

RF 에너지 전송기술 산업화를 위한 분석

Analysis of RF Energy Transmission Technology to Realize Industry.

스마트 코리아 실현을 위한 실감
방송통신 융합기술 특집

윤재훈 (J.H. Yun)	미래전파기술연구팀 책임연구원
변우진 (W.J. Byun)	미래전파기술연구팀 팀장
최재익 (J.I. Choi)	전파기술연구부 부장
이호진 (H.J. Lee)	방송통신융합연구부문 소장

목 차


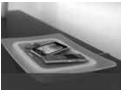


-
- I. 서론
 - II. 전기적 특성 측면에서 기반기술
 - III. 산업적 특성 측면에서 실용기술
 - IV. 기존기술 문제에서 핵심기술
 - V. 산업활성화를 위한 선진정책
 - VI. 결론

본 문서에서는 RF 에너지 전송기술의 동향을 살펴보고, 분석된 내용을 바탕으로 국가적인 차원에서 RF 에너지 전송기술을 어떠한 방향으로 이끌어 가야 하는지에 대해 기술하고자 한다. 국가가 반드시 수행해야 할 기반원천기술, 산업적 특성에 따른 신시장 혹은 신기술 구현을 위한 실용원천기술 개발 분야를 살펴볼 것이다. 또한 기존 자기공명방식에 대한 한계를 분석하여 한계를 극복하기 위한 핵심 원천기술을 서술하였다. 마지막으로 RF 에너지 전송산업이 국내에 잘 정착하기 위한 선도전파정책을 구현하기 위한 연구분야에 대하여 살펴보고자 한다.

I. 서론

전파이용기술은 “되어있는 기술”과, “되려고 하는 기술”이 확연하게 보이는 산업 분야이다. “되어있는 기술”이라 함은 주로 국내에서는 개발되지 않았지만 선진국에서는 이미 개발되어 상용화한 기술을 의미한다. “되려고 하는 기술”은 누군가는 가능성을 열어 놓았지만, 상용화가 되지 않고 있는 기술이다. 2007년 MIT 공대에서 제시되었던 자기공명방식의 RF 에너지 전송기술[1]은 후자인 것 같다. 자기공명방식의 RF 에너지 전송기에 대한 전시품은 <표 1>처럼 많은 업체가 전시를 통해 선보이고 있으나, 아직은 시장에 진입하지는 못하고 있는 기술이라고 볼 수가 있다. 아직도 MIT 공대에서 제시하였던 기초기술에 머물고 있는 기술이다. 많은 경제학자들이 이 분야에 대한 시장 활성화 단계를 5~10년 후로 평가하는 것으로 보아도 알 수 있다. 되려고 하는 기술은 우선적으로 가치평가를 하는 것이 필요하다. 이러한 가치평가는 경제적인 측면, 산업적인 측면, 기술적인 측면 등 다양한 각도에서 검토가 되어야 할 것으로 보인다. 가치평가가 이루어졌다면, 국가는 실용 측면과 기반 측면에서 선행적으로 해야 할 일에 얼마만큼의 투자를 해야 할지를 판단해야 할 것이다. 본 보고서는 이러한 판단을 마련하기 위한 기초자료로 분석된 내용이라고 볼 수 있다.

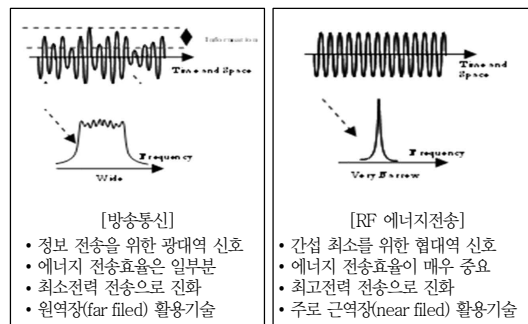
<표 1> 최근의 RF 에너지 전송기기 전시품 동향

	WiTricity (MIT Spin-off)	Qualcomm	Sony	Intel
기술 수준	Wireless TV and iPhone	Multi devices charging- (alternatively)	60W/50cm @80% efficiency	Spiral coil design
Target	HDTV CES, 2010	Cellular phone eZone, 2010	LCD TV 2009	Bulb 2008
전시품				

이러한 평가에 도움이 될 수 있도록, 다음 II 장에서는 RF 에너지 전송의 전기적인 특성 고찰을 통해 국가가 해야 할 기반기술 과제를 살펴보고자 한다. 다음 III 장에서는 전파간섭과 전파환경 문제를 벗어났다고 가정하였을 경우 RF 에너지 전송의 산업적 특성을 고찰하여 국가가 선도적으로 개발해야 할 실용 기술을 분류하고, 새로운 서비스 창출이 가능할 수 있는지의 여부를 분석하였다. IV 장에서는 기존의 MIT 모델에 대한 정밀 분석을 통해 해결해야 할 핵심개발 과제가 무엇인지를 분석하고자 한다. V 장에서는 RF 에너지 전송기술 산업화 조기 정착을 위한 선도정책에 대해 분석하고, VI 장에서는 결론을 정리하였다.

