

무선전력전송 기술동향 및 향후 전망

장 병 준

(국민대 전자공학부 부교수)

전 세계적으로 무선전력전송 기술에 대한 관심이 증가함에 따라 관련 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며, 새로운 무선전력전송 서비스의 출현이 예상되고 있다. 그러나 한편으로는 전자파장애(EMI/EMC), 인체영향 등 다양한 문제점이 제기되어 무선전력전송 서비스에 대한 부정적인 시각도 퍼지고 있다. 이에 본 고에서는 무선전력전송에 대한 개념, 전 세계 주요 업체의 기술개발 동향을 조사 분석하고 향후 전망을 제시함으로써 국내의 무선전력전송 기술 개발 및 활성화에 참고하고자 한다.

1. 서론

무선전력전송기술(WPT: Wireless Power Transfer)이란 가전기기나 전기자동차 등에 전원을 공급하는 전원선을 없애고 이를 무선으로 대체하는 기술을 말한다. 만약에 전력이 필요한 기기가 어디에 위치에 있어도 소모 전력을 무선으로 자유롭게 공급할 수 있다면 IT기술의 패러다임이 획기적으로 바뀔 것으로 예상된다. 특히 스마트폰, 태블릿 PC 등 휴대용 IT기기의 경우는 3G 이동통신, 무선 LAN(Wi-Fi) 등의 무선망을 통하여 통신은 무선으로 자유롭게 이루어지고 있으나, 기기의 전원공급은 내장된 배터리를 이용하고 있으므로 배터리 충전을 위한 전원선이 꼭 필요하다. 따라서 전원선을 없앨 수 있는 무선전력전송 기술에 대한 관심이 높을 수밖에 없는 분야이다. 또한 전기자동차의 경우 충전할 때 마다 전원 코드를 연결하기 어려우므로 무선전력전송 기술이 적용이 필

요한 기기이다.

지금까지 다양한 주파수 영역에서 무선전력전송 기술이 개발되었지만 수백 kHz 대의 저주파를 사용하는 비접촉식 유도결합(Induction coupling) 방식을 제외하고는 대부분 상용화되지 못하고 있다. 예를 들어 과거 수십 W 이상의 대전력을 전송하기 위하여 5.8GHz 등 마이크로파(microwave)를 사용하려는 연구가 일부 이루어져 왔으나 낮은 효율, 인체에 미치는 영향 및 고효율 안테나 사용에 따른 전자파의 직진성으로 고정된 위치에서만 사용되어야 하는 특성 등으로 인해 상용화에 실패하였다. 하지만, 2007년 MIT 물리학과와 마린 솔라치치(Marin Soljacic) 교수팀이 제안한 비방사(non-radiated) 방식의 무선전력전송 기술은 10MHz의 반송파를 이용하여 2m 거리에서 60W의 대전력 전송을 시연하였다고 발표함으로써 고주파를 사용한 무선전력전송 기술에 대한 관심이 증가되는 계기가 마련되었다. 이후 인텔(Intel), 퀄컴(Qualcomm), Sony 등에서 유사한 개념의 시제품을 발표함으로써 최근 연구가 활발히 진행되고 있다.^(1,2)

한편, 국내에서도 관련 연구개발 및 상용화 논의가 활발히 진행되고 있다. 방송통신위원회에서는 무선전력전송기술을 미래전파(Next-wave) 응용서비스의 핵심 분야로 선정하여 관련 기술개발, 시범사업 및 제도개선 등을 2010년 이후 진행하고 있으며, 한국과학기술원(KAIST)에서는 무선전력전송을 이용한 온라인 전기자동차(OLEV: On-Line Electric Vehicle)를 개발하여 상용화할 것이라는 계획을 발표하였다.

