

무선전력전송 기술, 규제, 표준화 및 산업 동향

장원호 WG9091 의장, 한국전파진흥협회 전파진흥본부 연구위원

1. 머리말

모바일 무선전력전송 시장은 작년 10조 원 규모를 넘어섰고, 2032년엔 거의 50조 원에 육박할 것으로 전망된다[1]. 반면, 작년 전기차 무선충전 시장은 수신기만 보면 4,000억 원 수준이며, 2032년에도 3조 원에 조금 모자라는 수치다. 스마트폰 무선충전 이후, 새로운 무선충전 플래그십 제품이 나오지 않고 있다.

향후 몇 년간은 모바일 분야에서 계속 시장이 확대될 것으로 보인다. 스마트폰의 경우, 작년 6조 8,000억 원 규모이며, 2032년에는 30조 원을 넘어설 전망이다. 노트북(65W)과 웨어러블 기기 무선충전 시장도 만만치 않다. 작년 4조 6,000억 원을 형성했고 2032년 18조 8,000억 원으로 전망 된다.

무선충전 시장은 아직 모바일 기기에 머물러 있는 듯하다. 그 원인은 아직 무선전력전송 기술이 성숙되지 않았기 때문이라고 생각한다. 즉, 전자파 저감 등 규제 극복기술을 완벽하게 개발하지 못하고 있다. 법제도가 돼 있는 200W 이하 무선전력전송 기기는 충분히 규제를 만족하고 있다.

하지만, 그 이상 출력인 200W 이상에서 최대 100kW까지의 무선전력전송 기술을 보면 부족한 면이 많다. 소형화, 경량화, 저비용화 및 전자파 문제에 대해서도 수요자인 자동차 제조사의 요구를 만족하지 못하고 있다. 현재 수준을 보면 자동차용 무선충전기 사이즈가 30cm를 넘어서고 있으며, 전장에 간섭을 주지 않게 하는 차폐 알루미늄에도 80cm 가까이 되는 철판을 달아야 한다. 그리고, 무게 역시 11kW급 무선충전 수신패드의 경우 20kg이 넘고, 전자파도 만족스럽지 못한 수준이다. 이것을 해결하지 않고선 무선전력전송 상용화는 아직 멀었다.

<표 1> 국내 무선전력전송용 주파수 및 출력

구분	전기자동차용(근거리)			모바일·가전용(근거리)	
	19~21kHz	59~61kHz	79~90kHz	100~205kHz	6765~6795kHz
허가면제(출력제한)	<ul style="list-style-type: none"> •200W 이하 이동수단 전동기기용 •11kW 이하 전기자동차용 			<ul style="list-style-type: none"> •200W 이하 가전기기용 	

출처: 2024 무선전력전송 컨퍼런스

2. 국내외 기술 및 표준화 동향

국내의 경우, 소출력 분야는 세계 최고 수준이나 애플(Apple) 맥세이프(MagSafe)와 같은 섬세한 기술이 아쉽다. 자동차 내부 무선충전 모듈의 경우, LG전자가 세계 시장 점유율 상위권에 있다.

다만, 작년 LG전자에서 중견기업으로 사업이 스핀오프 됐다. 중출력 분야에선 ETRI(한국전자통신연구원, Electronics and Telecommunications Research Institute)와 KAIST(한국과학기술원, Korea Advanced Institute of Science and Technology)가 세계 최고 수준 기술을 개발하고 있다. 고출력 분야는 KAIST가 2009년 100kW급을 개발한 이후 꾸준히 기술 보완을 하고 있다. KAIST는 전기도로에 사용하는 다이내믹 무선충전을 세계 최초로 개발해 대전 등에서 시범서비스를 진행하고 있지만, 확산되지는 않고 있다.

원거리 무선충전은 송실대, 성균관대, 한양대(ERICA) 등에서 기술개발 중에 있으며, 2030년 중하반기 썸엔 일상생활 기기로 확산될 정도로 기술·제도가 발전할 전망이다. 관련 표준화는 TTA의 PG909 스마트전력전송 프로젝트그룹에서 진행하고 있다. 무선전력전송 표준은 국내보다는 국제표준이 영향력 있으며, 국내는 산업체를 위해 국제표준을 도입하는 실정이다. 국내 기술로서 로봇 무선전력전송기술에 대한 기술표준이 개발된 것은 주목할 만하다[2]. 최근 과학기술정보통신부에서 제4차 전파진흥기본계획에 무선전력전송 기술을 10대 기술의 하나로 선정함으로써 이 분야 정책 지원이 더욱 활발해 질 전망이다[5].