II. 전기적 특성 측면에서 기반기술

방송통신기술과 전파에너지 전송기술의 차이점을 (그림 1)에 나타내고 있다. 한마디로 표현한다면 방송통신기술은 정보를 전송하는 것이 목적이라면, 전파에너지 전송기술은 에너지를 전송하는 것을 목적으로 한다. (그림 1)에서 보듯이 정보를 전송하는 방송통신 기술은 데이터 속도를 빠르게 보내야 하고 보다 많은 정보 용량을 전송하기 위해, 일정 대역 이상의 주파수 대역을 갖는 광대역 통신의 발달을 요구하여 보다 광대역 신호를 전송하는 방향으로 진화해 가



(그림 1) 전파에너지 전송기술과 전파방송통신 기술과의 차이점

고 있다. 전파에너지 전송기술은 에너지만을 전송하는 것이 목적이므로 협대역 신호로도 충분히 에너지를 보낼 수 있기 때문에, 주파수 대역폭을 작게 갖는 협대역 신호를 활용하는 기술이라고 볼 수가 있다. 전자는 정보전달의 목적을 가지고 있어, 에너지 효율보다는 전송오율 및 간섭회피 등에 대한 성능확보에 주력하고 있다. 후자는 에너지 전송이 목적이므로 에너지 효율을 높이기 위한 기술이 주 관심 영역이라고 볼 수가 있다. 또한 전자는 간섭 및 휴대 등을 고려하여 될 수 있으면 저전력 전송기술에 대한 기술 개발에 집중하고 있는 반면, 후자는 전파환경이 허락하는 한 보다 큰 전력을 전송하는 기술 개발에 집중할 것으로 보인다. 정보통신기술은 주로 원역장을 이용하는 기술이라고 한다면 전파에너지 전송기술은 근역장을 활용하는 기술이다.

근역장은 안테나와 같은 송신소자 주변 강한 전기장 혹은 자기장 분포 특성을 지니고 있다. 비복사 공진을 강제로 발생시켜 송신소자 주변에 강력한 전기장 혹은 자기장을 발생시키고 이들이 원역으로 퍼져가는 복사 전파의 세기를 나약하게 만들어 인접에서 에너지만 전송할 수 있도록 구현하는 기술이다. 근역장은 주파수에 의해 공간적인 제약을 받게 되어 있다. 즉 주파수가 낮으면 보다 멀리 보낼 수 있는 특성을 가지고 있는 반면, 주파수가 높으면 전송거리가 짧아지는 근본적인 특징을 지니고 있다.

전파에너지 전송기술의 전기적인 특징을 보았을 때, 국가가 가장 먼저 관심을 가져야 할 것은 원역장에 대한 전파관리에 익숙했던 전파정책의 변화가 있어야 할 것 같다.

새로운 개념의 전파전송기술의 등장으로 인해 국가가 반드시 확보해야 할 기술이 무엇인가를 살펴볼 필요가 있다. <표 2>에 국가가 필요로 하는 기반기술

<표 2> 선행적인 준비가 필요한 무선에너지 전송기술의 국가기반기술

	개발되어야 할 기반기술	사유
전파 측정 기술	근역장 E/H 측정기술	동작영역이 넓은 프로브 부재
	전기장/자기장 교정기술	근접장 교정기술 부족으로 인해 측정정확도가 낮음
전파 간섭 평가 기술	근역장에 대한 간섭평가	정확한 근역장에 적합한 간섭평가 방법 부재
	근역장에 대한 주파수 배치	근역장 전파응용기술 배치경험 부족
전파 환경 평가 기술	기본제한치 평가용 패턴 및 프로브 기술	저주파 대역 패턴 및 프로브 기술 미확보
	3kHz~수십 MHz 대역에 대한 제한치 연구	ICNIRP와 IEEE의 격차가 심하여 논란 중에 있음

에 대해 정리하였다. 우선 먼저 근역장에 대한 전파측정기술 확보가 가장 우선적으로 필요하다. 근역장에 대한 평가기술은 전 세계적으로 정착되지 않은 분야이기 때문이다. 특히 근접에 존재하는 전기장을 정확하게 측정할 수 있는 기술이 확보되어야 할 것이다. 외부환경에 영향을 받지 않으면서 작은 프로브로 통한 수신 동작영역이 넓은 평가 기술 개발이 반드시 필요하다. 이 외에도 교정기술에 대한 정확한 가이드를 유도해 줄 수 있는 국가 기반의 측정기술 개발도 서둘러야 할 것이다.

근역장에 존재하는 전기장과 자기장에 대한 측정기술 이외에도 근역장에 대한 전파간섭평가 기술 확보도 선행적으로 필요하다. 협대역 비복사를 원칙으로 하고 있기 때문에 원역장에서 사용하는 방식으로는 전파를 관리할 수 없기 때문이다. 일례로 공중선전력으로 관리하는 방식으로는 간섭에 대한 올바른 평가가 이루어질 수 없으며, 원역장 통신방식에 적합한 EIRP/ERP 개념의 접근방식[2]과 근접에서의 전기장과 자기장 평가가 결합한 새로운 전파간섭평가기술의 개발이 필요할 것으로 보인다. 특히 저주파 대역에 대한 EIRP/ERP 측정기술은 전 세계적으로 확보가 되지 않은 기술이기 때문에 이러한 분야에 대한