하지만 아직까지도 무선전력전송은 해결해야 할 문제가 산적해 있는 기술로서, 원천기술개발, 제도개선, 상용화 등의 계획을 체계적으로 세워서 추진해야만 성공할 수 있는 분야라 할 수 있다. 따라서 현 시점에서 무선전력전송에 대한 전반적인 개요, 주요 개발 동향 및 인체영향 등 주요 논의사항을 정리함으로써 관련 기술개발 및 서비스의 향후 전망을 예측하고자 한다.

2. 무선전력전송기술의 개요

무선전력전송 기술은 표 1과 같이 주파수에 따라 크게 3 가지 분야로 분류할 수 있다. 먼저 원거리 전송을 위하여 파장이 짧은 GHz 대의 주파수를 사용하는 방식이 있다. 하지만 2.4GHz, 5.8GHz 등 ISM (Industrial, Scientific, and Medical) 대역에서 고출력의 마이크로파를 이용하여 원거리를 전송하는 방식은 효율 및 인체영향 등의 문제로 상용화에 실패하였으며, 단지 수 mW의 전력전송이 필요한 RFID (Radio Frequency IDentification) 서비스만이 상용화되었다. 하지만 출력전력이 미약하여 엄밀한 의미에서 무선전력 전송이라 할 수 없다.

다음으로 파장이 큰 수백 kHz 대역의 주파수를 사용하여 비접촉식으로 수 cm 이내의 초단거리에서 무선으로 전력을 전송하는 유도결합 방식이 있다. 이 방식은 주파수가 낮으므로 가격이 저렴한 스위칭 방식의 전력변환 소자를 사용할 수 있으므로 전력전송 효율이 우수하여 무선면도기, 전동칫솔 등에서 상용화되었으며, 최근에는 휴대폰 등 모바일 IT기기로 응용되고 있다. 하지만 무선전력 전송거리가 최대 수 cm 이내라는 한계가 있다.

마지막으로 2007년 MIT의 마린 솔라치치 (Marin Soljatic) 교수팀이 제안한 수 MHz의 주파수 대역을 사용하는 비방사 (non-radiated) 자기공명 방식이 있다. 이 방식은 두 매체가 같은 주파수로 공진할 경우 전자파가 근거리 자기장을 통해 한 매체에서 다른 매체로 이동하는 근역장(Near field)에서의 공진결합 (resonant coupling) 방식에 기반을 두고 있으며, 2m 거리에서 60W의 대전력 전송을 시연하였다고 발표함으로써 향후 미래 유망기술로 대두되고 있다. 유도결합과의 차이점은 유도결합에서는 주파수가 작아 공진기의 구현이 어려우므로 코일 형태의 인덕터를 사용하고 공진을 위해 별도의 캐패시터를 직렬 혹은 병렬로 연결하는데 반해, 자기공명 방식은 주파수가 높으므로 공진기 자체에서 인덕터와 캐패시터를 구현하게 된다. 하지만 주파수가 높기 때문에 효율이 높은 스위칭 전력소자를 사용할 수 없을 뿐만 아니라, 수십 cm 이상의 공진결합을 위해서는 공진기의 Q (Quality Factor)값이 매우 커야 하는 단점이 있다. 따라서 실제 상용화 시에는 부하 조건에 따른 임피던스의 변화, 주변

표 1 무선전력전송 기술의 분류

사용 주파수	전송거리	특성
수백MHz~수GHz	원거리 (수m 이상)	- 원역장(Far Field) 방사 이용 - 인체영향 문제로 사용 어려움 - RFID 등에서 상용화(수mW)
~수MHz	중거리 (수십cm ~ 수m)	- 근역장(Near Field) 이용 - 2007년 제안, 수십 W 전송가능 - 개발초기단계
~수백kHz	초단거리 (수 cm이내)	- 유도결합(induction coupling) 원리 이용 - 상용화 됨(무선면도기 등)

도체의 영향 등으로 Q값이 높게 유지할 수 없어 아직까지 상용화되지는 못하고 있다.

