

근거리 무선 에너지 전송기술의 전파환경

문정익·조인귀·김성민 (한국전자통신연구원)

I. 개요

100여년전 테슬라는 대형 타워를 만들어 무선으로 전력을 전송하는 실험을 하였다. 그 당시 사람들에게 테슬라는 엉뚱한 생각을 하는 사람으로 인식되었을지도 모른다. 사실 무선 에너지 전송은 전송되는 에너지량과 전송거리를 고려하지 않는다면, 축전지(capacitor)에 교류전류가 흐르는 것이나 변압기의 1차코일에서 2차코일로 에너지가 전달되는 것과 같은 의미이다. 또한 전달 에너지가 미약할 뿐 무선 통신과 동시에 이루어지는 현상이다. 다만 일반인들이 '무선 에너지 전송'이라는 느낌을 얻을 만한 새로운 상품이나 서비스를 일

상에서 경험해 보지 못하였을 뿐이다.

새로운 연구주제와 상품화 시장을 갈망하던 시기에 MIT는 2007년 SCIENCE지에 자기공명기술을 이용하여 무선으로 에너지를 전달하는 기술을 소개하였다^[1]. 자기공명기술의 기본적인 개념인 coupled-mode 이론은 이미 소개된 바가 있다^[2]. 직경이 60cm인 송수신 코일로 2m 가량 떨어져 있는 램프에 불이 들어오게 함으로 세계적으로 '무선전력전송 기술'은 다시 집중적인 관심을 받게되고 학회에서도 많은 논문들이 발표되고 있다. 또한, 관련 산업체과 관련 기관들을 중심으로 무선 에너지 전송 기술 표준화 및 산업 활성화 노력이 진행되고 있다^[3,4].

RF(Radio Frequency)를 사용하는 무선 에너지 전송 기술은 <표 1>과 같이 크게 세 가지로 분류된다.

상기한 세 가지 기술들은 모두 공간으로 에너지를 전송하는 목적이므로 전파 환경을 반드시 고려해야 하며 이에 대한 기준 마련 뿐만 아니라 기술적인 극복이 수반된다.

<표 1> RF를 이용한 무선 에너지 전송 기술의 분류

| 동작 방식 | 자기유도 (Magnetic Induction) | 자기공명 (Magnetic Resonance) | 안테나 (Antenna) |
|-------|---|---|---|
| 동작 원리 | 송수신 코일간 전자기 유도 현상 | 공진 주파수가 동일한 송수신 코일간의 자기 공명현상 | 안테나의 원역장 방사원리 |
| 장점 | 수mm~수cm내 고효율 에너지 전송 | 수cm~1m 범위(근거리)에서 고효율 전송이 가능하고 공진체의 자유도가 높음 | 원거리 에너지 전송이 가능 |
| 단점 | 전송거리가 매우 짧고 코일간 정렬이 중요 | 공진체 설계가 어렵고 전파 환경 극복이 필요 | 전송 효율이 낮으므로 높은 전력을 전송하는 경우 환경문제 심각 |
| 사례 |  |  |  |

II. 근거리 무선 에너지 전송 환경 기술 동향 분석

전파 환경은 보호대상 측면과 기술적인 측면으로 구분하여 생각할 수 있다. 우선 보호대상 측면에서 가장 우선은 사람 보호이며 RF 에너지 전송 기술의 산업 활성화를 위해서 가장 먼저 고려되어야 할 사항이다.

2010년에 ICNIRP(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection)에서는 <표 2>와 같이 3kHz~10MHz 대역의 시변 전자기장에 대한 일반인들의 노출 기준 레벨을 개정 발표하였다^[5,6].

〈표 2〉 일반인들의 시변 전자기장에 노출되는 기준레벨 비교

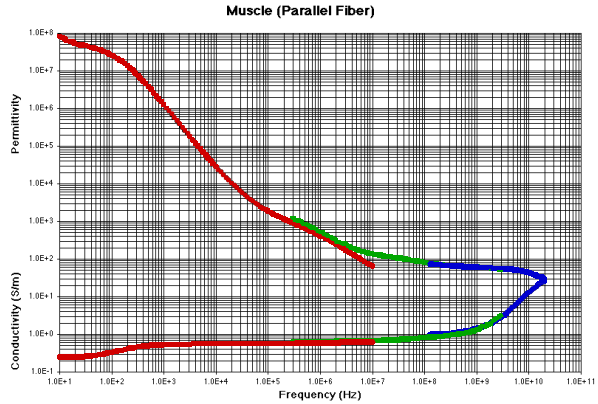
| 주파수 범위 | 전계강도(V/m) | | 자계강도(A/m) | |
|-----------|-----------|-----|-----------|-----|
| | [5] | [6] | [5] | [6] |
| 3~150kHz | 87 | 83 | 5 | 21 |
| 0.15~1MHz | 87 | 83 | 0.73/f | 21 |
| 1~10MHz | 87/√f | 83 | 0.73/f | 21 |