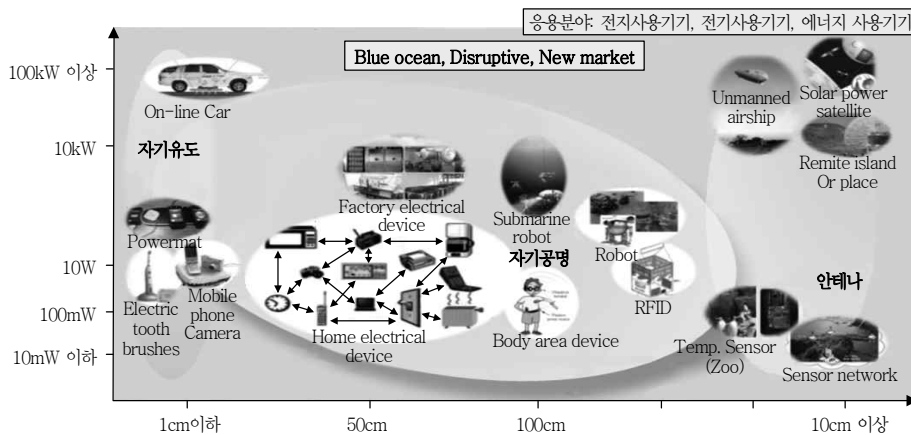
기반기술을 개발할 필요가 있다. 간섭평가는 어느 주파수 대역을 배치한다면 전파에너지 전송 산업 발전에 가장 유익한가를 결정하기 위한 전기적 특성에 대한 연구를 포함하여야 한다. 이외에도 근접에서 전파 간섭의 개념을 어떻게 바라보아야 일반 사용자들의 권리를 최대한으로 보장하면서 산업을 육성할 수 있겠는가?에 대한 선행적 검토가 필요하다. 또한 근역장에 대한 전파환경평가기술 확보도 필요하다. 전파환경평가기술은 주로 사람보호와 기기보호에 대한 기술이다. 사람보호는 미정착된 저주파 대역에 대한 자기장 및 전기장에 대한 평가를 어떻게 하는 것이 바람직할 것인가를 고려해야 할 것이다. 현재 50, 60Hz 전기 주파수 대역에 대한 연구[3]만 집중적으로 진행되었으나 3kHz~수십 MHz 대역까지 연구가 확산되어야 할 것이다. 기본제한치(basic restriction)에 대한 평가 마련과 기준레벨(reference level)의 평가 방법 마련에 대한 연구도 필요하다. 저주파용 팬텀에 대한 연구, 근접장에 대한 측정연구, 제한치에 대한 올바른 평가 등 사전에 준비되어야 할 사항들이 매우 많다고 볼 수가 있다.

이러한 준비가 늦어 진다면 산업화를 늦추게 되어 경제적인 손실을 불러올 것으로 보이기 때문이다. 기

기보호는 저주파 대역에 대한 전자파장해 측정방법에 대한 연구와 특히 프로브 교정 방법에 대한 연구, 근접장에 대한 내성력에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 보인다. 일반 기기들이 놓이는 환경의 경우 전기장이 수십 V/m인 반면에 전파에너지 전송기술에서는 이들 보다 높고 인체영향에서 제한하는 기준레벨보다 낮은 전파환경에서 기기의 오동작이 발생하지 않도록 하기 위한 기준을 세워야 하기 때문이다. 전파환경기술은 모든 기기들이 함께 안전하게 동작할 수 있음을 보장하기 위해 필요한 조치이기 때문에 새로운 기술에 대비해야 할 것이다.

III. 산업적 특성 측면에서 실용기술

전파에너지 전송기술은 전송방식에 따라 (그림 2)처럼 크게 3가지로 구분할 수가 있다. 자기유도방식, 자기공명, 그리고 안테나를 활용한 산란기술이 있다. 3가지는 모두 장단점이 있으나 안테나 방식은 원역장을 활용하는 기술이며, 전자의 2가지 방식은 근역장을 활용하는 기술이다. 산란기술은 <표 3>처럼 전송거리가 중거리 전송과 장거리 전송으로 구분이 가능하며, 주로 중거리 전송에서는 저전력 전송에 활용되고 장거



(그림 2) 전파 활용 무선 에너지 전송 응용기술

〈표 3〉 산란방식의 RF 에너지 전송기술

중거리 전송		장거리 전송
전송거리	수 m~10m 내외	수 km 이상
전송전력	저출력(mW)	중고출력(W, kW)
사용 주파수	~MHz	~GHz(2.45GHz, 5.8GHz)
사용 안테나	전방향성 안테나	지향성 array 안테나
특성	낮은 효율	수신 범위 내에 생명체 접근 불가
응용분야	Sensor, RFID, medical equipment,	전파 등대, 지상에서 비행체로 전력 전송 등

리 전송에서는 고전력 전송에 활용하고 있다.

중거리 전송에서 대표적인 응용은 RFID와 센서 통신 분야에 응용되고 있다. 또한 최근의 기술이 스마트폰의 시장 출시에 따른 센서 통신 분야의 활성화가 기대되고 있다. 따라서 중거리 전송 분야에서 특히 센서를 통한 IT 기술 구현 분야에 응용력이 높을 것으로 보인다. 일례로 무선센서를 활용한 건물에 대한 3D 안전 예고 시스템, 밀폐공간 공기상태 예보 시스템, 무선 내시경 시스템 등 다양한 분야에 활용이 기대되는 분야이다. 또한 장거리 전송분야는 배, 자동차, 사람 주변에서 함께 이동하는 24시간 무인 정찰기/기구 시스템, 전파등대 에너지 전송시스템 등 주로 안전성을 확보하기 위한 고전력 전송 분야에서 활용이 기대되는 분야이다. 그러나 이러한 분야는 수신 범위 내에서 생명체 전파 영향에 대한 문제와 안전성 보장이 선행되지 않고는 실용이 어려운 분야이기도 하다. 전파환경과 전파간섭에 대한 문제점이 제거된다면 그 활용도가 매우 높은 분야이기도 하다. 그러나 이곳에서는 원거리 전송을 목적으로 하기 때문에 에너지 효율이 낮은 근본적인 문제점을 지니고 있다.

