

로봇/AGV 무선전력전송 기술

장원호 WG(9091) 의장, 한국전파진흥협회 전파신산업팀 연구위원

1. 머리말

로봇 무선전력전송 기술을 설명하라고 인공지능에 물어보면, '로봇에 전선 없이 전력을 공급하는 기술'이라 답한다. 이는 로봇의 자율성을 높이고 유지 관리를 간소화하는 데 중요한 역할을 한다. 그 작동원리는 크게 유도결합과 공명결합 두 가지로 나뉜다. 유도결합은 송신 코일과 수신 코일 사이에 자기장을 이용해 전력을 전송한다. 송신 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생성되고, 이 자기장이 수신 코일에 전류를 유도해 전력을 공급한다. 공명 결합은 송신 코일과 수신 코일을 동일한 주파수로 공명시켜 전력을 전송한다. 공명 상태에서는 전력 전송 효율이 크게 향상된다. 일부에서는 RF 빔 방식 무선전력전송 기술을 이용해 로봇에 자유롭게 전력을 전송하는 기술도 개발하는 중이다.

로봇 무선전력전송 기술의 장점은 로봇 자율성 향상이다. 전선 연결 없이 로봇을 작동할 수 있어 로봇의 자율성을 높인다. 그리고 전선 연결 부분의 마모나 손상을 걱정할 필요가 없어 유지 관리가 간소화된다. 안전성 향상도 장점이다. 물이나 먼지가 있는 환경에서도 안전하게 사용할 수 있고, 다양한 크기와 형태의 로봇에 적용할 수 있다.

단점은 전력전송 효율이 유선에 비해 상대적으로 낮다는 것이다. 또한 전력전송 거리가 제한되며, 전선연결 방식보다 비용이 높다. 응용분야로서는 자동화 공장·물류 창고 등에서 사용되는 산업용 로봇, 수술·재활 등에 사용되는 의료용 로봇, 청소·배달 등에 사용되는 서비스 로봇, 감시·탐색·위험 물품 처리 등에 사용되는 군용 로봇이 있다.

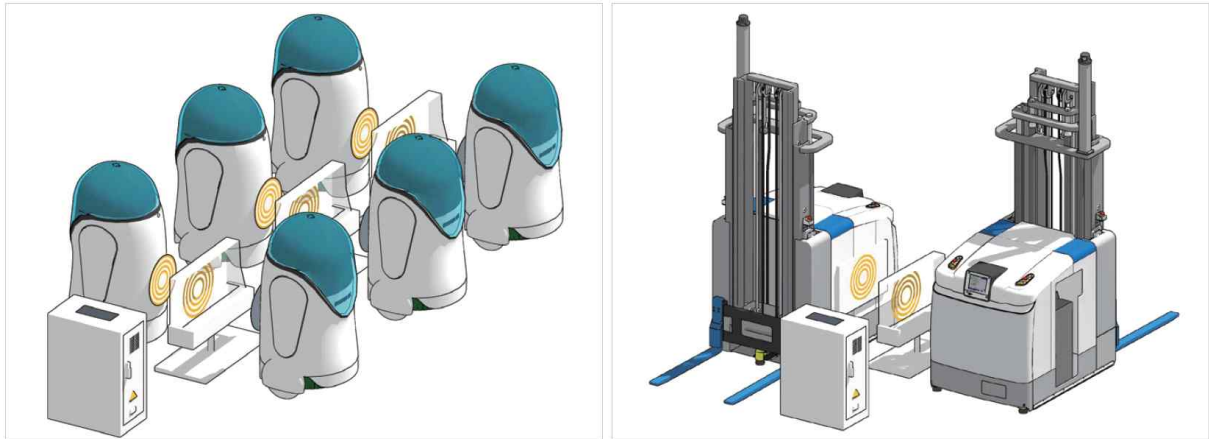
로봇 무선전력전송 기술 관련 표준을 관리하는 WPC(Wireless Power Consortium, 무선전력컨소시엄)는 사실상 표준화 단체로서, 수백 W에서 수 kW까지 무선전력 송수신 패드 등의 표준을 관리하고 있다[2]. 한편 주파수 분배, 전자파 장애 방지와 같은 공적 표준은 ITU-R SG1[1], CISPR B에서 관리하고 있다[3]. 기술 보유 기관으로서는 자기공명 기반 무선전력전송 연구를 진행하는 MIT, UCSD RF 빔 기반 무선전력전송 연구를 진행하는 중인 캘리포니아대, 의료기기 무선전력전송 연구를 수행하고 있는 스탠퍼드대 등이 유명하다.

