

# 휴대용 IT 기기를 위한 WPC 무선 충전 표준(Qi) 소개

장 병 준  
국민대학교 전자공학부

## I. 서 론

오늘날 IT 산업을 이끌고 있는 휴대폰, 스마트폰, 테블릿 PC 등 휴대용 IT 기기는 내장된 배터리를 이용하고 있으므로 배터리 충전이 필수적이다. 특히 배터리는 얇아지는 반면, 기기에서 요구되는 전력은 커지는 추세이므로 하루에도 한 두 번씩 배터리 충전을 위해서 사용자가 휴대용 IT 기기의 충전 포트를 전선(power cable)을 통해 상용 전원에 연결하여야 한다. 따라서 이러한 불편함을 없앨 수 있는 무선 충전 기술에 대한 관심이 최근 매우 높아지고 있다<sup>[1]</sup>.

무선 충전 기술의 전반적인 동향을 살펴보면 최근까지 여러 회사에서 각자의 방식으로 다양한 무선 충전 기술이 개발되었으나, 표준화가 활발하지 않아 대중화되지는 못한 상태이었다. 다행히 최근 WPC(Wireless Power Consortium)에서는 Qi 표준을 발표함으로써 스마트폰 제조사들이 Qi 표준을 따르는 제품을 출시할 수 있게 되어 무선 충전 기술이 대중화되는 초기 단계에 들어가고 있다. Qi 표준이란 아시아, 유럽, 미국 등의 여러 회사들(2012년 10월말 기준으로 129개의 멤버) 간의 협력 표준으로 다양한 무선 충전 기술을 통합하여 상호 호환되도록 만든 국제 표준이다. WPC에서는 Qi 표준을 따르는 수전기에 무선으로 전력을 전송하는 다양한 방법(2012년 10월말 기준으로 19가지 무선 전력 송전 방법)을 표준화하고 있으며, Qi 표준을 따른다면 새로운 방법이 계속 추가될 수 있도록 하고 있다. 이러한 개방된 표준화 전략에 힘입어 Qi 표준은 향후 휴대용 IT 기기를

위한 무선 충전의 대표 표준이 될 것으로 전망되고 있다. 예를 들어 일본 NTT Docomo에서는 2011년 3월에 Qi 수전기를 내장한 첫 번째 휴대폰을 출시하였으며, 올해 LG에서 제조한 Google Nexus 4 스마트폰도 Qi 표준을 따르고 있다. 게다가 TI와 IDT 등의 chip 제조사들은 Qi 표준의 핵심 chip을 보급하고 있어 스마트폰 제조사들이 Qi 표준의 무선 충전 기술을 채택하는 제품을 쉽게 개발할 수 있도록 하고 있다. 이러한 추세에 따라 2013년 이후 많은 스마트폰에 Qi 표준의 무선 충전 기술이 채용될 것으로 예측되고 있다.

WPC에서 제정한 Qi 표준은 기본적으로 수백 kHz 대의 저주파를 사용하여 이격거리가 수 mm인 비접촉식 유도 결합(induction coupling) 방식을 사용하며, 5 W 정도의 출력을 목표로 하고 있다. 유도 결합 방식은 현재까지 발표된 무선 충전 기술 중 가장 상용화에 가까운 기술이다. 본 고에서는 Qi 표준의 핵심 기술에 대한 개략적인 소개를 함으로써 무선 충전 기술을 개발하고자 하는 연구자들이 연구 방향을 잡는데 도움이 되도록 하고자 한다.

## II. Qi 표준의 소개

휴대용 IT 기기의 무선 충전을 위한 Qi 표준의 정식 명칭은 ‘System Description Wireless Power Transfer Volume 1 : Low Power’로 1 cm 이하의 근접거리에서 5 W의 저출력 무선 충전 기술의 표준화를 목표로 한다. Qi 표준은 Part 1: Interface Definition(인터페이

본 연구는 방송통신위원회의 방송통신원천기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(KCA-2011-11911-01110).

스), Part 2: Performance Requirements(성능 요구 조건), Part 3: Compliance Testing(인증 시험)의 3가지 문서로 되어 있다. 이 중에서 Part 1은 WPC 홈페이지 (<http://www.wirelesspowerconsortium.com>)에서 자유롭게 다운로드할 수 있다. Part 2와 Part 3는 WPC 단체에 가입한 멤버들만이 볼 수 있다<sup>[2]</sup>.