이러한 기술이 활성화되기 위해서는 슈퍼게인 안테나 기술에 대한 원천기술 확보가 가장 선행적으로 이루어질 필요가 있다. <표 4>에서는 근역장을 활용하는 기술 분야인 자기유도방식과 자기공명방식이 있다. 자기유도방식은 초단거리인 수 cm 이하로 코

〈표 4〉 자기유도방식과 자기공명방식의 비교

자기유도방식		자기공명방식
전송거리	수 mm~수 cm 내외	수 m 이내
사용 주파수	수십 kHz~수십 MHz	
송수신기	비공진 코일	헬리컬 공진기 등
특성	상용화가 가장 많이 이루어짐	개발 초기단계(2007년 MIT 제안)
응용분야	휴대폰 등의 배터리를 포함하는 모바일 장치, 전기자동차 등	가전제품, 조명, 컴퓨터 및 주변기기, 모바일 장치, 로봇, 전기자동차 등

일을 이용한 분야로서 상용화가 가장 많이 이루어진 분야이다. 전기칫솔, 휴대폰 무선충전장치, 무선 전기자동차 등의 분야에서 활용도가 매우 높은 분야이기도 하다. 이러한 분야는 초인접에서 전력전송을 목적으로 하기 때문에 인체영향 방호기술을 적용하기 용이하기 때문에 더욱더 응용력이 높다고 볼 수 있다. 자기공명방식은 자기공진주파수를 지니는 낮은 높이로 구현한 헬리컬 공진기 등을 활용하는 기술이다. 이러한 기술은 수 m 이내로 보고 있으나 1~2m 이내에서 이루어질 것으로 보인다. 가전제품, 조명, 컴퓨터 및 주변기기, 모바일 장치, 로봇, 전기자동차 분야 등에 가장 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 보인다. 단 이러한 가능성은 전파환경과 전파간섭에 대한 문제를 해결했을 경우이다. 이 외에도 소형전자자동차, 경전철, 전파자전거 등처럼 소형모터 RF 에너지 전송시스템 분야와 박물관의 3D 영상, 실시간 교통정보용 티켓, 3D 위치 안내 시스템, 영상을 가진 신문, 잡지, 책 등 저가형 트랜스미디어기술을 유도할 수 있는 단거리 초고속 수동형 정보전송 시스템, 24시간 사람을 보호하고 유사시 인체와 떨어져 안전조치를 취해줄 수 있는 휴대용 소형로봇 전력전송시스템 개발이 가능할 것으로 보인다.

본 문서에서 특히 다루고자 하는 분야는 자기공명을 활용하는 기술에 관한 것이다. 중거리 전송기술에 활용될 수 있는 기술에 대해 집중적으로 살펴볼 것이

다. 근역장을 활용하는 기술이라는 점은 중요한 특성을 내포하고 있다. 또한 중거리 통신이 함께 결합한다면 다양한 응용 분야가 창출될 것으로 보인다. (그림 2) 처럼 RF 에너지 전송기술은 전지를 사용하는 기기, 전기를 사용하는 기기, 에너지를 사용하는 기기, 유효 후대전력을 높이는 분야에 응용하는 기술, 후대전력을 활용하여 전력전송을 요구하는 분야 등 다양한 각도에서 응용이 확산될 것으로 보인다. <표 5>에서는 지금까지 살펴본 RF 에너지 전송을 활용한 실용 기술 중에서 국가가 주관하여 조기 개발을 추진하여 산업화를 유도할 필요가 있는 기술을 나타내었다. RF 에너지 전송 휴대용 센서 시스템 기술과 중거리 초고속 수동형 정보전송 시스템의 경우는 사용자가 휴대하고 있는 소전력을 전송하여 구현되는 기술이기 때문에 인체영향에 대한 문제점은 없는 것으로 보인다. 다만 무선기기 간섭을 고려하여 개발한다면 차기년 이후 당장이라도 개발해도 무방한 기술로 보인다. 특히 스마트폰의 보급률이 높아가고 있어, 스마트폰을 이용한 각종 센서기술의 접목이 가능하고, RFID

의 저속 소용량 통신의 개념을 넘어서 값싼 대용량의 수동형 정보전송 기술 개발은 21세기의 새로운 개념의 서비스를 창출할 것으로 보인다.

