

# 무선전력전송 국제표준 및 산업 기술동향

원윤재, 임승옥  
전자부품연구원

## 요약

본고에서는 무선전력전송 국제표준 기술 동향과 산업 기술 동향에 대해 기술한다. 무선전력전송의 국제표준화는 ISO/IEC JTC1 SC6 그룹과 IEC TC100 TA15 그룹에서 진행 중이며, 산업 표준화는 WPC, A4WP, PMA를 중심으로 진행 중이다. 국제표준화기구에서는 인밴드 제어 프로토콜과 다수기기 및 다수 송전기 관리 프로토콜에 관한 국제표준화가 추진 중이고, 산업 협의체에서는 제품 개발을 위해 송수신 시스템 및 제어 프로토콜에 관한 규격화를 추진 중이다. 향후, 산업표준 간의 호환성 유지를 위한 표준 개발이 절실히 필요하다.

## I. 서론

무선전력전송 기술은 접촉하지 않고 무선으로 데이터를 전송하는 것과 같이 전력을 전송하는 기술을 말한다. 무선전력전송 기술에는 자기장을 이용한 방식과 전자기장을 이용한 방식이 있는데 자기장을 이용한 방식은 유도방식과 공진방식으로 나뉘어진다. 유도방식은 시스템 구조가 단순한데 비해 전송거리가 짧고 공진방식은 시스템 구조가 다소 복잡한데 비해 전송거리를 확장할 수 있는 장점이 있다.

최근 자기장을 이용한 무선전력전송 제품에 대한 관심이 커지면서 산업 협력체를 구성하고 각 산업 협력체들 간의 규격화 작업이 활발히 진행되고 있다. 국제표준화 기구에서도 무선전력전송 관련 그룹을 설립하고 무선전력전송 관련 국제표준 제정을 준비하고 있다.

본고에서는 ISO/IEC JTC1과 IEC TC100에서 진행하고 있는 국제표준 기술과 WPC와 A4WP에서 진행하고 있는 산업표준 기술에 대해서 소개하고자 한다.

## II. 국제표준 기술동향

무선전력전송 관련 국제표준화를 진행하고 있는 국제표준화 기구는 ISO/IEC JTC1과 IEC TC100이다. ISO/IEC JTC1에서는 2011년에 무선전력전송을 위한 무선전력전송 인큐베이터 그룹을 설립하였고 주로 JTC1 범주 내의 표준화 아이템 도출과 용어 정리를 목적으로 설립됐다. 그리고, JTC1 산하의 무선통신 물리계층 및 매체접근제어계층 등 무선통신 관련 국제표준화를 진행하는 국제표준화 그룹인 SC6에서는 자기장통신 기반의 무선전력전송 제어 프로토콜에 대한 국제표준화가 진행 중이다. 또한 오디오, 비디오 등 멀티미디어 기기에 대한 국제표준화를 진행하는 국제표준화 그룹인 IEC TC100에서는 무선전력전송 관련 기술보고서 개발을 위한 프로젝트 그룹이 2011년에 설립되었고 주로 무선전력전송기술 분석을 통해 IEC TC100 표준 범위 내에서의 기술 동향 분석 및 표준화 대상 아이템 도출, 타 표준기구와의 협력 방안에 대해 논의하였고, 2013년에 기술보고서 작성을 완료했다. 또한, 2012년도에는 한국이 제안한 다수기기를 위한 무선전력전송 관리 프로토콜에 대해 프로젝트 그룹이 설립되어 현재 표준안(WD)을 개발 중에 있으며, 이어 일본에서 제안한 다수개의 무선전력송신기 관리 프로토콜에 대한 프로젝트 그룹 설립에 따라 한국이 제안한 표준안과 일본이 제안한 표준안을 통합하여 파트 1은 기능 및 용어 정의, 파트 2는 다수기기 관리 프로토콜, 파트 3는 다수 송신기 관리 프로토콜로 나누어 표준안을 개발 중에 있다.

### 1. ISO/IEC JTC1

ISO/IEC JTC1 SC6 그룹에서는 2011년도에 자기장통신 물리계층 및 매체접근제어계층 프로토콜인 ISO/IEC 15149, Magnetic Field Area Network (MFAN) 국제표준을 제정했다. 이에 2012년도에 자기장통신 기반의 무선전력전송 제어 프로토콜인 ISO/IEC 15149-2: In-Band Control Protocol for Wireless Power Transfer 국제표준 프로젝트 그룹을 설립하고 관련 국제표준화를 추진 중이다.

ISO/IEC 15149-2는 <그림1>과 같이 슈퍼 프레임 구조를 가지며 하나의 슈퍼 프레임은 요청 구간, 응답 구간, 자율 구간으

로 이루어진다.