Qi 표준에서 표준화하는 무선 충전 시스템의 구성은 [그림 1]과 같다. 왼쪽이 전력을 공급하는 송전기(power transmitter)가 되며, 오른쪽이 전원을 수전하는 수전기(power receiver)가 된다. 송전기에서는 전원으로부터 직류(Direct Current: DC) 전원을 만들고, 이 DC 전원으로부터 인버터(full-bridge inverter 또는 half-bridge inverter)로 수백 kHz 대의 고주파를 발생시킨다. 발생된 고주파는 송전 코일을 통해 자기장(magnetic field)으로 변환된다. 이 자기장은 수전기에 있는 수전 코일에 전류를 유도하게 되고, 유도된 전류는 전파정류기(full-bridge rectifier) 회로를 통해 DC로 변환된다. 수전된 DC 신호는 충전기를 통해 2차전지를 충전시키거나, 바로 부하(load)에 연결되어 부하에 전력을 공급하게 된다. 이 때 송전 코일 및 수전 코일의 형상 및 위치에 따라 전력이 가변될 수 있으므로 정전압 회로가 삽입되어 일정한 전압이 공급되도록 한다. 또한 송전기에서 전압 및 전류 센싱을 통하여 수전기의 변화를 관찰하고, 수전기의 상태에 따라 인버터의 스위칭 주파수, duty, 바이어스 전압 등을 가 변하는 전력 제어 방식

을 사용한다.

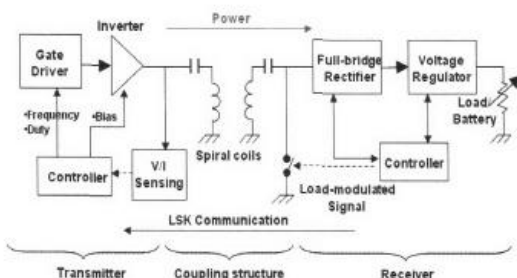
한편, 무선 충전을 효율적으로 제어하기 위해서는 제어 및 통신 신호가 송전기와 수전기 간에 상호 교환되어야 한다. 제어 신호와 통신 신호는 연결 방식에 따라 순방향(송전기 → 수전기) 또는 역방향(수전기 → 송전기)으로만 신호가 흐르거나, 순방향과 역방향 모두에 따라 신호가 흐를 수 있다. 이러한 신호의 전송을 위해 별도의 통신 방식을 갖는 송수전기(Zigbee, 무선 LAN, 등)를 사용하는 경우도 있으나, 이 경우에는 수전기에 신호의 전송을 위한 전원이 별도로 필요하므로 무선 전력 전송과 신호 전송을 같은 채널에서 수행하는 것이 유리하다. 특히 배터리를 가지고 있는 수전기의 경우, 배터리가 완전 방전된 상태에서도 전력 전송이 되어야 하므로 송수신 기능과 무선 전력 주파수가 같은 경우가 대부분이다. Qi 표준에서는 순방향으로 신호를 송신할 경우, 전력효율이 저하될 수 있으므로 사용하지 않고 역방향으로만 신호를 LSK(Load Shift Keying)라 불리는 부하 변조(load modulation) 방식으로 제어 신호를 전송하는 방법을 사용하고 있다<sup>[3]~[5]</sup>.

### III. Qi 표준의 핵심 기술 소개

본 장에서는 Qi 표준 문서 중 Part 1에 포함된 핵심 기술을 소개하고자 한다. Qi 표준은 다양한 송전기 구조를 허용하고는 있지만, 상호 호환을 위하여 기본 동작 원리 및 제어 방식, 통신 프로토콜 등은 동일한 방식을 사용하고 있다. 한편, Qi 표준에서는 송전기를 분류하기 위하여 송전기에 하나의 코일을 갖는 방식을 Type A로, 송전기에 여러 개의 배열된 코일을 사용하는 방식을 Type B로 구분하고 있다.

#### 3-1 Device Positioning 방법

Qi 표준에서 사용하는 device positioning 방법이 란 전력 전달 효율을 최대로 하기 위하여 수전 코일



[그림 1] 무선 충전 시스템의 일반적인 구성

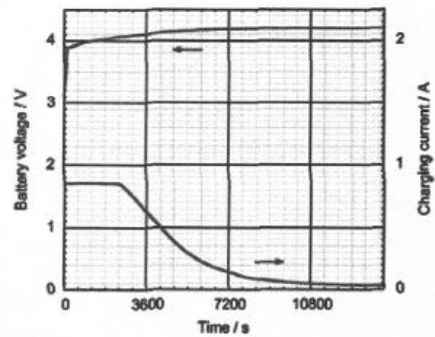
을 송전 코일과 일치하기 위한 방법으로 크게 guided positioning 방법 및 2가지 free positioning 방법으로 구분된다. Guided positioning 방법이란 사용자가 휴대용 IT 기기를 송전기가 포함된 충전 스테이션의 표면에 올려놓으면, 자석을 이용하여 송전 코일과 수신 코일이 최적 위치에 놓여지도록 하는 방식이다.