IV. 기존기술 문제에서 핵심기술

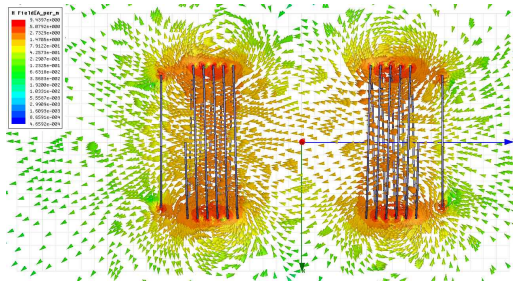
2007년 말 MIT 공대에서 제기된 자기공명방식을 활용한 에너지 전송기술의 개발은 자기유도의 전송 거리가 극히 수 cm 이내였던 것을 1m 이상까지도 전송의 가능성을 열어놓았다고 볼 수가 있다. 자기공명방식은 씨앗기술의 탄생을 이루어진 되려고 하는 기술이다. 앞 절에서도 살펴보았듯이 활용 측면에 산업적 가치는 매우 높은 것으로 판단하고 있다. 본 절에서는 이러한 기술에 대한 보다 엄밀한 분석을 통해 앞으로 확보되어야 할 핵심기술과제에 대해 언급하고자 한다. (그림 3)에 MIT에서 제안한 자기공명방식의 구조를 나타내고 있다. 그림처럼 헬리컬 타입의 공진체를 일정거리 떨어뜨리고 서로 마주보게 설치하며, 임피던스 정합을 위한 루프소자를 송신공진체와 수신공진체 각각에 대해 설치하였으며, 루프소자에 급전지점을 설치하여 동축케이블이 연결될 수 있도록 하였다. 헬리컬 공진체의 경우는 도선 간의 이격 거리를 좁게 설치하여 자유공간으로 복사되는 양을

<표 5> 전기적인 특성 측면에서 도출된 실용기술

	개발되어야 할 실용기술	연구범위
산란 기술	RF 에너지 전송 휴대용 센서 시스템 기술	3D 안전예고 무선센서, 밀폐공간 공기상태 분석 무선시스템, 무선 U-healthy 센서 네트워크 등
	24시간 무선감시 이동형 vehicle 시스템	24시간 해상용 무인정찰기, 육상용 무인정찰시스템, 차량기생 소형로봇 무인정찰시스템, 휴대용 정보로봇 등
자기 유도 기술	휴대용 하이브리드 무선충전장치	휴대용 고속 무선충전장치, 공공용 무선충전 인프라 구축, 유효 개인 휴대 전력 배가기술 등
	RF 에너지 전송 전기자동차 고도화 기술	슈퍼 커패시터 기술, 인체 영향영역 최소화 기술, 복사 전자기장 간섭 최소화 기술 등
자기 공명 기술	소형모터 RF 에너지 전송시스템	청소기기로봇, 소형전기자동차, 경전철, 간병 소형로봇 등
	단거리 초고속 수동형 정보전송 시스템	동형상 신문, 박물관 3D 영상안 내, 실시간 교통정보 제공 티켓, 무선 수동형 전자책 등



(그림 3) MIT 모델에 대한 자기장 측정



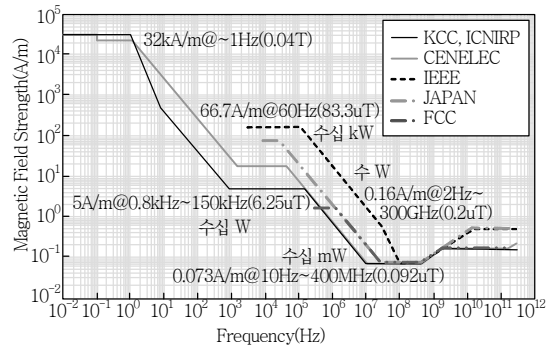
(가) 자기장 분포

(나) 전기장 분포

(그림 4) MIT 모델의 주변 전기장 및 자기장 분포

현격하게 줄일 수 있도록 하고 동시에 자기공진이 발생하도록 하였다. 공진의 발생은 도선에 전류의 세기가 진동을 하면서 커지는 역할을 하므로 도선에 급전 지점을 설치한다면 입력임피던스가 상대적으로 낮아지게 되어 일반 동축케이블에 의한 급전을 구현하기 어려운 문제점이 발생하게 되는데, 루프소자를 활용하여 임피던스를 동축케이블과 일치할 수 있도록 한 것이다. 루프소자와 헬리컬 공진체 사이의 이격거리는 임피던스 정합에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 보다 멀리 전송하고자 하는 경우 이격거리를 좀더 멀리 두어 설치할 필요가 있다. MIT 모델은 자기공명을 활용하여 전력전송을 구현하는 기술이므로, 공진체 주변에 매우 높은 자기장의 분포가 존재하게 된다.

인체영향에 대한 규격은 기준레벨에서 전기장과 자기장의 세기로 규제하고 있어, 상기 모델은 보내고자 하는 전력대비 주변에서 발생하는 전기장과 자기장의 세기가 매우 높다고 볼 수 있다. (그림 4)에 HFSS 상용도구를 이용하여 MIT 모델에 대한 특성



(그림 5) 인체보호를 위한 자기장의 기준레벨

분석 결과이다. 1Watt를 전송하고자 할 경우, 주변의 자기장의 경우 최대 9A/m까지도 발생하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 세기는 공진체와 공진체 사이에서 발생하는 값이다. 그러나 만일 상기 모델에서 공진체로부터 약 10cm 이상만 격리한다고 보면 그 세력은 1/10배의 전기장에 노출되도록 만들 수 있을 것이다. (그림 5)의 국내에서 채택하고 있는 ICNIRP의 기준레벨에서 자기장의 경우, 8kHz~50kHz가 5A/m이므로 약 5배의 여유가 있으므로 격리구간을 둔다고 하면 약 25Watts까지만 전력전송이 가능하다는 결론을 유추할 수가 있다. 이미 MIT 모델은 주파수에 따른 최대출력 전력이 정해지게 되는 문제점을 지니고 있다. 보다 높은 전력을 전송하기 위해서는 새로운 구조의 공진체 개발이 필요하다는 점을 알 수가 있다.