출처 : 과학기술정보통신부

[그림 1] 제4차 전파진흥기본계획 중 무선전력전송 기술

국외의 경우, 모바일 분야는 WPC(무선전력컨소시엄, Wireless Power Consortium) 표준이 주도하고 있다. 한국은 이에 대응해 많은 노력을 기울였으나, 시장 지배력이 강한 애플에 밀려 Qi 2.0 맥세이프 표준을 따를 전망이다[3]. 맥세이프 기술은 이미 초창기 때 사용하다가 자석과 자기유도 쇄교와의 간섭으로 사용을 중단한 기술이다. 소출력 분야는 새로운 기술이 필요한 것이 아니라 폐기된 기술을 재활용하는 이러한 아이디어가 필요하다. 중출력 분야는 미국과 일본이 스마트 공장에 사용하는 물류로봇이나 제조공정에 무선 전력을 융합해 혁신을 일으키고 있다[6]. 고출력 분야에선 와이트리시티(WiTricity)와 테슬라(Tesla)가 전기차 표준 및 시장을 선점하려 하고 있다. 다이내믹 무선전력전송은 KAIST가 세계 최초로 개발했으나, 미국 인덕트 이브이(Induct EV)나 이스라엘 일렉트리온(Electreon)이 영국, 스웨덴, 중동, 미국 내 도로에 인프라를 구축하고 있다. 전기차 무선충전 관련 표준화는 IEC TC 69에서 진행하고 있으며, 이미 IEC 61980시리즈로 발표되고 있다. 원거리 무선충전은 구루(Guru), 샤오미(Xiaomi), 에이터링크(Aeterlink) 등에서 기술을 개발하고 있으며, 일본은 국내 표준개발을 통해 산업 활성화 지원에 앞장서고 있다[4]. 원거리 무선충전 표준은 에어퓨엘 연합(Airfuel Alliance)이 담당하고 있지만, 지난 과거를 보면 제대로 역할을 수행

할 수 있을지 의문이다. 원거리 무선충전기의 전자파 인체노출 우려로, IEC TC 106에서 표준화를 선행하고 있다.

모바일 분야의 사실상 표준화는 WPC가 담당하고 있으며, 최근 30W 이상까지 출력을 올리고 있는 중이다. WPC에선 10여 년 전부터 주방가전 표준을 개발하고 있으나, 주방가전 특성상 표준이 무의미하므로, 10년이 지나도록 표준화된 제품을 출시하지 못하고 있다. 마찬가지로, 6.78MHz를 사용하는 자기공진 표준을 개발하는 에어퓨엘 연합에서도 기관 설립 이후 지금까지 자기공진방식 표준 제품을 출시하지 못하고 있으며, RF 빔 방식 표준화로 전환했다[7].

무선전력전송용 주파수는 ITU-R에서 표준화를 진행하고 있다. 전기차 무선충전용 주파수 표준은 ITU SM.2110-1로서 19-21kHz, 55-57kHz, 63-65kHz, 79-90kHz가 있다. 여기서 55-57kHz, 63-65kHz는 BBC 방송국과 일본 표준시보 주파수와와의 간섭으로 인해, 59-61kHz 대신 차선택으로 지정한 주파수다. 필자의 주관적 의견이지만, 산업체에선 해당 주파수 대역은 활용하지 않을 것을 권하고 싶다. 모바일 및 포터블 무선충전용 주파수 표준은 ITU SM.2129-1로서 100-148.5kHz, 315-405kHz, 1,700-1,800kHz, 2,005-2,170kHz, 6,765-6,795kHz, 13,553-13,567kHz가 있다. 작년 미국 주도로 1,700-1,800kHz, 2,005-2,170kHz가 포함된 것은 주목할 만하다.

<표 2> ITU가 권고하고 있는 전기차 및 모바일용 무선전력전송용 주파수 대역

주파수 범위	논빔 WPT 기술	용도
19-21 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	전기차
55-57 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
63-65 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
79-90 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
100-148.5 kHz	자기유도 기술	모바일, 포터블 기기
300-400 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
1,700-1,800 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
1,950-2,150 kHz	자기유도 또는 자기공진 기술	
6,765-6,795 kHz	자기유도 기술	
13,553-13,567 kHz	자기유도 기술	

출처: ITU

원거리 무선충전용 주파수 표준은 ITU SM.2151-0으로서 915-921MHz, 2,410-2,483.5MHz, 5,726-5,875MHz, 61-61.5GHz가 있다.

<표 3> ITU가 권고하고 있는 RF빔 무선전력전송용 주파수 대역

주파수 범위	빔 WPT 기술	용도
915-921 MHz	Radio Frequency Beam	모바일 또는 휴대용 기기의 무선 충전 센서 네트워크의 무선 전원 및 충전
2,410-2,486 MHz		
5,725-5,875 MHz		
61-61.5 GHz		

출처: ITU

국내 전자파인체보호기준 시험측정방법 표준은 KS C 3369이다. 이는 가사용 저전압 전원설비를 이용하는 200W 이하 무선전력전송기기와 이동수단 전동기기용 무선전력전송기기(200W 이하)의 시험방법표준이다.