여기까지 내용은 인공지능을 통해 쉽게 얻을 수 있는 지식이며, 본고에서 좀 더 상세하고 심층적인 내용으로 로봇 무선전력전송 기술에 대해 정리해 보겠다.

2. 국내외 기술 동향

국내에는 당연히 ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute, 한국전자통신연구

원)가 기술개발을 주도하고 있다. 2020년부터 1kW~3.3kW급 로봇 무선전력전송 기술을 개발하는 중이다. 로봇은 생활 인프라 주변을 돌아다니거나, 공장 내에서 일정 구간을 이동하면서 작동하므로 무선 충전기도 생활 인프라 주변에 설치할 수밖에 없다. 그러다 보니 전자파 간섭에 대해 엄격한 기준을 적용해야 한다. 특히 인체 영향에 대해서는 법적 기준을 충족해야 한다. 62.5mG(밀리가우스) 자기장 강도 기준을 충족하면서도, 3.3kW 고출력을 전송하기 위해선 불필요한 전자파를 저감하는 기술이 필수다. ETRI는 2025년 말을 목표로 10cm 이내에서 이러한 안전 기준을 충족하는 기술을 개발하는 중이다. 내후년부터는 로봇에 무선충전하는 시대가 열릴 수 있다.



출처: ETRI

[그림 1] 양방향 AGV 무선충전 및 로봇 6대 동시 무선충전

한편 KAIST(Korea Advanced Institute of Science and Technology, 한국과학기술원)에서도 기술 개발하는 중이다. KAIST에서 스피노프한 에타일렉트로닉스(Eta Electronics)는 500W급 중형 출력 기술을 개발했으며, 현재 상용화를 위해 산업체와 함께 서비스를 개발하고 있다[7].



출처: 2023 무선전력전송 컨퍼런스

[그림 2] 에타일렉트로닉스의 중출력 무선충전 애플리케이션

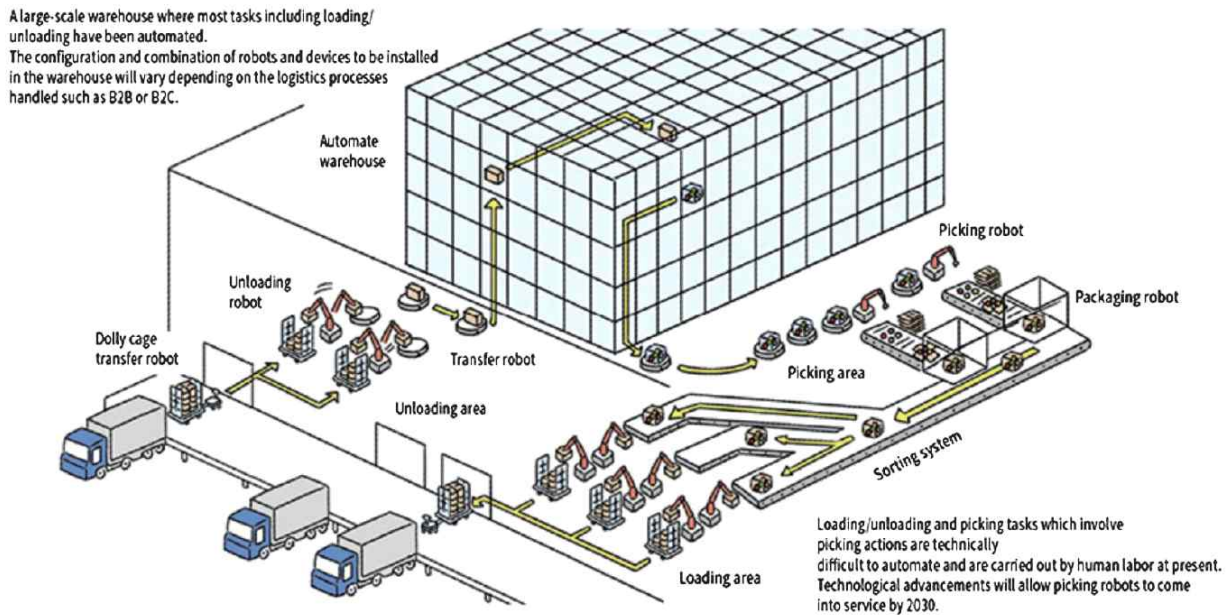
미국은 일찌감치 스타트업이 로봇 무선충전기술을 개발하고 있지만, 전자파 저감 부분이 취약하다. 미국기업에선 전자파 문제를 심각하게 고려하지 않고 설계를 한다. 그러다 보니 우리나라,

이탈리아처럼 전자파 규제가 엄격한 나라는 미국의 기술을 도입하기가 쉽지 않다[4]. 일례로 현대차에서 미국의 전기차 무선충전 기술을 도입하려고 했지만, 전자파 규제 기준이 맞지 않아 생기는 추가 비용 손실 등의 이유로 도입을 포기한 경우가 작년에 있었다.