(예) 전송 주파수가 1.8MHz인 경우 전계와 자계강도는 각각 64.8V/m, 0.544A/m에서 83V/m, 21A/m로 노출 기준이 변경되었다.

개정된 기준 레벨은 1998년에 발표된 것에 비해 전체적으로 완화된 경향을 보이며 특히 자계 강도는 수배~수십배가 넘는 기준 레벨의 증가를 찾아 볼수 있다. 기준이 변한 근거는 문헌에 기술되지 않았으나 100kHz이상에서는 추가적인 논의가 더 필요한 것으로 주석을 달고 있어 무선전력전송을 이용한 제품에 어떤 식으로 적용이 될 지와 일반인들이 어떻게 받아들일지, 그리고 각 국가별로 어떤 기준을 적용할지는 아직 미지수이다. 그러나, 변경된 기준치를 적용할 경우 높은 전력을 먼거리로 전송하는데 유리한 상황임은 분명하지만 〈그림 1〉과 같이 주파수에 따른 인체 조직의 전기적인 특성을 고려해야 하므로 이에 대한 지속적인 연구와 결과 분석이 필요하다^[7].

다음으로 의도성 기기, 비의도성 기기에 대한 보호가 필요하다. 이를 위하여 전송 방법과 전력 레벨 그리고 간섭을 주지 않기 위한 적절한 주파수 대역의 결정이 이루어져야 할 것이다. 전송 주파수의 경우 온라인 자동차는 20kHz^[8], 휴대폰 무선충전을 위한 자기유도 방식은 110~205kHz를 사용하고 있다^[9]. 자기공명 방식은 아직까지 정해진 바가 없으며 ETRI에서는 수백 kHz부터 수MHz까지의 주파수를 대상으로 근거리 무선 에너지 전송에 적합한 주파수 대역 연구를 진행 중에 있다.

기술적인 측면에서는 표준기술, 측정기술, 대책기술로 구분된다. 이것들은 독립적이지만 상호 공존적인 관계를 갖고 있다. 표준기술은 보호 기준치, 기준치 시험방식, 절차, 교정 등을 포함하고 있으며 측정기술은 전파환경에 대한 정확한



〈그림 1〉 주파수에 따른 인체(근육)의 비유전율과 도전율의 변화^[7]

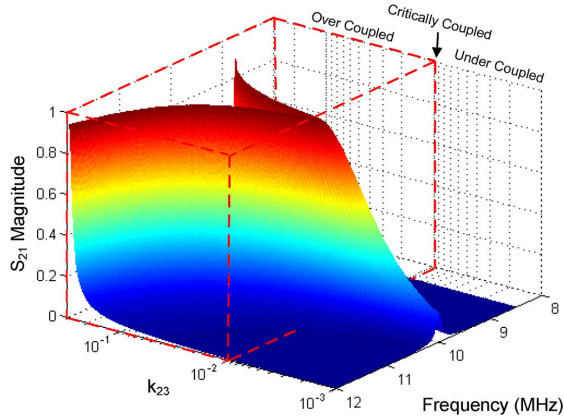
판단을 위해 필요한 물리량의 측정치, 측정방법, 교정 방법이 포함된다. 또한 대책기술은 시스템 레벨의 대책, 소자 레벨의 대책 등 전파 환경의 문제들을 해결하기 위해 구사하는 모든 기술을 담고 있다. 〈표 3〉에서는 RF를 사용하는 근거리 무선 에너지 전송 기술의 산업화를 위한 기반 기술을 정리하였다^[10]. 그중 인체영향과 타 기기에 최소 간섭을 주기위한 적절한 주파수 할당은 어려운 과제임에 틀림없으며 결정에는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다.