11kW 이하 전기자동차용 무선전력전송기기의 전자파강도 시험측정방법 표준은 KS C 3380이다. 국제표준화는 IEC TC 106에서 표준을 개발하고 있다. 아직은 주목할 만한 표준이 개발돼 있지 않다.

<표 4> 전자파인체보호기준 관련 국내표준

대상 기자재	기준	시험방법
가사용 저전압 전원설비를 이용하는 200W 이하의 무선전력전송기기	전자파 인체 보호 기준	KS C 3369
전기자동차용 무선전력전송기기(11kW 이하)		KS C 3380
이동수단 전동기기용 무선전력전송기기(200W 이하)		KS C 3369

출처: RRA

국내 전자파장해방지기준 표준화에서 가사용 저전압 전원설비를 이용하는 200W 이하 무선전력전송기기는 KS X 3143이다. 이동수단 전동기기용 무선전력전송기기(200W 이하)와 11kW 이하 전기자동차용 무선전력전송기기는 KS C 9811이다.

<표 5> 전자파장해방지기준 관련 국내표준

대상 기자재	기준	시험방법	
		장해	내성
가사용 저전압 전원설비를 이용하는 200W 이하의 무선전력전송기기	제8조	KS X 3143	KS C 9814-2
전기자동차용 무선전력전송기기(11kW 이하)	제23조	KS C 9811	KS C 9610-6-1 (가정용)
이동수단 전동기기용 무선전력전송기기(200W 이하)	제6조		KS C 9610-6-2 (상업용)

출처: RRA

3. 국내외 산업 동향

한국은 세계 최초, 최고 기술을 개발하고 있으나, 시장 장악력이 없어 선진국의 시장 창출을 기다리고 있는 실정이다. 일본은 특히 제조공정 무선전력에 주력하고 있다. 일본 국내 시장 규모만 해도 수천억 원에 달한다. 자동차 생산라인 제조공정의 무선전력화는 한국에도 일부 진출하고 있다. 미국에선 애플이 소출력 분야 무선충전 시장을 주도하고 있으며, 테슬라(Tesla)의 로보택시가 2026년 상용화 되면 모바일 이후 가장 큰 플래그십 시장인 전기차 무선전력전송 시장을 주도할 것으로 보인다.

전 세계 무선전력전송 시장 규모는 작년 15조9,000억 원에서 2032년 71조 8,000억 원까지 연평균 20.7% 성장할 전망이다. 전기차 무선충전 시장 규모는 2024년 3,900억 원에서 2032년 2조 8,000억 원으로 연평균 28.1% 성장하지만, 전체 시장으로 보면 4% 수준에 불과하다. 원인은 자동차 제조사가 원하는 소형, 경량, 저비용, 전자파 문제를 해결하지 못하고 있는 것이다. 테슬라가 2026년 로보택시 무선충전을 상용화한다면 시장은 좀 더 앞당겨질 수 있다.

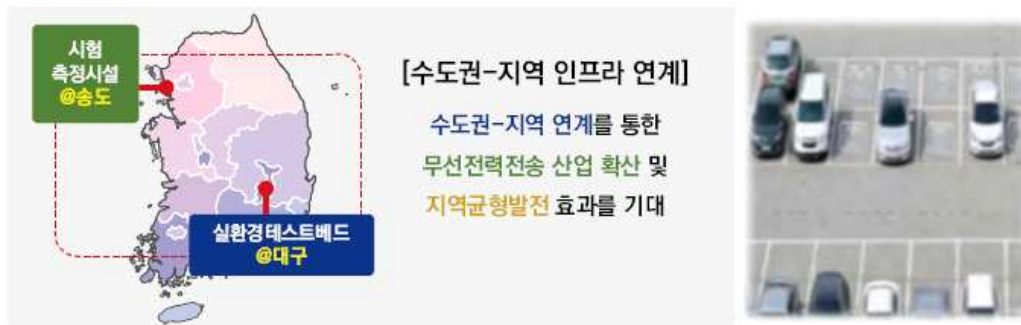
로봇 무선충전은 당분간은 물류 로봇에 사용될 전망이다. 2030년까지 물류 인프라 로봇 1억 대가 필요하며, 이에 550조 원 규모 시장이 형성될 것으로 예측된다. 이 중 로봇 무선충전에서 전체 6.5%인 36조 원 규모 시장이 형성될 전망이다[8]. AI 스마트 공장의 자율제조 생산시스템에 적용하는 무선전력전송 시장 규모는 2030년 8조 원 규모로 예측된다. 제철소압연기 센서 등의 무선충전 시장 규모는 2032년 11조 6,000억 원으로 전망된다.