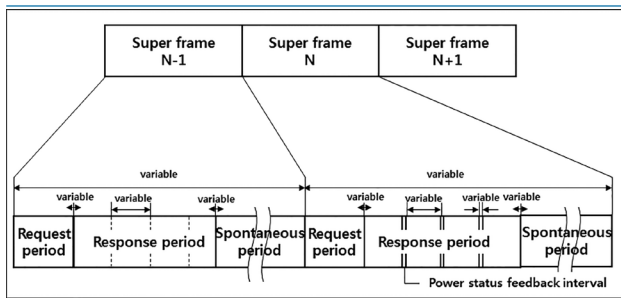


그림 1. 슈퍼프레임 구조

요청 구간에 코디네이터가 노드에게 무선전력전송을 위한 요청 패킷을 전송하면 응답구간에서 전력전송을 원하는 노드는 코디네이터에게 노드의 배터리 상태 정보와 전력 수신 요청 사항을 포함하는 응답 패킷을 보낸다. 코디네이터는 노드로부터 수신한 무선전력전송 응답 패킷의 정보를 기반으로 우선순위에 따라 스케줄링을 하고 이를 기반으로 다음 슈퍼 프레임의 요청 구간에 스케줄링 정보를 해당 노드들에게 전송하고 응답 구간에 해당 노드는 스케줄에 따라 코디네이터로부터 무선전력을 수신한다.

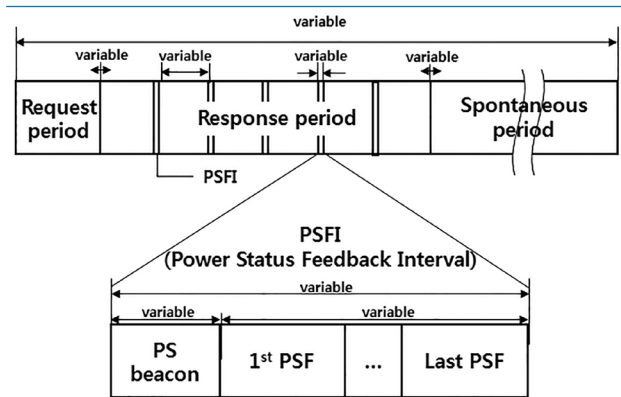


그림 2. 무선전력전송 상태 모니터링

하나의 슬롯 구간에서 무선전력전송이 끝나면 <그림 2>에서와 같이 코디네이터는 비콘을 보내 그 슬롯 구간에서 무선전력을 수신 받은 노드의 상태를 체크한다.

<그림 3>은 자기장통신 기반의 무선전력전송을 하는 코디네이터의 상태도이다. 코디네이터는 상태도에 따라 자기장통신과 무선전력전송을 동일한 시스템에서 수행하게 된다.

<그림 4>는 자기장통신 기반의 무선전력전송을 하는 노드의 상태도이다. 노드는 배터리의 상태에 따라 수면 상태가 3가지 있다. 첫째는 배터리가 완전히 방전 돼서 자기장통신도 할 수 없는 상태이고, 둘째는 간단한 자기장통신이 가능한 상태, 셋째

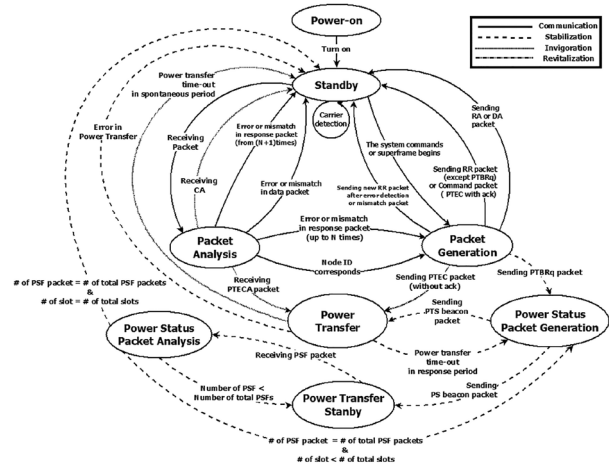


그림 3. 코디네이터 상태도

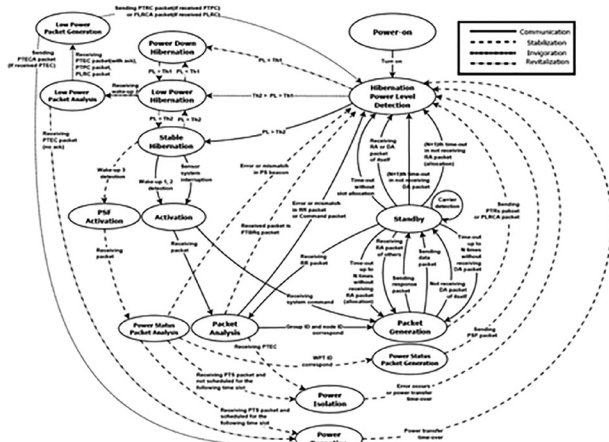


그림 4. 노드 상태도

는 안정적으로 자기장통신이 가능한 상태이다. 배터리가 완전히 방전된 상태에서는 주기적으로 보내는 전력 비콘을 통해 전력을 수신하고 간단한 자기장통신이 가능한 상태가 되면 자율 구간에서 코디네이터에게 무선전력전송 요청을 하면 코디네이터는 자율 구간에서 노드가 안정적인 상태가 될 수 있을 만큼의 무선전력을 노드에게 전송한다. 전력을 충분히 수신한 노드는 안정적인 상태에서 정식 절차를 거쳐 스케줄링에 따라 전력을

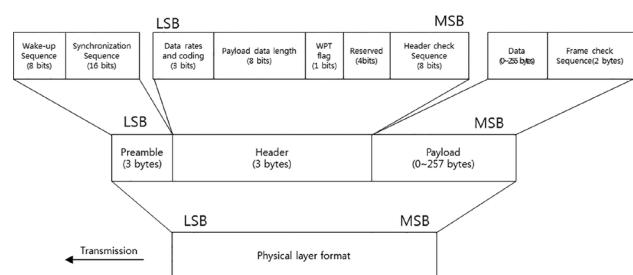


그림 5. 물리계층 구조

수신할 수 있다.