2.1 무선전력전송의 기술개발 현황

먼저 유도결합에 의한 대표적인 기술개발 동향을 살펴보면 현재까지 Fulton사가 가장 앞선 기술 (eCouple™ Technology)을 보유하고 있다. 특히 Fulton사는 전력흐름을 연속적으로 모니터링할 수 있는 제어시스템을 추가함으로써 수백 mW에서 수십 W의 전력을 90% 이상의 효율로 전송하는 기술을 시연하였으며, TI, Energizer, Leggatt & Platt 등의 회사와 상용화에 협력하고 있다. 다음으로 Convenient Power사도 유사한 특성을 갖는 배터리 충전 시스템을 개발하였으며, 애플의 iPhone, 닌텐도 DS, Blackberry Curve용 무선충전기를 개발하고 있다. WiPower사는 플로리다 대학에서 개발한 비접촉 방식의 무선전력전송 시스템을 상용화하고 있다. 일본의 Seiko-Epson, 동광전기, 도쿄대학에서도 유사한 기술을 이용하여 시제품을 제작하였다고 발표하였다.⁽³⁾

마이크로파를 이용한 무선전력전송기술은 20세기 초 Tesla의 시도에서 알 수 있듯이 과거부터 많은 시도가 있었으나 전파의 감쇄 특성 및 인체 유해 여부 등으로 고출력 무선전력전송은 상용화되지 못했다. 하지만 소출력 무선전력전송의 경우는 활발히 상용화되었는데, 예를 들어 RFID 태그나 소출력의 센서노드 등에 수 m의 거리에서 수 mW의 전력을 공급하는 시스템이 상용화되었다. 마이크로파 무선전력전송의 원리는 발진기 (Oscillator)에서 발생한 신호가 증폭기를 거쳐 대신호로 증폭된 후 송신 안테나를 거쳐 공기 중으로 방사되면 수신안테나는 이 신호의 일부를 수신하여 정류기 (Rectifier)를 통해 DC전력으로 변환하여 부하에 전력을 공급하는 것이다. 대표적인 회사로 미국의 Powercast사가 있으며, 2009년 피츠버그 동물원의 수족관에 있는 온도, 습도 센

서의 전원을 공급하기 위하여 마이크로파를 이용한 시스템을 개발하였다고 발표하였다. Powercast사는 Philip사와 협력으로 무선 키보드와 마우스, 의료용 RF 무선전력전송 장치를 개발하고 있다.

자기공명을 이용한 무선전력전송 기술은 2007년 마린 솔라치치 교수팀이 제안한 방식으로 향후 미래 유망기술로 대두되고 있다. 또한 Intel 및 Sony에서도 유사한 시스템을 데모한 바 있다. 하지만 아직까지는 전력효율을 높이거나, 공진기를 소형화하는 등의 지속적인 연구개발이 필요한 분야로 판단되고 있다.

2.2 무선전력전송의 표준화 현황

다양한 무선전력전송 기술 중에서 표준화 단계에 있는 것은 유도결합 방식으로, Fulton사 등 여러 회사들이 연합하여 WPC(Wireless Power Consortium)을 구성하여 표준화를 추진 중이다. WPC에 대한 자세한 표준화 규격은 다른 특집 원고에서 다루고 있어 생략하기로 한다.^[4]

원역장 방식의 경우는 RFID 등에서 수 W의 출력을 송신하는 방식이 표준화가 완료되어 있으므로 이를 활용하여 수 mW의 출력을 수신단에서 생성하는 시스템이 상용화되었다. 따라서 900MHz, 13.56MHz, 135kHz 등 RFID 주파수를 사용하여 소출력 무선전력전송 서비스는 현재도 가능하다.

마지막으로 자기공명 방식의 경우는 현재까지 학계 및 연구소를 중심으로 연구단계에 있으므로 구체적인 표준화 단계는 진행되고 있지 못한 상태로 판단된다.