[그림 2] (a)는 송전기와 수신기의 중앙에 자석을 삽입하여 자석의 인력에 의하여 송전 코일과 수신 코일이 정중앙에 위치하도록 하는 방식이다. 이 방식은 저가적으로 구현이 가능하다는 장점이 있으나, 자석으로 인한 신용카드의 손상 등의 문제가 발생할 수 있는 단점이 있다. [그림 2] (b)는 free positioning의 첫 번째 방법으로 수신기가 송전기 표면에 위치하면 터치 센서가 수신기의 위치를 감지하고, 송전 코일을 수신 코일 밑으로 소형 모터를 이용하여 이동하는 방식이다. 이렇게 되며 [그림 2] (a)의 Guided positioning 방법과 다르게 충전 표면을 넓게 사용할 수 있는 장점이 있다. [그림 2] (c)는 free positioning의 두 번째 방법으로 중첩된 코일에 국부적으로 전력 신호를 인가하여 수신기를 충전하는 방식이다.

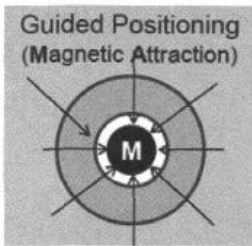
Qi 표준에서는 이상의 3가지 방식을 기본으로 device positioning을 하기 때문에 코일 간의 이격거리를 1 cm 이하로 할 수 있다. 이는 이격거리가 클수록 전력 효율이 떨어지고 전력 제어가 어렵다는 것을 고려한 현실적인 방안이라 판단된다.

### 3-2 전력 제어 방식

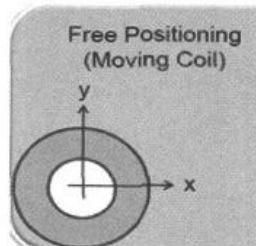
Qi 표준의 대상은 휴대용 IT 기기의 배터리 충전이며, 휴대용 IT 기기는 한 개의 Li-ion 배터리를 사용하는 것이 일반적이다. Li-ion 배터리는 충전 상태에 따라 부하 특성이 변하는 데, 최적의 충전을 위해서는 [그림 3]과 같이 충전 전압과 충전 전류를 충전 시간에 따라 가변시켜야 한다. 즉, 초기 충전 시에는 충전 전류를 일정하게 유지하여야 하며, 충전 시간이 지남에 따라 충전 전류를 감소시켜야 한다. 이러한 전력제어는 송전기의 전력 제어에 의해 이루어진다. [그림 1]의 송전기 블럭도와 같이 송전기에서 전압 및 전류를 센싱하여 수신기의 충전 상태를 지속적으로 관찰하고, 수신기의 상태 변화에 따라 인버터의 스위칭 주파수, Duty, 바이어스 전압 등을 가변하여 충전 전압과 전류를 조절하게 된다.



[그림 3] Li-ion 배터리 충전 프로파일



(a) Guided positioning



(b) Free positioning-moving coil



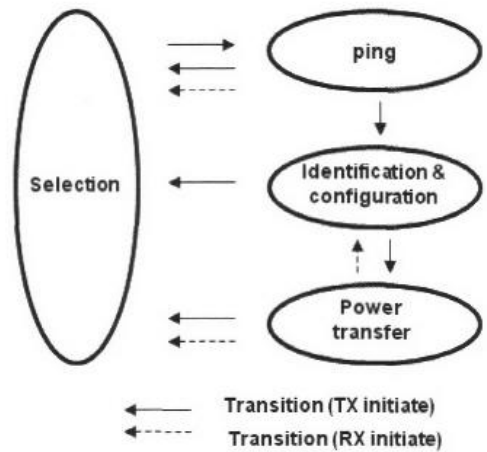
(c) Free positioning-coil array

[그림 2] Device positioning 방법

Qi 표준에서는 구체적인 전력 제어 방식으로 PID (Proportional-Integral-Derivative) 제어 방식을 사용하고 있다. PID 제어는 제어하고자 하는 대상(주로 전류)의 출력값을 측정하여 이를 원하고자 하는 설정값과 비교하여 오차를 계산하고, 이 오차값을 이용하여 제어에 필요한 제어값을 계산하는 구조로 되어 있다. 제어값은 수전기에서 LSK 변조에 의해 수신된 제어 패킷과 송전기에서 센싱한 전압/전류값을 이용하여 계산한다. 이 제어값을 이용하여 수전기의 상태 변화에 따라 인버터를 제어하여 충전 전압과 전류를 조절하게 된다. 예를 들어 AI 송전기 표준은 half-bridge 인버터의 스위칭 주파수와 duty cycle을 가변하여 전력 제어를 하는데, duty가 50 %일 때 스위칭 주파수를 110 kHz에서 205 kHz까지 가변시키거나, 동작 주파수가 205 kHz로 고정시키고, Duty를 10 %에서 50 %까지 가변시킨다. 이렇게 가변하는 이유는 높은 주파수 또는 낮은 duty cycle을 사용할 경우, 전송되는 전력이 작아지게 되므로 [그림 3]의 충전 프로파일에 맞도록 제어할 수 있기 때문이다. 또한, Qi 표준에서는 각 송전기별로 PID 제어에 필요한 비례 이득(proportional gain), 적분 이득(integral gain) 및 미분 이득(derivative gain) 값을 제시하고 있다.