〈그림 5〉는 자기장통신 기반 무선전력전송 프레임의 물리적 층 구조이다. 수면 상태에서 패킷 수신과 동시에 깨어날 수 있도록 프리엠블 앞에 웨이크업 신호가 있다.

## 2. IEC TC100

IEC TC100에서 개발한 무선전력전송 관련 기술 보고서인 IEC TR 62869가 2013년에 완료됐다. 이 기술보고서에서는 〈그림 6〉과 같이 무선전력전송 시스템의 모델을 제시하고 있다. 무선전력전송 시스템은 전력을 송신하는 송신기와 수신기, 송수신기의 통신 계층, 제어 프로토콜 계층, 응용 프로그램 계층으로 구성된다.

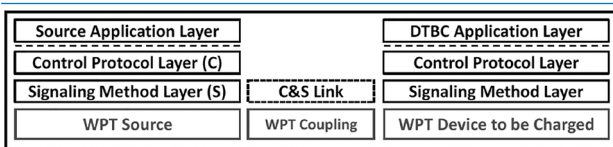


그림 6. 무선전력전송 시스템 모델

무선전력전송 시스템에서 중요한 요소 중 하나는 주파수다. 〈표 1〉은 각국에서 사용하는 무선전력전송 주파수와 제한 전력을 나타낸다. 주로 허가 없이 사용할 수 있는 ISM 밴드를 사용하고 있으며, ISM 밴드라 할지라도 무선전력전송용으로 사용할 경우에는 별도의 규제를 하는 나라도 있다.

표 1. 무선전력전송 주파수 및 제한 전력

Country	Band	Power Limit
Korea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 kHz to 100 kHz</li> <li>• 130 kHz to 150 kHz</li> <li>• 325 kHz to 405 kHz</li> <li>• 1,6 MHz to 1,8 MHz</li> <li>• 6,78 MHz, 13,56 MHz (ISM)</li> </ul>	50 W maximum
Japan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 kHz to 10M Hz</li> <li>• 13,56 MHz (ISM)</li> <li>• 27,12 MHz (ISM)</li> <li>• 40,68 MHz (ISM)</li> </ul>	50 W maximum per BWF Guidelines
China	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 105 kHz to 205 kHz for tightly coupled</li> <li>• recommends ISM band 6,8 MHz for highly resonant</li> </ul>	NA
United States	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;500 kHz</li> <li>• 6,78 MHz</li> <li>• 13,56MHz</li> </ul>	NA

IEC TC100에서 한국에서 최초 무선전력전송 관련 국제표준안을 제안했다. 무선전력전송 관련 국제표준화가 필요한 이유

중에 가장 중요한 요소가 하나의 무선 충전기로 여러 종류의 충전기기를 동시에 충전할 수 있어야 하기 때문에 〈그림 7〉에서와 같이 다양한 제조사로부터 출시된 다양한 종류 가전기와 무선충전기 간 호환성 유지가 중요하다. 따라서 다수기기를 위한 무선전력전송 관리 프로토콜을 제안하여 현재 WD 단계를 진행 중에 있다.



International Standardization of control protocol

그림 7. 무선충전기 국제표준화 당위성

다수기기를 위한 무선전력전송 관리 프로토콜인 IEC 62827, Management Protocol for Wireless Power Transfer to Multi-devices는 하나의 무선충전기에 대해서 다수의 충전기기를 관리하는 프로토콜이다. 본 프로토콜은 〈그림 8〉과 같이 어플리케이션 계층에서 충전기와 디바이스의 관리 블록 간 제어 프로토콜로 구성되며 무선충전기가 자신의 커플러나 디바이스의 커플러를 제어하기 위한 명령어를 전달하기 위한 프로토콜을 정의한다.

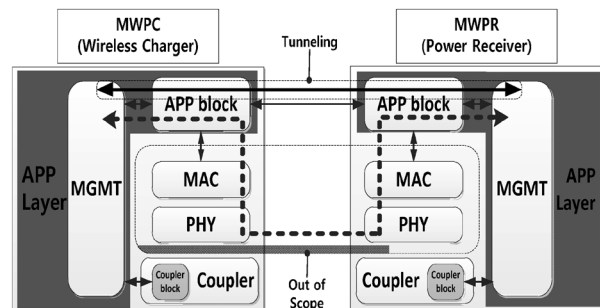


그림 8. 다수기기 무선전력전송 관리 프로토콜 구조

멀티 소스를 위한 무선전력전송 관리 프로토콜인 IEC 62857, Wireless Power Transfer – Multiple Sources Control Management는 〈그림 9〉와 같이 여러 개의 무선 충전기를 관리하는 프로토콜이다.