두 번째로는, 무선기기 보호 측면에서 전파간섭 측면에서 살펴보면, 우선 MIT 모델의 복사전력 이득을 면밀하게 분석해 볼 필요가 있다. 직접 실험하여 이득을 면밀하게 살펴보면 -12dBi임을 알 수가 있다. 이는 100Watts를 전송하면, 최소 8Watts는 공간으로 복사되는 양임을 알 수가 있다. 매우 많은 양의 복사가 이루어지고 있음을 알 수가 있다. 비복사를 주장하고 있지만, 전송전력이 높아지면 매우 많은 전력이 자유공간으로 복사가 이루어지고 있음을 볼 수가

있다. 이러한 복사특성은 다른 무선기기에 간섭을 유발할 수 있는 가능성이 높아지게 된다. 이를 최소 100m/Watts 이하로 유지하기 위해서는 약 20dB 이상의 개선이 필요함을 볼 수가 있다.

세 번째로는, 전기·전자기기 보호 측면에서 살펴보면, RF 에너지 전송이 일반인이 사용하는 공간에 놓이는 경우, 매우 높은 전기장과 자기장에 일반인이 사용하는 전기·전자가 놓일 확률이 높아지게 될 것이다. (그림 5)와 같은 레벨에 대한 전기·전자 오동작에 대한 보호 기준이 부재인 상태에서, RF 에너지 전송체 주변에 설치되는 전기·전자기기에 대한 전자파 적합성을 보장하기 어려운 문제점이 발생하게 된다. 인체보호에서 요구하는 레벨은 전기장 및 자기장에 대한 시험은 전자파적합성 시험이 아니라 자외선, 진동, 충격과 같은 물리시험에 포함되어 있다. 이에 대한 시험 규격에 대한 표준화는 존재하지만, 전자파 적합성 시험에는 없는 것이 현실이다. 물리시험은 전기·전자기기를 작동시키지 않은 상태에서 시험하는 것이며, 전자파적합성은 전기·전자기기를 작동시키는 상태에서 시험을 수행하는 내성력에 대한 시험임을 감안해야 할 것이다.

네 번째로는, 공진체의 높은 Q 인자 특성으로 인해 임피던스 정합이 보다 어려운 상황이다. 튜닝이 자유로운 임피던스 정합기술이 반드시 필요할 것이다.

다섯 번째로는 (그림 3)의 송수신 공진체가 매우 큰 것이 문제이다. 직경이 60cm에 이르기 때문에 그 응용 분야를 찾기가 매우 어려운 문제점을 지니고 있으며, 또한 급전방식이 루프를 활용한 3차원 급전구조를 지니게 되어 실장기술이 매우 어려운 문제점으로 작용한다. 이외에도 무선전송기술을 구현하기 위해서는 송수신회로에 대한 고효율화가 진행되어야 하며, 동시에 하모닉 성분에 대한 저감기술이 제시되어야 할 것이다. 이러한 관점에서 국가가 선행적으로

(표 6) MIT 기술의 문제점 분석을 통한 반드시 개발되어야 할 핵심기술

	개발되어야 할 실용기술	연구범위, 사유
규제극복 기술	인체영향저감 기술개발	MIT 모델은 100Watts RF 에너지 전송이 어려움, 25Watts까지 가능
	비복사 기술 개발	MIT 모델은 복사전력이 매우 높아 무선기기 간섭을 유발할 가능성이 높음
	전자파적합성 기술개발	근역장에 대한 전자파적합성 시험 부재
성능극복 기술	송수신소자 소형화 기술	휴대용 기기에 적용하기에는 너무 큼
	공진체 임피던스 정합기술	Q 인자가 높기 때문에 주변환경에 따른 영향이 높음, 주파수 변환 기술
필수구현 기술	고효율 송수신기 개발	고효율 송신회로, 고효율 정류회로, 소형화, 간섭량 최소화
	지능형 송수신 시스템 개발	고효율 및 안전성 확보를 위한 무선 통신에 의한 지능형 제어 기술 구현

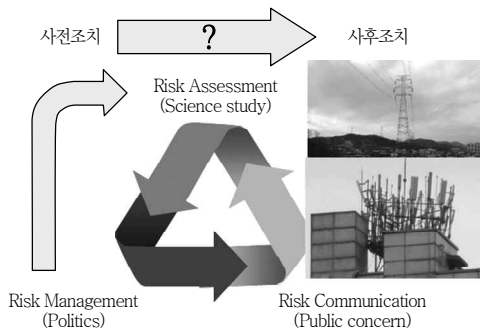
개발해야 할 핵심 실용기술은 <표 6>에 정리하였다.

자기공명방식의 이론적인 분석이 충분한가?가 검토되어야 할 것으로 보인다. 통상적으로 자기유도는 등가회로 모델링을 통해 해석이 가능하고 분석에 있어서 큰 문제점이 발생하기 않으며, 산란방식에 의한 전력전송기분 분석은 full wave equation(FDTD, MoM, FEM, BEM, MMM[7] 등)을 통한 해석을 통해 가능하다. 허나 자기공명방식의 경우는 등가회로 모델링에 의존하고 있으나, 정확도가 다소 결여되고 합리적인 설계방식을 유추하기에는 좋은 방식이나 새로운 가능성 모델을 구현하는 데는 한계가 있다. 그렇다고 해서 분석은 full wave equation으로 해석하는 방식을 취하면, 계산 시간이 매우 많이 소요되는 문제점을 해결하기 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 준정적 근사법과 분석은 full wave equation이 결합한 새로운 해석 방법이 개발되어야 할 것이다. 새로운 해석엔진을 개발하는 것은 매우 어렵고 많은 시간이 필요하지만 장래에 RF 에너지 전송분야를 앞서가기 위해서는 반드시 개발하고 넘어가야 할 것으로 보인다.