3. 무선전력전송의 전망

현재 무선전력전송기술에 대한 관심은 높으나, 아직까지 상용화되기 위해서는 기술적, 제도적으로 풀어야 할 이슈가 산적되어 있다. 기술적인 이슈로는 전송거리의 증가 방안, 안테나의 소형화, 송수신 하드웨어의 효율 개선, 저가격화 등이 필요하며, 제도적인 이슈로는 주파수 할당, 인체에 미치는 영향, EMI/EMC 등이 있다. 이러한 이슈를 체계적으로 해결해야만 무선전력전송 기술이 상용화될 수 있을 것으로 판단된다.

3.1 기술적인 전망

무선전력전송의 주요 기술적 전망을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 자기공명 방식의 경우 매우 높은 Q값을 유지하여야 수 m까지 전력전달이 가능하다는 문제이다. 하지만 실제 전력이 사용되는 기기 내 동작환경에서는 동작 상태(대기모드, 정상 동작 모드, 최대 출력 모드 등)에 따라 부하 임피던스가 가변되며, 주변 도체 등의 영향 등으로 Q값을 높게 유지할 수 없어 실제 환경에서는 전력전달 효율이 낮아지는 문제가 있다. 또한 MIT에서 수행한 시험에서 매우 큰 헬리컬(helical) 안

테나를 사용하였으나, 실제 가전기기 나 자동차에 설치할 경우 크기의 한계로 사용할 수 없으므로 소형 공진기를 사용할 경우 효율이 낮아진다는 단점이 있다. 따라서 무선전력전송 기술의 핵심은 공진특성을 최대로 하면서 작은 크기의 공진기 쌍을 만드는 것이 핵심 기술이다.

다음으로 무선전력전송을 위한 전력소자의 개발이 필요하다. 무선전력전송의 거리를 늘리기 위해서는 수 MHz의 주파수에서 동작하는 스위칭 소자 등이 필요한데, 현재 대부분의 대전력 스위칭 소자 등의 특성은 수 MHz에서는 성능이 급격히 나빠지는 특성이 있다. 반면 가격이 비싼 마이크로파 소자를 주파수를 낮춰 사용할 경우 가격 문제로 무선전력전송의 상용화에 장애가 될 수 있다. 예를 들어 전력전송의 무선화의 장점이 아무리 높다고 하더라도 소요 비용이 높으면 상용화할 수 없는데, 일반적인 전력전자회로는 가전기기의 경우 수 천원에 불과하지만, 무선화를 위해서는 수십배 가격이 증가하게 된다.

반면, 유도결합의 경우는 자기공명 방식과 달리 주파수가 낮으므로 상대적으로 가격적인 측면에서 상용화에 유리하다. 하지만, 거리가 현재 전송거리가 수 cm 이내에 불과하며, 이를 수십 cm 이상 올리기 위해서는 자기공명 방식과 같은 공진 특성을 이용하여야 하는데, 이 경우 공진기의 크기가 커지는 단점이 있다. 또한, 유도결합은 전 세계적인 특허가 많이 나와 있으므로 이를 회피하기 위한 노력이 필요하다.

3.2 제도적인 측면의 전망

3.2.1 주파수 할당

무선전력전송을 위해서는 무선주파수를 사용해야 하는데 이 경우 타 시스템에의 간섭을 줄이고, 인체에 영향을 주지 않도록 각 국은 엄격하게 규제하고 있다. 또한 전 세계적으로 무선주파수는 주로 통신, 방송, 항행, 측위 등의 용도로 사용되고 있으며, 아직까지 무선전력전송을 위해서 특별하게 할당된 주파수 대역은 없다.

현재까지 무선전력전송의 후보 주파수로 고려되고 있는 대역은 수십kHz에서 수백 kHz 사이 또는 수MHz에서 수십 MHz 사이이며, 이 중에서 현재 가능한 주파수 대역은 125kHz 또는 134kHz 및 13.56MHz 정도이다. 이 주파수는 전 세계적으로 ISM 대역으로 지정되어 있으며, RFID 등에서 소출력 에너지 전송으로 현재 사용이 되고 있으므로 기술기준 개정만으로 무선전력전송용으로 사용이 가능한 주파수 대역이다.