최근 IEC 62827과 IEC 62857이 유사성을 가지고 있어 하나

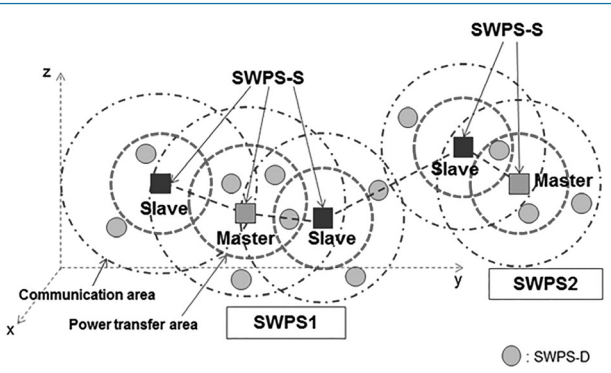


그림 9. 멀티소스 무선전력전송 관리 프로토콜 구조

의 프로젝트로 통합하여 3개의 파트로 나누기로 결정했다. 따라서 파트1은 일반적인 내용을, 파트2는 멀티 디바이스 관리 프로토콜을, 파트3는 멀티 충전기 관리 프로토콜을 정의한다.

### III. 산업 기술동향

무선전력전송 기술은 산업화를 위한 기술이기 때문에 기술 개발과 동시에 제품을 출시했다. 팜프리는 자기유도 방식으로 ‘Touchstone’이라는 충전기를 개발했고, WPC(Wireless Power Consortium)는 5W급 휴대폰 충전을 위한 기술 규격을 제정하였으며, 향후 120W급 노트북 충전 기술을 위한 표준화를 계획 중에 있다. 파워매트는 2009년 하반기에 휴대기기용 자기유도 충전 제품을 출시하였으며, 충전 패드 안에 4개의 1차 코일을 설치하여 최대 4개의 전자기기들을 동시에 충전할 수 있도록 기술을 개발하였다. 퀄컴은 CES 2009에서 자기공진 무선전력 전송 시스템인 “eZone”을 선보였으며 충전 매트 위에 2개의 기기들을 최대 20cm 거리에서 충전하였다. 또한 퀄컴은 ISM 밴드인 13.56MHz 주파수를 공진주파수로 사용하였으며, 다수 충전기기들의 관리를 위하여 Bluetooth, NFC, Wi-Fi 등의 별도의 통신 프로토콜을 접목하였다. 플톤 이노베이션에서는 “eCoupled”라는 무선전력전송 기술을 개발하였고 패키지와 무선 파워를 통합하는 제품을 개발하였다. 최근 삼성전자와 퀄컴 주도로 A4WP (Alliance for Wireless Power)를 결성하여 블루투스를 통신 채널로 사용하는 휴대 단말기 무선충전기 관련 규격을 개발하고 관련 테스트 규격을 개발 중에 있다. 현재는 <그림 10>과 같이 플톤 이노베이션을 중심으로 한 WPC와 파워매트를 중심으로 한 PMA, 삼성전자와 퀄컴을 중심으로 한 A4WP 등 크게 세 개의 진영으로 나뉘어 관련 시장을 선점하기 위해서 경쟁하고 있다.

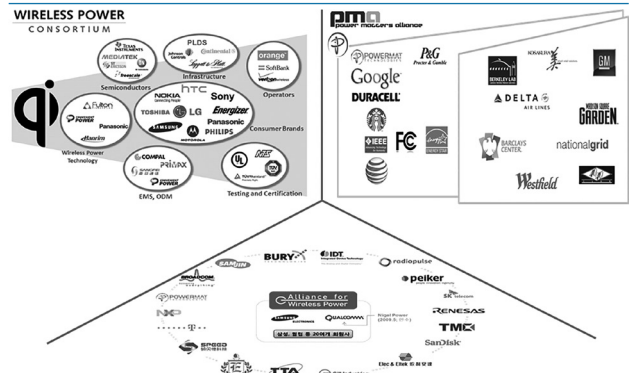


그림 10. 무선전력전송 산업동향

## 1. WPC (Wireless Power Consortium)

WPC는 자기장을 이용한 유도 방식의 무선전력전송을 위한 하드웨어 규격의 Ver 1.1.2를 2013년에 공개했다. <그림 11>은 WPC의 무선전력전송 시스템 구조인데, 베이스 스테이션과 모바일 디바이스로 구성되며 하나의 베이스 스테이션에는 여러개의 파워 전송 모듈이 내장 될 수 있다. 유도 방식은 무선전력 전송 시 자유도가 허락되지 않으므로, 충전 환경에 따라 파워전송 모듈을 선택할 수 있게 한 것이다.

