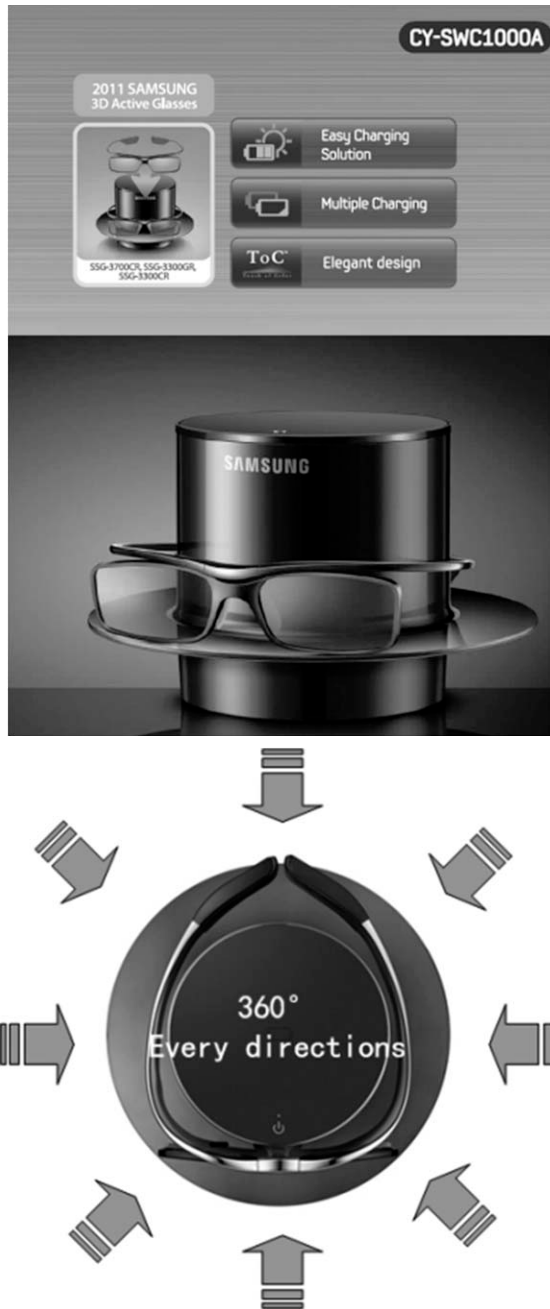


그림 3. 세계최초로 상용화된 자기공명형 무선충전기 (삼성전자).

다양한 디자인 및 형태로 가공할 수도 있다. 또한 다수의 얇은 코일 권선에 발생하는 PCB 발열현상을 겪지 않는다. 둘째, 자기장은 코일을 한바퀴 감아도는 폐루프를 형성하지만, 전자장은 전극사이에서만 시작되어 끝이나는 필드형상을 가지고 있으므로, 주위 PCB 및 부품에 전자기간섭을 일으키지 않는다. 셋째, 금속물이 대상물 사이에 위치할 때 Eddy current 현상에 의한 전달특성 저하가 없다. 즉, 금속물 투과시 성능저하가 적다. 따라서, 금속장해물에 의한 코일 발열 및 화재위험을 제거하기 위한 이물질 감지 알고리즘이 필요 없고, 대기전력도 줄일 수 있다. 넷째, 위치정렬에 대한 특성이 비교적 우수하다.

이러한 전계결합 방식의 장점은 특히 모바일 IT기기의 수신부 구조를 간단히 할 수 있고, 기존 기술의 제약사항 또한 극복할 수 있는 강점을 가진다고 할 수 있으므로 집중된 투자와 연구가 필요한 분야라고 생각한다.

V. 국내의 연구 동향

① 국내연구현황

국내의 연구는 주로 유도형에 관한 연구가 많이 이루어져 왔다. 2001년 서울대에서는 자기유도 방식을 이용한 무접점 충전장치를 개발한 바 있고[7], 2004년 경북대에서는 PCB 권선을 이용한 자기유도형 무접점 충전회로로 연구성과를 발표한 바 있다[8]. 좀더 높은 전력을 전달하는 자기유도형 방식으로는 KAIST에서 연구하고 있는 온라인전기자동차가 있다. 한편, 공진형 방식에 대한 연구도 활발한데 삼성전자 영상디스플레이 사업부에서는 2010년 3D안경 무선충전기에 자기공명방식을 세계 최초로 도입하여 그림3과 같이 상용화를 진행한 바 있다[9].