RAPA(한국전파진흥협회, Korea Radio Promotion Association)에선 2024년부터 정부지원을 통해, 중대출력로봇, 전기차 등의 무선전력전송 부품·제품 시험 측정지원을 위한 차폐공간을 송도 IoT 기술지원센터에 구축하고 있다. 여기엔 전기차 무선전력전송 시험을 위한 대형 차폐실과 원거리 무선전력전송 시험을 위한 오피스형 차폐실이 준비 중이다. 또한, RAPA는 실환경 테스트를 위해 대구TP에 실증시설을 구축하고 있다.



출처 : RAPA

[그림 3] RAPA 무선전력전송 시험측정시설 조감도



출처 : RAPA

[그림 4] RAPA 무선전력전송 실환경테스트베드 조감도

이를 바탕으로, 기업은 부품 기술개발 단계에서 송도의 시스템을 활용할 수 있게 된다. 더불어, RAPA는 실차 환경에서의 시험도 가능한 원스톱 기술지원 인프라를 구축하고 있으며, 2026년부터 산업체가 사용할 수 있도록 준비하고 있다.

4. 맺음말

소출력 무선전력전송 기술개발 분야는 산업체에 맡겨 놓으면 된다. 중대출력 무선전력전송 기술 개발 분야에선 시장 선점을 위해 소형, 경량, 저비용, 전자파억제 기술을 개발해야 한다. 자동차

제조사 입장에서 현재 무선전력전송 기술은 아직 미성숙한 기술이라고 볼 수 있다. 정부 지원을 통해, 전송 효율은 그리드에서 배터리까지 93% 효율을 유지해야 하고, 사이즈는 20cm 이내여야 하며, 무게는 11kW급이 10kg 이내, 100kW급이 19kg 이내까지 성능을 확보해야 한다. 이에 더해, 무선전력전송으로 인한 발열은 90°C를 넘지않아야 하고, 가격은 유선 대비 130% 이내여야 한다. 전자파 분야에서 전자파장해방지 극복기술 수준은 IEC 61980-1 기준의 10% 이하여야 하고, 전자파인체보호 기준 극복기술 수준은 ICNIRP 1998 일반인 기준의 10% 이하여야 안전하게 상용차에서도 사용할수 있다.

표준화 또한 선진 외국이 주도하고 있어서, 한국은 따라가는 입장이다. 특히, 전자파 억제 분야 표준은 한국이 선점해 준비할 필요가 있다. kHz에서 GHz까지 광대역 주파수 대역과, 200W에서 수백 kW까지의 고출력 무선전력전송 기기의 전자파 저감 기술이 2030년까지 완료돼야 로봇서비스 회사나 전기차 회사에서 이 기술을 적용할 수 있다. 무선전력전송 표준화는 규제가 핵심이므로, 주파수 및 전자파에 대한 규제표준을 선점하는 것이 공적 표준화를 주도할 수 있다. 당연히 규제표준을 주도하기 위해선 자동차 제조업체가 원하는 수준의 새로운 패러다임 기술개발이 선행되어야 한다.

※ 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.2022-0-00452, 로봇향 3.3kW급 군집 무선 충전 핵심기술 개발)을 받아 수행된 연구이다.

[주요 용어 풀이]

- ITU-R SG1: UN 산하의 무선충전 주파수 및 기술기준 표준화 기구
- CISPR B: IEC 산하 무선충전기기의 EMC 표준화 기구
- AGV: Automatic Guided Vehicle
- FOD: Foreign Object Detection
- LOD: Living Object Detection

[참고문헌]

- [1] Allied Market Research, "Wireless Power Transmission Market, Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032," 2024. November
- [2] TTAR-06.0284/R1, "로봇 무선전력전송기술 (기술보고서)," 2024.10.29.
- [3] Qi2 wireless charging officially coming to Samsung phones this year, 2025.01.07.
- [4] www.jwpt.jp, 총무성, 공간송신 무선전력전송 체계의 운영조정에 대한 기본적 접근, 2021.5월
- [5] <https://www.etoday.co.kr/news/view/2409840>
- [6] <https://www.robotictomorrow.com/article/2022/06/>
- [7] <https://airfuel.org/>
- [8] Rika Melissa, A Comprehensive Market Guide for Robotics Enthusiasts-Statzon
- [9] <https://www.icnirp.org/>

[10] <https://live.lge.co.kr/lg-cloi-carrybot/>

[11] <https://etaelec.com/>

[12] <https://www.mri.co.jp/en/50th/columns/robotics/no07/>

[13] 과학기술정보통신부 고시 제2022-74호, "대한민국 주파수 분배표 일부개정(전문)," 2022.12.30.

[14] <https://iot.rapa.or.kr/intro/fac.iot>

※ 출처: TTA 저널 제217호