일본은 공장 자동화에 사용되는 AGV(Automated Guided Vehicle) 등에 대한 무선전력전송 기술을 적용하고 있으며, 이는 한국과 거의 비슷한 수준이다. 다만 일본 또한 미국처럼 ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 국제비이온화방사보호위원회) 2010 기준에 맞춰 전자파를 규제하고 있는데, 이는 한국 기준보다 4배 정도 완화된 수준이다[5]. 최근 공장자동화 로봇을 보면 수백 대의 로봇/AGV가 무인 공장을 누비며 물류 처리를 하고 있다[6]. 이를 위해선 다중 충전기가 개발돼야 하며, 수kW의 전력을 분배하는 무선충전 기술도 필요하다. 로봇/AGV가 썩싱 달리는 무인공장에 충전을 위해 인간이 출입한다는 것은 위험하기 때문이다. 현재 ETRI에서 해당 기술을 개발하고 있는데, 상용화에 성공한다면 그에 대한 우려가 없어질 것이다.

미래 스마트 물류공장의 경우, [그림 4]와 같이 로봇이 대부분 작업을 수행하며, 여기에 유·무선 충전영역이 중요한 위치를 차지할 것으로 보인다[8].

미래 전기차 주차장 또한 [그림 4]처럼 자율주행에 맞춰 운영될 것으로 보인다. 자율주행차가 주차장의 무선충전스테이션에 주차하고 충전한 후, 별도의 주차선으로 옮겨가서 주차할 수 있다.



출처: 미츠비시 홈페이지

[그림 4] 미츠비시의 미래 물류 공장 조감도

3. 국내외 표준화 동향

국내는 2022년 12월 말에 전기차를 위한 무선충전용 주파수(79~90kHz)를 분배했다[9]. 이는 주방가전, 산업용기거나 로봇/AGV를 위한 무선충전용 주파수로 사용해도 무방하나, 사전에 과학기술정보통신부에 로봇용으로 사용하겠다는 주파수 용도 지정을 받아야 한다.

<표 1> 국내 무선전력전송 주파수 분배(사용) 현황

구분	주 파 수		
		19~21kHz, 59~61kHz, 79~90kHz	100~205kHz*
기술방식	자기유도	자기유도	자기공진
응용분야	전기차	모바일, 가전	모바일, 가전

출처: 무선전력전송진흥포럼

* 미약 전파 사용에 따라 주파수 분배 없이 기술기준 충족조건으로 사용 가능

한편 한국전파진흥협회는 과학기술정보통신부의 지원을 받아, 로봇, AGV, 전기차, IoT 기기들의 무선충전 서비스 개발을 위해 송도에 WPT 기술지원센터를 구축하고 있다[10].

해당 센터에선 주파수 분배가 되지 않은 경우의 신기술 시험을 기술지원할 예정이다. 이는 신기술을 개발하고자 하는 국내 전파응용 산업체의 특허 및 표준기술 선도개발 준비에 직접적인 도움을 줄 수 있다. 지금까지는 분배되지 않은 주파수로 실험하기 위해선, 상공회의소의 규제샌드박스를 신청하고 실험무선국 허가를 받아야 하는 등 많은 번거로움이 있었다. WPT 기술지원센터는 그런 불편함을 해소할 수 있다[11]. 전파를 사용해 제품 및 서비스를 개발하는 산업체엔 반가운 소식이다.