V. 산업활성화를 위한 선진정책

RF 에너지 전송기술은 전파환경과 매우 밀접한 관련이 있는 기술이다. 이러한 기술을 산업화하기 위해서는 반드시 (그림 6)과 같은 전파 역기능에 대한 위험성 관리가 필요하다. 위험성 관리는 시장 진입 이전에 수행하는 것이 경제적으로나, 사회적으로도 매우 유리하다. 일례로 이동통신기지국에 대한 위험성 관리를 사전에 실시하였다고 한다면 과연 무분별하게 건물 옥상에 철탑을 세워 구현했을까? 이러한 시설은 국민들의 혐오시설로 작용하여 전자파에 대한 불안감으로 작용한다. 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 사전 위험성 관리를 통해, 지역주민협의회와 협의를 통해 혹은 이동기지국 회사 설립을 통해 기지국안테나를 쉽게 찾아보기 힘들게 설치하였다. 미국, 유럽, 일본 등 대도시에서 쉽게 이동기지국 철탑을 찾기 힘들도록 설치한 것을 알 수가 있다. 국내 이동기지국 철탑을 재설치하기 위해서는 6조 원의 사회적 간접비용이 들 수 밖에 없는 것이 현실이다. RF 에너지 전송기술도 동일하다. 이는 근역장을 기반으로 하기 때문에 인프라 구축을 통해 이루어지는 산업이다. 따라서 위험성 사전관리에 대한 정책실현이 무엇보다도 필요하다.

새로운 서비스를 창출하는 “되려고 하는 기술”의 경우, “되어있는 기술”과는 달리 빠른 시간 내에 산

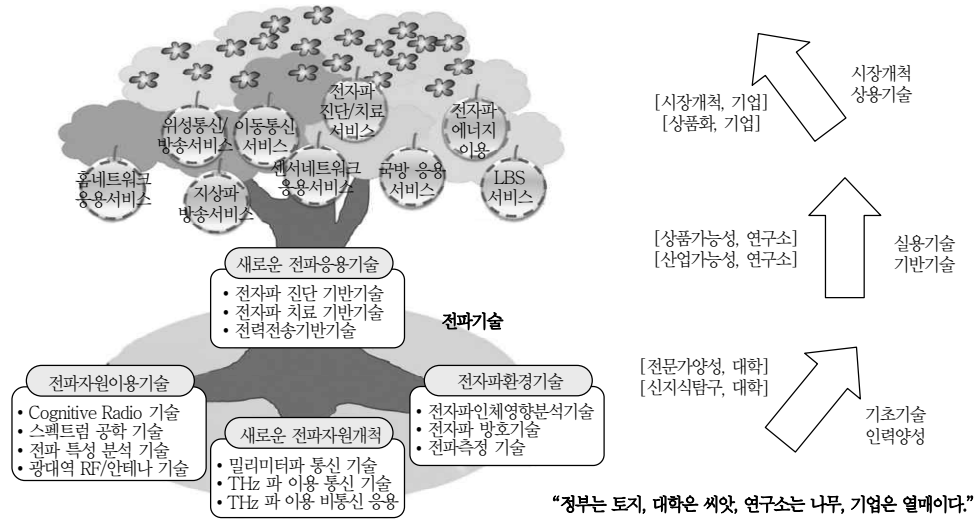


(그림 6) 위험성 사전관리에 대한 필요

업화를 유도하기 위해서는 (그림 1)처럼 3단계로 분리하여 진행하는 것이 바람직하다. 기초기술, 실용기반기술, 상용기술로 구분하고 학교, 출연연구소, 산업체가 각각 역할분담을 통해 합리적 개발 체계 수립을 통해 이루어져야 할 것이다. 실용기술이라 함은 상용기술 이전인 상용 가능성을 확보하는 기술이라고 볼 수가 있을 것이다. 즉 중소기업이나 대기업이 부담하기에는 너무 비용이 많이 소요되거나 상품화하기에는 너무 경제적 위험성이 높다고 판단되는 기술이다. 기반기술이라 함은 이를 상품화하여 시장에 적용하기 위해서는 국가가 먼저 준비해야 할 기술이 무엇인가에 대한 화답이다.

RF 에너지 전송기술에 있어서, 기반기술이라 함은 우선적으로 주파수 배치가 되어 있는가부터 고려되어야 한다. 어떠한 주파수를 배치해야 유무선 간섭, 물리적 특성, 안전성 확보, 경제적 가치, 국제적 경쟁 등에 가장 바람직한가에 대한 답변이다. 또한 동시에 전파환경에 대한 고려가 검토되어야 한다. 사람의 영향을 충분히 보호할 수 있는가?, 무선기기 간섭보호가 가능한가?, 그리고 전기전자기기의 오동작을 보호할 수 있는가?를 위해 국가가 선행적으로 무엇을 해야 하고 무엇을 준비해야 하는가를 동시에 검토해야 할 것이다. 선진화된 주파수 배치는 전파간섭, 전파환경, 성능한계를 동시에 고려하여 선행적으로 배치하는 정책으로부터 시작되어야 한다.