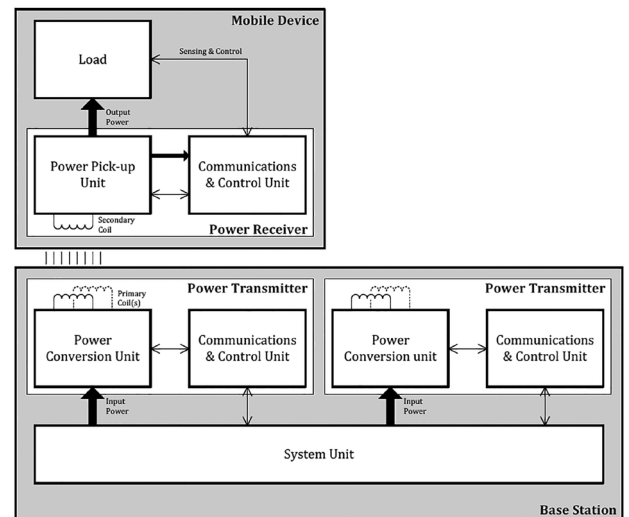


그림 11. WPC 무선전력전송 시스템 구조

WPC 규격에는 모바일 디바이스를 베이스 스테이션의 표면에 놓기 위한 방법으로 가이드 포지셔닝 방법과 프리 포지셔닝 방법, 2가지가 있다. 가이드 포지셔닝 방법은 사용자가 휴대용 기기를 충전 스테이션의 표면에 적당히 위치시켜도 자석에 의해 정위치에 고정되도록 하는 방식이다.

프리 포지셔닝 방법은 <그림 12>와 같이 충전 스테이션의 표면에 휴대용 기기를 임의대로 위치시켜도 전력을 전송할 수 있

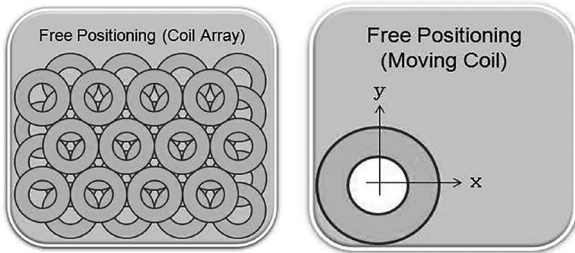


그림 12. 프리 포지셔닝 방법

는 방식인데, 여러 개의 어레이 안테나를 설치해서 그중에서 가장 충전기와 효율이 좋은 코일을 선택해 전력을 전송하거나 기구적으로 안테나가 움직이도록 하여 충전기와 수평 위치를 맞춘 후, 전력을 전송하는 방식이다.

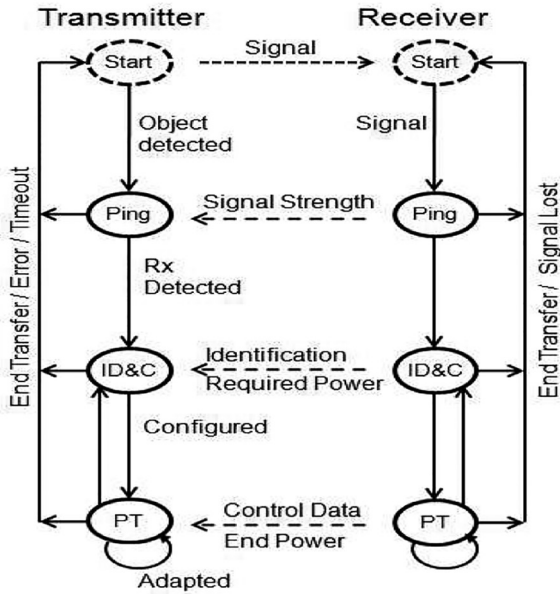


그림 13. WPC 시스템 제어 흐름도

WPC의 통신 프로토콜은 Bi-Phase 방식을 사용한다. 통신 속도는 2kbps의 전송 속도를 가지며, 패킷의 구조는 프리앰블, 헤더, 메시지, 체크섬으로 구성된다. 전력전송 단계는 <그림 13>과 같이 4단계로 이루어져 있으며, 디바이스를 감지하는 선택 단계(Selection), 처음 패킷을 받는 핑 단계(Ping), 제품에 대한 고유 ID 및 확장 ID 그리고 제어 파라미터에 대한 정보를 받기 위한 인식 및 설정 단계(Identification & Configuration), 전력전송 단계(Power Transfer)로 구성된다.

무선 전력전송 방식은 1차측 송신부 코일에 전류를 흘리면 자계가 유도되고, 유도된 자계가 2차측 수신부에 기전력이 유도되는 전자기 유도 방식을 사용한다. 충전기 배터리 관리를 위하여 무선 충전 송수신부 사이에 통신이 제공되며 전력 신호를 이용한 통신 방식을 이용한다.