출처: 2023 RAPA보고서

[그림 5] 한국전파진흥협회 기술지원 체계도

국외 표준화 동향

- WPC: 국외는 WPC의 주도로 주방가전, 전동킥보드, 전기자전거, 로봇, AGV 등에 대한 표준을 개발하고 있다. 특히 네덜란드 필립스(Philips)가 주방가전, 독일 보쉬(Bosch)가 산업용 전동기기, 미국 와이보틱(WiBotic)이 로봇 무선충전 기술 표준화에 앞장서고 있다.
- 에어퓨엘(AirFuel): 공진방식 Rezence 1.0(6.78MHz) 기술 표준을 공고했으며, 최근 RF 빔 방식 원거리 무선충전에 대한 표준을 개발하고 있다.
- SAE International(Society of Automotive Engineers International, 국제자동차기술자협회) SAE는 전기차 위주로 무선충전 표준을 개발하고 있다. 미국 와이트리시티(WiTricity)가 중점적으로 표준을 개발하고 있으며, 인덕트EV(InductEV)도 나란히 기술경쟁을 벌이고 있다. 전기차 뿐만 아니라 트럭, 트램, 경전철 등에서도 세계 최고 수준으로 기술 표준을 개발하고 있다.

4. 국내외 산업 동향

배송 로봇의 경우, 50kg 이상 물류 배송이 전체의 66%를 차지하고 있다[12]. 50kg 이상 물류를 신속하게 배송하기 위해선 로봇의 배터리 용량이 최소한 1.5kWh 정도가 되어 최대 8시간 운영을 보장할 수 있다. 이에 ETRI는 3.3kW급 무선충전기를 개발하고 있다. 이 정도면 대부분 배송 로봇의 배터리 용량에 맞출 수가 있다.

국내 운송 로봇 시장은 2013년부터 연평균 13% 이상 성장이 예측된다. 온라인 쇼핑의 급증으로 국내 대형 물류 기업들은 물류 프로세스 효율 향상을 위해 24시간 무인 작업이 가능한 운송 로봇 도입을 검토하는 중이다[13].

한편 스마트폰 무선충전 모듈을 생산하는 국내 기업도 시장점유에 노력을 기울이고 있다. 위츠, 비에이치 EVS가 무선충전 기능이 기본 탑재된 단말기를 출시했다. 이들은 또한 커피숍, 백화점 등 공공장소에 고객들을 위한 무선충전기를 설치하고, 현재 자기유도방식의 수 kW급 주방가전 무선전력 표준 기기들을 개발하는 중이다. 동양이엔피(주)에서는 자기유도방식을 활용한 AGV 무선충전 모듈을 개발하고 있다.

KAIST는 온라인전자자동차용 대출력(100kW급) 무선충전 원천기술을 개발했다. 2013년 7월 구미시는 1개 노선 시범운행을 진행했고, 2021년 대전시 역시 이를 추가 도입했으며, 이 외에도 배송 로봇 관련 연구가 이뤄지고 있다.

무선전력전송을 구성하는 핵심 요소기술인 송신부, 수신부, 공진부 설계기술의 경우, ETRI에서 2010년부터 연구개발을 수행했다. 그 결과 2017년 CES(Consumer Electronics Show, 소비자 가전 전시회)에서 3차원 공간무선충전 기술('E-Cup®')을 선보일 수 있었다. ETRI는 관련 기술에 대한 기술이전을 통해 국내 산업분야 R&D 역량강화에 기여하고 있다(5개 산업체, 총 6.8억 원 기술이전).

현대자동차는 제네시스 브랜드에 세계 최초로 무선충전 기술 등 비대면 충전기술을 도입했고, ETRI는 2020년부터 운송로봇에 적용 가능한 1~3.3kW급 로봇 무선충전 기술 개발을 수행하고 있으며, 이를 통해 중전력 무선충전 분야의 상용화 및 산업 활성화를 추진하고 있다.

기아는 전기 승용차용 픽업으로 정격출력 19.2kW, 스위칭주파수 85kHz 장치를 미국 모조 모빌리티(Mojo Mobility)와 공동으로 개발하고 있다. 쿠팡은 전기화물차에 적용되는 50kW급 무선충전 기술을 도입해 구리, 남양주, 충주 물류센터에 시범 서비스하고 있다. 이는 국내 최초로 물류 분야 전기차에 무선충전을 도입한 사례이다. 그린파워는 산업용 무선전력전송 응용기기(AGV) 개발 및 상용화, 무선충전 전기자동차(3.3kW), 로봇청소기(400W) 등을 개발하고 있다.

미국은 2007년 MIT에서 무선충전 원천기술을 개발한 이래, 와이트리시티, 구글(Google), 애플(Apple)등에서 다양한 무선충전 제품을 출시하고 있다. 2012년 이후 텍사스 인스트루먼트(Texas Instruments), IDT(Integrated Device Technology, 인티그레이티드 디바이스 테크놀로지)등이 송수신 칩을 출시했으며, 스타벅스, 델타항공 라운지 등에 무선충전패드를 설치했다.