만약, 이 외 주파수 대역에서 신규 주파수가 필요한 경우에는 기술개발 추이를 살펴보고 상용화 가능 정도를 조사하고 산업체에 미치는 영향까지 고려하면서도, 전 세계 동향을 예의 주시하여 국내 주파수 할당 문제를 논의해야 한다. 이 때 인체영향 및 EMI/EMC 문제가 반드시 고려되어야 한다. 다

행히 2010년부터 방송통신위원회에서 무선전력전송을 위한 장기 계획 및 이용제도 개선 연구를 진행하고 있으므로 그 동향을 주의 깊게 살펴보아야 한다.

국내의 전파법을 살펴보면 무선전력전송 기기는 전파이용 기기의 범주에 들어간다. 전파이용기기의 경우 9kHz 이상이면서 50W 이상의 출력을 내는 경우 허가가 필요하다. 또한 50W 이하라 하더라도 타 기기에 간섭을 주지 않도록 30m 거리에서 100uV/m 이하의 값이 되도록 차폐 등의 조치를 취해야 한다. 따라서 이러한 기술기준을 만족하도록 하여야 한다. 최근 국내에서는 Online 전기자동차의 경우 기술기준을 만족하지 못해 주파수 할당을 새롭게 시도하고 있는데, 이는 전 세계에서 최초로 시도되는 것이므로 그 파급효과 등을 예의 주시하여야 한다.

3.2.2 인체영향

전자파에 대한 인체영향은 전력선 및 이동통신이 보급된 이후 핵심적인 이슈였다. 인체영향 연구는 세포실험, 동물실험, 역학조사 등 다양한 연구가 필요하다. 하지만, 현재까지 인체영향에 대한 연구 결과는 수 W 이하의 이동통신 단말기 또는 기저국 영향 및 전력선에 의한 60Hz 극저주파 (ELF : Extremely Low Frequency) 영향에 대한 연구로 한정되어 있는 상황이다. 무선전력전송에 사용되는 주파수는 IF (Intermediate Frequency)라고 부르는데 이 주파수에서는 극저주파의 유도전류 현상과 고주파에 의한 열효과가 동시에 발생되므로 인체영향이 복잡하며 아직까지 체계적인 연구가 미흡한 상황이다. 다행히 유도결합방식 및 UHF 대역 RFID 등에 의한 인체영향 연구가 최근 RFID 기술이 도입됨에 따라 활발하게 시작되고 있으므로 이러한 연구결과를 확장하면, 고출력 무선전력전송에 의한 인체영향 연구로 확대할 수 있을 것이다.

인체영향에 대한 전 세계 가이드라인은 그림 1과 같이 IEEE 또는 ICINRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection)에서 발표한 가이드라인을 기초로 하며, 각 국에서는 이를 근거로 다양한 국가 레벨을 제정하고 있다. 하지만, 이태리 등 선진 각국의 경우 ICINRP 규정의 1/10이하로 규정을 정해 강화하고 있는 상황이다. 따라서 무선전력전송의 경우 서비스 영역에서 각 국의 기준을 초과해서는 안 된다. 아직까지 무선전력전송의 상용화가 이루어지지 않았으므로 경우 논의가 되고 있지는 없지만, 상용화될 경우 인체영향이 국가에서 정한 가이드라인을 벗어나지 않도록 유념해야 한다. 게다가 최근에는 전자파를 환경 오염 관점에서 살피고 있으며, 전자파 총량제, 전자파 환경평가 문제 등이 대두되고 있어, 무선전력전송의 상용화 시 이 점을 고려하여 매우 엄격하게 인체영향 가이드라인을 제시하여야 한다.