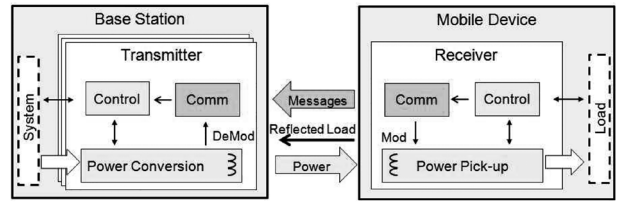


그림 14. WPC 시스템 개요

<그림 14>는 무선전력 전송 시스템의 구성이다. 파워 변환 장치(Power Conversion Unit)는 전기를 무선 전력 신호로 변환을 하고, 파워 픽업 장치(Power Pick-up Unit)는 무선 전력 신호를 전기로 변환한다. 수신부는 전력신호에 부하변조를 통하여 제어 정보를 송신부에 전송하고, 송신부는 수신부로부터 제어 정보를 받기 위해 반사된 부하의 복조(demodulation)를 통해 메시지를 받고, 수신부가 부하에 필요로 하는 전력을 공급하기 위해 제어한다.

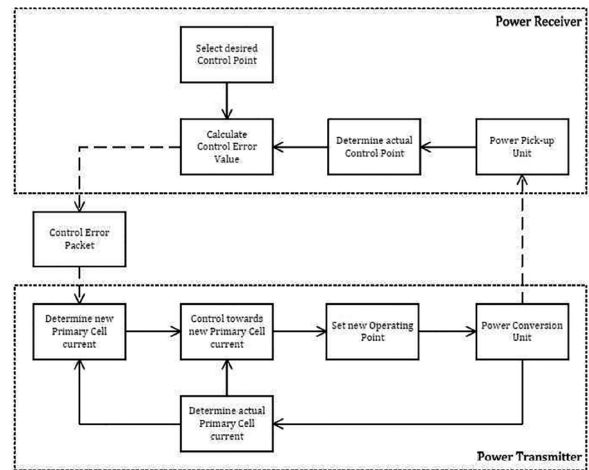


그림 15. WPC 전력 전송 시스템 제어 방식

시스템 제어 방식은 <그림 15>와 같이 전력과의 차이를 계산하여 송신부에 에러 패킷을 전달하고, 송신부에서는 실제 인가된 전류를 측정하여 오차를 보정하기 위한 새롭게 인가할 전류를 계산하고 적응 제어 알고리즘을 통해 제어하고자 하는 파라미터의 동작점을 결정하고 전력 변환 장치에 인가하여 조정하는 방식을 사용한다.

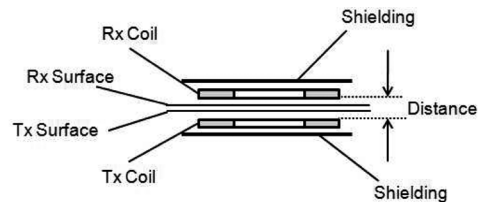


그림 16. WPC 슬릿 구조

전자기 유도에 의해 발생할 수 있는 기기 간 간섭 및 인체 유해 기준을 만족하기 위하여 송수신부 코일에 자기 실드를 통하여 억제하고 국제적인 EMI, EMC, EMF 규정을 만족하기 위해서 <그림 16>과 같은 실드 구조를 갖는다.

## 2. A4WP (Alliance for Wireless Power)

A4WP는 자기장을 이용한 공진 방식의 무선전력전송을 위한 하드웨어 규격의 Ver 1.1.1을 2013년에 공개했다.

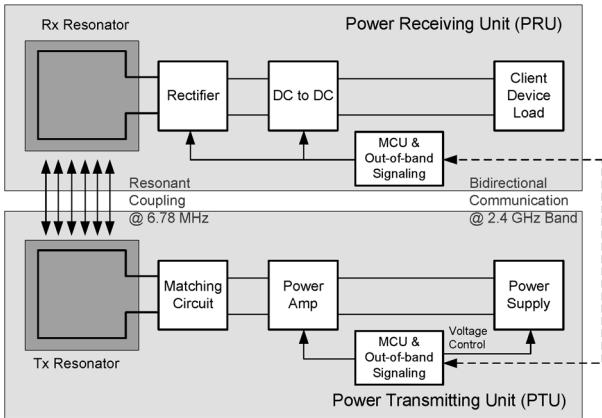


그림 17. A4WP 무선전력전송

<그림 17>은 A4WP의 무선전력전송을 위한 송수신 시스템의 구조이다. 송신기에는 공진 방식이기 때문에 매칭 회로(Matching Circuit)가 있는 것이 유도 방식과 다른 점이고, 전력전송을 위한 주파수는 6.78MHz를 사용한다. 제어 신호를 위해서 블루투스의 저전력 통신모드를 사용한다.

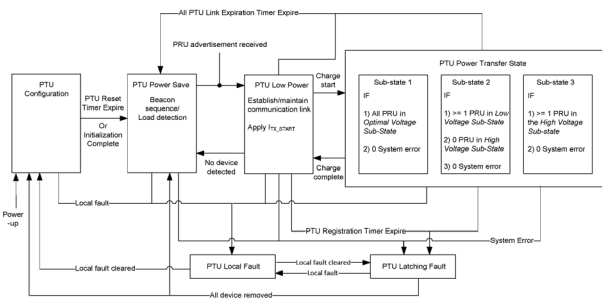


그림 18. A4WP 송신기 상태도

<그림 18>은 무선전력전송을 위한 송신기 상태도이다. 송신기의 상태는 설정 상태(Configuration), 대기 상태(Power Save), 저전력 상태(Low Power), 전력전송 상태(Power Transfer)로 구성된다. 대기 상태에는 주기적으로 비콘을 보내며 충전기기가 있는지 찾는 상태이고, 저전력 상태는 전력 전송

을 시작하기 전에 데이터 교환 상태이다.