송신부, 공진부(코일부), 수신부로 구성되는 무선 에너지 전송시스템은 각 부분별로 극복해야 전파 환경문제를 안고 있다. 먼저 송신부의 경우는 특정 전송 주파수를 가진 신호 뿐만 아니라 불필요한 고조파(harmonic wave) 전자파가 동시에 발생하는 기술이 적용되므로 고조파를 억제하여 주변 기기에 영향을 줄여야 하지만 전송 신호의 감쇄를 동반하므로 많은 해결 노력이 필요하다. 공진부에서는 전송효율을 올리기 위해 높은 Q(Quality factor)값의 송수신 코일을 사용한다. 이 경우는 〈그림 2〉와 같이 공진체간의 거리가 가까워 질 때 과결합(over coupling)에 따라 공진 주파수가 2개로 나누어지고 전송 주파수에서 전송효율이 급격히 감소하는 현상이 발생한다^[11].

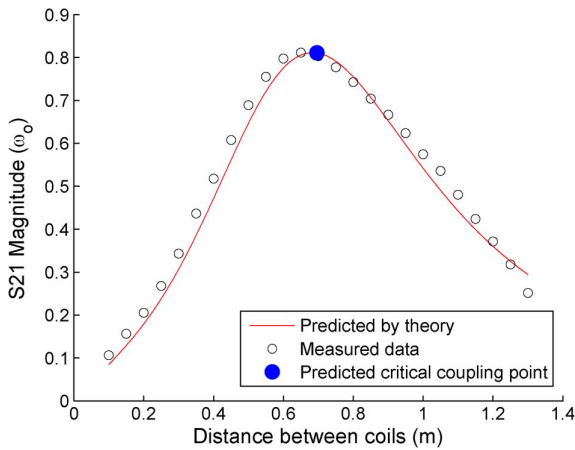
이에 대한 해결책으로 최적의 전송 주파수를 추적해 가는 알고리즘을 사용하고 있지만 한정된 주파수 대역폭 내에서 매우 제한적으로 적용할 수 있는 방법이며 부하의 임피던스

〈표 3〉 근거리 무선 에너지 전송 기술의 산업화를 위한 기반기술^[10]

| | 표준기술(기준) | 측정기술 | 대책기술 |
|-----------------|---|---|----------------------------------|
| 인체보호(EMF*) | • 전송주파수에 대한 인체 노출 전자기장 기본 제한치 검토 | • 저주파(10MHz이하) SAR 프로브 개발 | • 인체 보호 측면에서의 주파수 선택 연구 |
| 의도성 기기 보호(EMC*) | • 최소 간섭을 위한 적정 주파수 할당 • 무선 전력전송 기기의 ERP/EIRP 표준화 | • 근역장 E/H field 간섭평가기술 개발 • 무선 전력전송 기기의 ERP/EIRP 측정기술 개발 | • 공간복사량 저감기술 개발 • 간섭 보호 기술 개발 |
| 비의도성 기기 보호(EMC) | • 저주파 대역 복사 EMS/EMI 기준 정립 | • 저주파 대역 복사 EMS/EMI 기술 개발 | • 저주파 대역 복사 EMS/EMI 대책 기술 개발 |



(a)



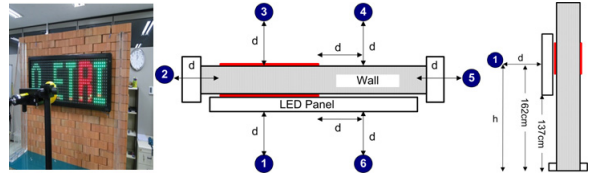
(b)

〈그림 2〉 송수신기의 결합(k23)에 따른 주파수 변화(a)와 전송 주파수에서 삽입손실(S21) 증가(b) [11]

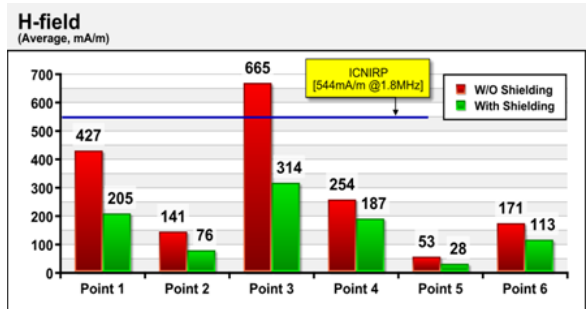
가 시간에 따라 변화하는 경우에 최적의 전송 주파수가 변하는 현상도 감안해야 한다. 따라서 전송 환경의 변화에도 전송 주파수를 고정하고 고효율로 에너지를 전송하기 위한 연구가 필요하다^[12].