(그림 7)처럼 전파응용기술 중심으로 “되려고 하는 기술”을 나무에 비교한다고 보면 정부는 새로운 품종의 나무들이 커가는 옥도를 제공하는 역할을 수행해야 할 것이다. 신기술 개발을 활성화시켜 시장에 나가 잘 정착하고 함께 가꾸어가기 위한 환경을 조성해야 한다. 대학은 인력양성의 몫도 있지만 기초기술에 대한 학습과 연구를 수행하여 훌륭한 인재를 양성하고, 동시에 새로운 분야를 열어줄 수 있는 씨앗과



(그림 7) 정부, 학교, 출연연구소, 산업체의 역할분담

같은 기초기술 개발에 집중해야 할 것으로 보인다. 정부출연연구소는 실용기술과 기반기술에 집중하여, 씨앗을 키워 나무를 만들고 열매가 맺을 수 있는 가능성을 열어주어야 하며, 미래 서비스 환경의 상용화 가능성이 높아 가도록 국가 기술 개발에 총력을 기울여야 한다. 기업은 시장을 개척하고, 시장에서 필요로 하는 상용기술 개발에 집중해야 할 것이다. 되어있는 기술 개발에 익숙한 연구개발 분야를 탈피하기 위해서는 역할 분담을 통해 되려고 하는 산업을 활성화할 수 있도록 체계적인 역할 분담을 통해 추구해야 할 것이다. 개발의 주기가 빠르게 진행되고 있는 현실을 감안한다면, 개발과 함께 국가 기반기술도 동시에 진행하여 새로운 서비스가 국내외 시장에 곧바로 진입이 가능하도록 준비해야 할 것으로 보인다. 개발 이후 수년이 걸려서 시장에 진입하는 구시대적인 개념에서 탈피하여 보다 적극적인 국가 기반을 마련해야 할 것이다.

VI. 결론

예전에는 개발기간의 주기가 긴 것이 전파 산업의 가장 큰 특징이었다고 한다면 지금은 아닌 듯 싶다.

이러한 기술 산업화에 대한 국가적 차원의 투자를 하기 위해서는 체계적인 계획의 수립을 통해 이루어져야 할 것으로 보인다. 따라서 보다 냉정하게 현재의 기술 수준을 분석해 보고 더해야 할 기술 개발이 있는지? 그러한 산업화를 위한 원천기술이 충분히 확보되어 있는지? 그리고 산업화를 위한 국가 기반은 충분히 확보되어 있는지? 등을 따져 보아야 할 때 인 듯 싶다. “되려고 하는 기술”은 개발을 중심으로 국가 R&D 정책을 수립하고, 선진국을 답습하는 형태에서 벗어나 독자적인 기술을 개발하고 국제적인 협력을 얻어내는 방향의 정책 수립이 절실히 필요한 것 같다. 독자적인 기술에 대한 국제적인 협력을 얻기 위해서는 합리적인 정책 수립이 제일 먼저 이루어져야 한다. 국제적 논리 개발이 필요하다는 점이다. RF 에너지 전송기술에 대한 ISM 대역 확산은 바로 이러한 노력의 일환으로 진행되어야 한다.

전파를 이용한 에너지 전송기술은 “되려고 하는 기술”이다. 2007년 말에 MIT 공대의 작은 연구실에서 불씨가 되었던 기술 분야인 두 개의 공진체를 이용한 중간 거리에 대한 에너지 전송기술의 구현은 과히 놀랄만한 기술임에 틀림없다. 응용분야에 대한 확

고 부동한 시장성 및 경제성이 뚜렷한 서비스 분야가 확실하기 때문에 더욱더 그러하다. 경제학자들은 이 분야를 경제 용어로 가장 좋은 말로서의 표현을 서슴치 않고 있다. 신시장 조성 혹은 서비스 분야, 블루오션 기술 분야, 최첨단 기술 분야, disruptive 기술 분야라는 점이다. 개발에서 이어지는 시장 진입의 가능성과 성공 가능성이 매우 높은 산업적 혁명을 불러올 수 있는 분야라는 점이다. 이러한 기술은 시간과 투자 규모가 중요하다.

약어 정리

EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ERP	Effective Radiated Power
RF	Radio Frequency

참고 문헌

[1] André Kurs et al., "Magnetic Resonances Wireless Power Transfer via Strongly Coupled,"

Science, vol. 317, 2007, p. 83.

- [2] 윤재훈, "ERP/EIRP 제도 개선을 위한 국가 기반 기술 분석," 한국전자통신연구원, TM-07MR1810-MI-S-S40-001A, 2007.
- [3] WHO EHC 238, ICNIRP 자료, 2008.
- [4] Marcel Jufer, "Electric Drive System for Automatic Guided Vehicles Using Contact-free Energy Transmission," *13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008)*, 2008.
- [5] R. Steiner, P.K. Steimer, F. Krismer, and J.W. Kolar, "Contactless Energy Transmission for an Isolated 100W Gate Driver Supply of a Medium Voltage Converter," *IEEE International Symposium*, 2009.
- [6] "System Description Wireless Power Transfer," Wireless Power Consortium, Volume I: Low Power Part 1: Interface Definition, Version 1.0, July 2010.
- [7] Youndo Tak, Jongmin Park, and Sangwook Nam, "Mode-Based Analysis of Resonant Characteristics for Near-Field Coupled Small Antennas," *IEEE Antennas and wireless propagation letters*, vol. 8, 2009.