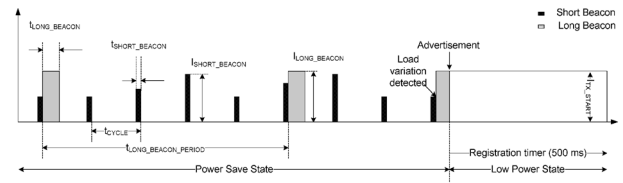


그림 19. 비콘 구조

비콘은 <그림 19>와 같이 짧은 비콘과 긴 비콘이 있는데, 짧은 비콘은 디바이스 인식 및 전력전송을 위한 것이고, 긴 비콘은 주기적인 전력전송을 위한 것이다.

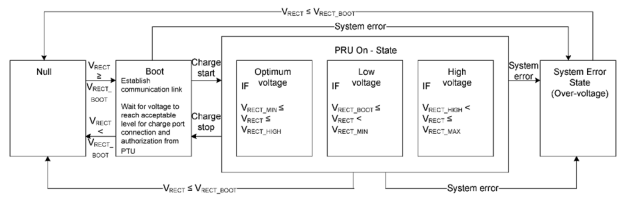


그림 20. 수신기 상태도

<그림 20>은 무선전력전송을 위한 수신기 상태도이다. 수신기의 상태는 널 상태(Null), 부팅 상태(Boot), 전력 수신 상태(PRU On State), 시스템 에러 상태(System Error)로 구성된다. 부팅 상태는 통신 링크를 설정하는 상태이다.

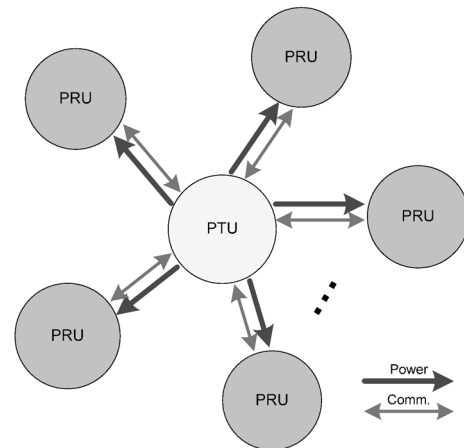


그림 21. 무선전력전송 시스템 구조

<그림 21>는 A4WP의 무선전력전송을 네트워크 토폴로지를 나타내며, 마스터 하나에 여러 개의 슬레이브가 존재하는 스타 구조를 갖는다. 전력전송은 마스터에서 슬레이브로만 가능하고 통신은 마스터와 슬레이브 간 양방향 통신이 가능하다.

## IV. 기타 이슈

주파수 할당과 인체 및 기기에 미치는 영향에 대한 규격은 아직 국제표준화가 진행되고 있지는 않지만 무선전력전송 관련 산업 활성화를 위해서 중요한 문제이다.

무선전력전송을 위해서는 무선주파수를 사용해야 하는데 이 경우 타 시스템에의 간섭을 줄이고, 인체에 영향을 주지 않도록 각 국은 엄격하게 규제하여 인체 영향 및 EMI/EMC 문제가 반드시 고려되어야 한다. 또한 전 세계적으로 무선주파수는 주로 통신, 방송, 항행, 측위 등의 용도로 사용되고 있으며, 아직까지 무선전력전송을 위해서 특별하게 할당할 주파수 대역을 논의 중에 있다. 무선전력전송의 후보 주파수로 고려되고 있는 대역은 수십 kHz에서 수백 kHz 사이 또는 수 MHz에서 수십 MHz 사이이며, 이 중에서 현재 가능한 주파수 대역은 125 kHz 또는 134 kHz, 6.78 MHz, 13.56 MHz 정도이다. 이러한 주파수는 전 세계적으로 ISM (Industrial, Scientific, and Medical) 대역으로 지정되어 있으며, RFID 등에서 소출력 에너지 전송으로 현재 사용이 되고 있으므로 기술 기준 개정만으로 무선 전력 전송용으로 사용이 가능한 주파수 대역이다.

전자파에 대한 인체 영향은 이동통신이 보급된 이후 핵심적인 이슈로 현재까지 연구 결과는 수W 이하의 이동통신 단말기 또는 기지국 영향 및 전력선에 의한 60Hz ELF (Extremely Low Frequency) 영향에 대한 연구로 한정되어 있는 상황이며, 이동통신의 주파수 대역인 800MHz에서 5GHz 사이의 인체 영향은 다양한 분야에서 연구되고 있고, 세포실험, 동물실험, 역학조사 등 연구방법 역시 체계화되고 있는 추세이다. 인체영향에 대한 전 세계 가이드라인은 <그림24>과 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. 최근에는 전자파를 환경 오염 관점에서 살피고 있으며, 전자파 총량제, 전자파 환경 평가 문제 등이 대두되고 있어, 무선전력전송의 상용화시 이 점을 고려하여 매우 엄격하게 인체 영향 가이드라인을 제시하여야 할 것이다.