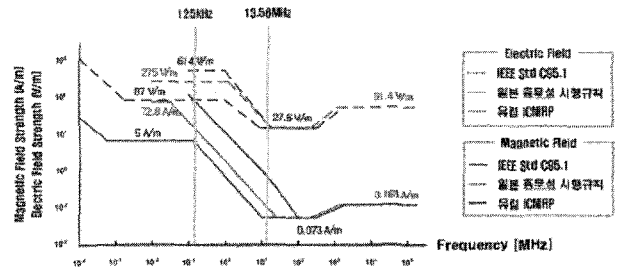


그림 1 무선전력전송의 인체영향 규제 기준

3.2.3 EMI/EMC

무선전력전송 기술은 대전력을 무선으로 송신하므로 기존의 EMI/EMC 대책 기술과는 차원이 다른 문제가 발생한다. 과거 EMI/EMC 문제는 전도성 방사 (CE : Conducted Emissions)와 방사성 방사 (RE : Radiated Emissions)로 구분되어 왔으며, 전도성 방사는 전력회로에 의해 전력선에 영향을 주는 정도를 최대 30MHz 까지 규제하여 왔다. 반면 방사성 방사의 경우는 30MHz 이상의 고주파에서 발생하는 방사의 정도만을 다루어 왔다. 즉, 30MHz 이하에서는 전력선에 의한 전도성 방사만을 규제하여 왔다.

하지만 무선전력전송의 경우는 기존에 전도성 방사에서 다루어 왔던 주파수 대역에서 방사성 EMI/EMC를 다루어야 하므로 이에 대한 기준, 측정장비 및 측정방법 등에 대한 논의가 필요하다. 수 MHz 대역은 기존의 EMI 측정과는 달리 자기장에 의한 영향을 측정해야 하므로 루프 안테나 등의 측정장비, 근역장 측정시설 등이 필요하지만, 아직까지 이에 대한 경험 및 시설이 부족한 사항이다. 따라서 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

앞에서 살펴본 바와 같이 무선전력전송 기술은 향후 기술의 패러다임을 바꿀 수 있는 첨단기술이지만 기술적, 제도적으로 풀어야 할 문제가 많이 있으므로 체계적으로 접근하여야 한다. 특히, 기존 소출력 기술을 대출력까지 허용할 때의 전파법 등 기술기준 개정, 상용화되었을 때의 인체영향 및 EMI/EMC 등의 문제를 해결하여야 한다. 또한, 소형이면서, 고효율인 시스템을 저가로 개발하는 것도 기술적으로 쉽지 않은 상황이다. 따라서 이를 극복하기 위한 기술적, 정책적 준비가 필요하다. 이에 전 세계의 연구개발 동향을 예의 주시하고, 외국의 연구개발 사례를 타산지석으로 삼아 국내의 무선전력전송 기술의 연구 및 서비스 보급에 철저한 준비가 필요하리라 사료된다.

참고문헌

- [1] M. Soljacic et al., "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," Science, pp. 83-86, June 2007.
- [2] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, "무선 에너지 전송 기술," 전자통신동향분석 Vol.23, No.3, pp. 59~69, 2008.12.
- [3] Fulton 사 홈페이지, <http://ecoupled.com>
- [4] Wireless Power Consortium 홈페이지, <http://www.wirelesspowerconsortium.com>
- [5] 장병준, "RFID/USN을 활용한 에너지- IT 융합기술 동향," 전파진흥, Vol.19, No.3, pp. 18~27, May 2009.
- [6] 장병준, "무선전력전송 기술 동향 및 주요 이슈," 주간기술동향 1445호, pp.1~10, May 2010.

〈필자소개〉

**장병준(張炳俊)**

1968년 3월 15일생. 1990년 연세대 공과대학 전자공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1995년~1999년 LG전자. 1999년~2003년 한국전자통신연구원(ETRI). 2003년~2005년 정보통신연구진흥원(IITA). 2005년~

현재 국민대 전자공학부 부교수.