② 해외연구현황

자기유도형에 대해서는 미국, 중국 등의 연구자들이 활발히 연구하여 WPC규격제정을 관여하여 이와 관련한 제품을 많이 출시하고 있다[10]. 자기공명형은 미국 MIT에서 설립한 WiTricity사가 주도적으로 연구하고 있다. 한편 전계결합형에 대해서는 일본의 MURATA社, 미국, 뉴질랜드 등의 연구자들은 2008년부터 전계결합 방식에 대한 연구를 진행하여 그림 4와 같이 태블릿 PC에 적용한 바 있다. 특히 2011년에 미국에서는 직렬공진회로 구조를 이용하여 주어진 전극의 캐패시턴스에 대하여 전력전송 한계를 분석하는 연구를 수행한 바 있으며 [11], 뉴질랜드에서는 Shunt 매칭을 활용한 회로 구조를 제안한



그림 4. 자기유도형과 전계결합형 무선충전기 (좌: Energizer 社, 우: MURATA 社).

바 있다[12].

Ⅵ. 결론

무선에너지 전송기술은 무선통신이 인류에게 제공했던 편의성을 에너지 사용측면에서도 제공할 수 있는 기술이라는 점에서 매우 사용자 친화적이고 활용도가 높은 기술이다. 비록 유선에 비해 전송 효율은 높을 수 없겠지만 수분이 많거나 먼지가 많은 가혹환경이나 로봇등 움직이는 대상물에 대한 전원공급에서 얻을 수 있는 잇점은 상당할 것이다. 현재 많은 학자들이 관련 연구를 진행하고 있으므로 앞으로 이 분야에 대한 연구지원 또한 강화되어야 할 것이라고 생각한다.

참고문헌

[1] 안성덕, “무선전력전송 기술개발 동향,” *TTA Journal*, vol. 138, pp.45-51, 2011.

[2] Barry Fox, “One charging pad could power up all gadgets- Wireless Recharger,” *New Scientist*, January, 2005.

[3] 박영진, 모바일기기 무선충전 시스템의 기술동향, 전력전자학회지, 제18권 4호 pp.29-33, 2013.

[4] Wireless Power Consortium, The Qi Interface Specification Volume I : Low Power, 2010.

[5] <http://www.powermatters.org/>.

[6] <http://www.a4wp.org/>.

[7] C.-G. Kim, D.-H. Seo, J.-Sik. You, J.-H. Park, and B. H. Cho, “Design of a contactless battery charger for cellular phone,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 6 pp.1238-

1247, Dec. 2001.

[8] B.C. Choi, J.H. Nho, H.Y. Cha, T.Y. Ahn, and S.W. Choi, “Design and implementation of low-profile contactless battery charger using planar printed circuit board windings as energy transfer device,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 51, no. 1, pp.140-147, Feb. 2004.

[9] 양준현, 자기공명형 무선전력 시스템을 이용한 무선충전기 개발에 대한 연구, 명예박사 기술논문, 삼성전자, 2010. 12월.

[10] S. C. Tang, S. Y. Hui, and H. S. Chung, “Coreless Planar Printed-Circuit-Board (PCB) Transformers-A Fundamental Concept for Signal and Energy Transfer,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 15, no. 5, pp. 931-941, Sep. 2000.

[11] M. Kline, I. Izyumin, B. Boser, and S. Sanders, “Capacitive power transfer for contactless charging,” *APEC- IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp.1398-1404, 2011.

[12] C. Liu, A. P. Hu, and N. K. C. Nair, “Modelling and analysis of a capacitively coupled contactless power transfer system,” *IET Power Electronics*, vol. 4, no. 7, pp.808-815, 2011.

저 자 약 력



최 성 진

- 1996년 서울대학교 전기공학부(공학사).
- 1998년 서울대학교 전기공학부(공학석사).
- 2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사).
- 2008년~2011년 삼성전자 영상디스플레이사업부 수석연구원.
- 2011년~현재 울산대학교 전기공학부 조교수.
- 관심분야 : 신재생 에너지 및 전력전자회로 모델링과 제어.