특히 2017년 2월 애플이 WPC에 가입한 후 무선충전 기업들의 WPC 가입이 급격히 증가했다. IDT는 2020년 최대 30W의 전력으로 스마트폰 무선충전이 가능한 송신기 IC를 발표했으며, 미세 코일을 사용해 DC-DC 효율 90% 이상의 IC를 개발했다.

일본은 NTT 도코모(NTT Docomo), 무라타 제작소(Murata Manufacturing)가 다양한 제품을 선보

이고 있으며, 향후 RF빔 방식 무선충전기술을 전기자동차까지 적용할 계획이다. RF 빔 방식 (2.4GHz, 5.7GHz) 무선충전 기술을 개발하는 오시아(Ossia)의 제품 코타(Cota)는 FCC(Federal Communications Commission, 미국 연방통신위원회) 인증(Part 18, 15)을 받았다.

중국은 전 세계 가장 큰 시장과 가장 많은 기업군을 형성하고 있으며, WPC와 함께 2,000~3,000 군데의 공공장소에 무선충전 인프라를 설치할 예정이다. 여기엔 모바일뿐만 아니라 전동킥보드, 전기자전거도 포함돼 있다.

전반적으로 로봇 중 AGV는 전문 서비스 로봇 중 53%의 판매 비중을 차지하고 있어 가장 유망 분야로 평가받았다[14]. 대표적인 물류 로봇 관련 기업으로는 미국 아마존 로보틱스(Amazon Robotics)와 어덱트 테크놀로지(Adept Technology), 캐나다 클리어패스 로보틱스(Clearpath Robotics), 덴마크 모바일 인더스트리얼 로봇(Mobile industrial Robots), 인도 그레이오렌지 로보틱스(GreyOrange Robotics), 중국 하이크비전(Hikvision), 일본 파나소닉(Panasonic) 등이 있다.

일본과 중국은 AGV용 무선충전시스템 개발에 관심이 높으며, 특히 일본 다이헨(DAIHEN)은 와이트리시티와의 특허 라이선싱을 통해 전송거리 4cm, 시스템 효율 86% 수준의 2kW, 4kW급 AGV 용 무선충전 시스템(D-Broad)을 공개했다. 현재 관련 핵심기술로는 배송 로봇의 동선, 인간과의 중복방지 등에 관련된 안전 확보와 함께 FOD/LOD, 전자파에 대한 인체 노출 영향 솔루션 등이 꼽힌다. 이는 일본 다이헨이 별도로 회사의 사활을 걸고 개발 중에 있다.

5. 맺음말

모바일 기기의 무선충전 표준은 애플이 주도하고 있다. 전기차 무선충전 표준은 와이트리시티가 주도하고 있다. 마지막 남은 로봇 무선충전과 인체 삽입형 의료기기 무선충전은 우리나라가 표준을 선점해야 하겠다. 그러기 위해선 바이오/로봇 무선충전 연구센터를 대학에 설립해 산·학·연·관이 힘을 모아야 한다. 더불어 정부는 신기술 제품 및 서비스 개발을 위한 혁신적인 규제완화를 통해 집중 지원해야 한다.

※ 본 보고서는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원 (No.2022-0-00452, 로봇향 3.3kW급 군집 무선 충전 핵심기술 개발)을 받아 수행된 연구이다.

[참고문헌]

- [1] Report ITU-R SM.2303-3, "Wireless power transmission using technologies other than radio frequency beam," 06/2021
- [2] <https://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [3] https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:30:::FSP_ORG_ID:1412
- [4] 국립전파연구원, "전자파 인체 안전 이슈 조사 연구," 2016.12월
- [5] <https://www.icnirp.org/>
- [6] <https://live.lge.co.kr/lg-cloi-carrybot/>
- [7] <https://etaelec.com/>
- [8] <https://www.mri.co.jp/en/50th/columns/robotics/no07/>

- [9] 과학기술정보통신부 고시 제2022-74호, "대한민국 주파수 분배표 일부개정(전문)," 2022.12.30.
- [10] <https://iot.rapa.or.kr/intro/fac.iot>
- [11] <https://sandbox.korcham.net/Front/Main/appl/Main.asp>
- [12] 연구개발특구진흥재단, "배송 로봇 및 물류 로봇 시장," 2020.04.
- [13] Persistence Market Research, "Delivery Robots Market," 2019
- [14] IFR 2016, "Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots," 2016

[주요 용어 풀이]

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

※ 출처: TTA 저널 제212호