수신부에서는 RF 신호를 다이오드와 같은 비선형 소자로 정류하므로 이 과정에서 발생한 고조파 성분의 신호가 시스템 내부 또는 외부에 영향을 줄 수 있다. 이러한 전송 시스템의 잠재적인 문제점들을 해결하기 위한 연구들은 시스템에서 목표로 하는 최대 전송 효율을 만족시켜야 하는 큰 부담을 가지고 진행되고 있다.

마지막으로 무선 전력전송 시스템의 비복사 특성을 시험적으로 증명할 기술 개발이 필요하다. ETRI에서는 전송 시스템의 복사량을 저감하기 위한 기술개발을 진행 중이며 〈그림 3〉과 〈그림 4〉와 같이 무선 전광판의 자기 방사량을 저감하는 연구 결과를 얻었다. 또한, TEM 라인 셀을 적용하여 무선전력전송 시스템의 저주파 대역 총 방사량(TRP: Total Radiated Power)을 측정하는 연구가 진행 중에 있으며 미국 NIST와 공조할 예정이다^[13].



〈그림 3〉 20W급 무선 전광판과 자기장 세기 측정환경(전송 주파수 1.8MHz, 측정거리(d) 20cm, 측정높이(h) 162cm)



〈그림 4〉 전자파 저감기술이 적용된 무선 전광판의 자기장 세기 측정결과(적용전: 왼쪽 막대, 적용후: 오른쪽 막대)

III. 결론

RF를 이용한 근거리 무선 에너지 전송기술은 에너지 유틸리티 시대를 여는 선두기술로 발전하고 있다. 이미 휴대폰을 비롯한 소형 통신기기용 충전제품들은 시장에 출시되어 소비자에게 판매되고 있고 수십 와트를 사용하는 가정용, 산업용 기기에 적용을 눈앞에 두고 있다. 그러나 전송 효율 개선과 전파 환경 극복 등이 해결 과제들로 남아 있어 완벽한 기술 개발과 지속적인 연구는 필수적이다. 특히 전파 환경 문제를 극복하는 일은 기술을 개발하는 사람들의 몫만이 아닐 것이다. 기술 개발과 정책 그리고 산업 활성화가 잘 조화를 이룰 수 있도록 각 분야의 전문가들이 힘을 모아야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Andre Kures, et al., "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonance", SCIENCE, Vol.317, 2007.
- [2] Hermann A. Haus, "Coupled-Mode Theory," Proceedings of The IEEE, Vol.79, Oct., 1991.
- [3] www.wirelesspowerconsortium.com
- [4] http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2011120602010531673002
- [5] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300GHz), ICNIRP, 1998.
- [6] Guidelines for limiting exposure to time-varying

- electric and magnetic fields(1Hz to 100kHz), ICNIRP, 2010.
- [7] <http://niremf.ifac.cnr.it/docs/DIELECTRIC/AppendixA.html>
- [8] “전기자동차 비접촉 충전의 동향과 전망”, A&D 컨설턴트, 2012
- [9] System Description Wireless Power Transfer, Vol.1, Wireless Power Consortium, 2011.
- [10] RF에너지 전송 기술의 전파환경, 한국전자파학회지, 2011년 9월.
- [11] Alanson P. Sample, “Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer,” IEEE Trans. On, Industrial Electronics, Vol.58, No.2, Feb., 2011.
- [12] 문정익 외, ‘가변 공진 주파수를 가진 공진체와 공진 제어방법’, 특허출원 준비중, 2012.
- [13] Jaehoon Yun, et al., “Single waveguide cell with double polarisations to generate standard electromagnetic fields“, Electronics Lett., 2012.



조 인 귀

1997년 2월 경북대학교 전자공학과(학사).
 1999년 2월 경북대학교 전자공학과(석사).
 2007년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사).
 1999년 5월~현재 한국전자통신연구원 전파기술연구부
 책임연구원
 <관심분야> RF 기술, 전파환경기술, 무선전력전송 기술



문 정 익

1996년 2월 영남대학교 전기공학과(학사).
 1998년 2월 영남대학교 전기공학과(석사).
 2004년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사).
 2004년 8월~현재 한국전자통신연구원 전파기술연구부
 선임연구원
 <관심분야> 안테나 설계 및 측정기술, 무선전력전송 기술



김 성 민

1997년 2월 경북대학교 전자공학과(학사).
 2009년 2월 경북대학교 전자공학과(석사).
 2002년 3월~현재 한국전자통신연구원 전파기술연구부
 선임연구원
 <관심분야> RF 회로 기술, 무선전력전송 기술