## V. 결론

향후, 다양한 종류의 무선 충전기기를 하나의 무선충전기를 통해 충전할 수 있도록 산업표준 간의 호환성 유지를 위한 국제 표준 개발이 절실히 필요하다.

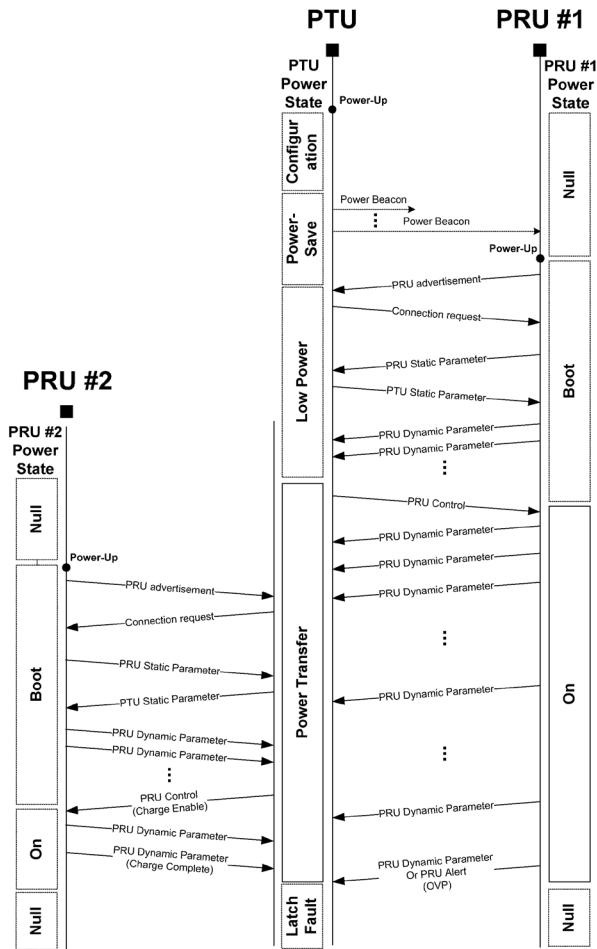


그림 22. 통신 및 전력전송 절차

<그림 22>는 A4WP의 통신 및 전력전송 절차를 나타낸다. 송신기에 전원을 넣으면 자체 설정 단계를 거쳐 대기 상태에서 비콘을 보내 수신기에게 통신을 위한 전력을 공급하고 수신기가 통신을 위한 전력이 되면 부팅 상태가 되어 접속 신호를 보낸다. 수신기가 접속신호를 보내면 송신기는 저전력 상태가 되고 전력 전송을 위한 준비를 한다. 송신기가 전력전송 제어 신호를 보내면서 전력전송이 시작되고 수신기는 전력수신 상태가 된다.

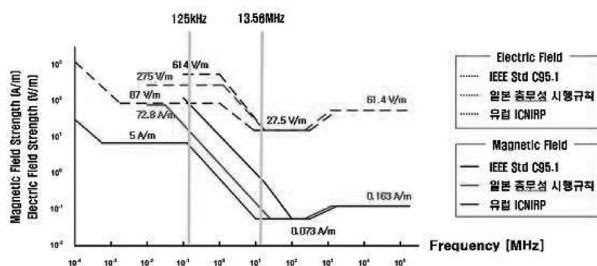


그림 23. 무선 전력 전송의 인체 영향 국제 기준

## 참고 문헌

- [1] IEC TR 62869, "Activities and considerations related to wireless power transfer (WPT) for audio, video and multimedia systems and equipment", Technical Report, IEC, 2013
- [2] "System Description Wireless Power Transfer", Volume I: Low Power, Part 1: Interface Definition, Ver 1.1.2, Wireless Power Consortium, 2013
- [3] "A4WP Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS)", Ver 1.1.1, Alliance for Wireless Power, 2013
- [4] Wireless Power Consortium  
<http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [5] Alliance for Wireless Power - <http://www.a4wp.org/>
- [6] 원윤재, '자기장통신융합기술의 표준화 동향', TTA Journal No.148, 한국정보통신기술협회, 2013
- [7] 임승옥, 강신재, '무선에너지전송 표준화 동향', TTA Journal No.129, 한국정보통신기술협회, 2010

## 약 력



원 윤 재

2000년 고려대학교 공학사  
 2002년 고려대학교 공학석사  
 2010년 연세대학교 공학박사  
 2000년~2001년 (주)비클텍 기술이사  
 2002년~현재 전자부품연구원 네트워크융합연구센터 책임연구원  
 관심분야: 자기장통신, 무선전력전송, 센서네트워크, IT융합



임 승 옥

1997년 건국대학교 공학사  
 1999년 건국대학교 공학석사  
 2005년 건국대학교 공학박사  
 1999년~2000년 성미전자 연구원  
 2001년~현재 전자부품연구원 네트워크융합연구센터 센터장  
 관심분야: 자기장통신, 무선전력전송, 센서네트워크, IT융합