### 3-3 통신프로토콜

Qi 표준에서는 하나의 수전기가 다양한 송전기로부터 전력을 전달받기 위해서 공통된 통신 프로토콜을 사용하고 있다. 통신 프로토콜은 [그림 4]와 같이 4단계로 이루어져 있는데, 각 단계는 수전기를 감지하는 'selection' 단계, 처음으로 패킷을 수신하는 'ping' 단계, 제품에 대한 고유 ID 및 확장 ID, 제어 파라미터에 대한 정보를 받기 위한 'identification & configuration' 단계, 그리고 전력 전송이 이루어지는 'power transfer' 단계로 이루어져 있다. 그림에서 실선은 송전기가 시작하는 상태를, 점선은 수전기가 시작하는 상태를 의미한다. Selection 단계에서 송전기는 수전



[그림 4] 전력 전달 단계

기가 송전기 표면에 위치하였는지 여부를 모니터링한다. 이 때 열쇠나 동전 등 다른 물체가 표면에 있는지 여부도 확인하여야 한다. Ping 단계는 송전기가 'digital ping'을 수행하고 수전기로부터 응답을 듣는다. 응답이 성공하면 송전기는 identification & configuration 단계를 거친 후 power transfer 단계를 들어가서 수전기에 전력을 공급하게 된다.

수전기는 송전기와 통신하기 위해서 패킷을 전송하는데, 패킷은 프리앰블(preamble), 헤더(header), 메시지(message) 및 체크섬(checksum)으로 구성된다. 전송 속도는 2 kbps이며, 인코딩 방식으로는 Bi-phase 방식을 사용한다.

### 3-4 송전기 회로 구성

송전기 회로는 다양한 방법(2012년 10월말 기준으로 19가지 무선 전력 송전 방법)으로 구현된다. 일반적으로 송전 회로는 half-bridge inverter 또는 full-bridge inverter 등의 스위칭 방식의 인버터로 구현되며, 수전기에서 요구하는 전력을 조절하기 위하여 스위칭 신호의 주파수 혹은 duty cycle을 제어하거나, bias 전압을 제어한다.

송전 코일의 경우, 일반적으로 손실을 최소화하기

위하여 Litz wire로 구성되며, 규격에서는 Litz wire의 종류, 감는 방법, 크기 등을 각 송전 방식별로 제시하고 있다. 예를 들어 A1 송전기 표준에서는 0.81 mm의 직경을 갖는 20 AWG 규격의 Litz wire(40 AWG가 105가닥 포함)를 사용하도록 되어 있으며, 2층으로 각 층마다 10번씩 감도록 되어 있다. 한편, 자기 유도 방식에 의해 발생할 수 있는 전자파 간섭 및 인체 유해 문제를 만족하기 위하여 코일에 자기 실드를 통하여 억제하도록 하고 있다. 표준에서는 실드의 크기 및 재질도 규정하고 있다.

### 3-5 수전기 회로 구성

수전기는 보통 스마트폰의 뒷면이나 배터리 팩 안에 삽입되어야 하므로 얇게 구성되어야 한다. 보통 수전기 코일에 직렬과 병렬 캐패시터를 추가하여 이중 공진 회로로 구성되며, 4개의 다이오드를 이용한 full-wave 정류 방식을 사용한다. 표준에서는 수전기의 구성 예 2가지를 Qi 표준에서는 부록 A에서 제시하고 있다. 첫 번째 예는 Li-ion 배터리를 직접 충전하는 예이며, 두 번째 예는 정류 회로를 사용하는 예이다<sup>[2]</sup>.

## IV. 결 론

본 고에서는 최근 관심이 집중되고 있는 휴대용 IT 기기의 충전을 위해 WPC에서 제정한 Qi 표준을 소개하고 그 핵심 기술에 대해 요약하였다. 살펴본 바와 같이 Qi 표준은 스마트폰 등 휴대용 IT 기기의 충전을 위해 최적화된 표준이다. Qi 표준에서는 통신 프로토콜 및 제어 방식을 통일하여 다양한 송전 방식

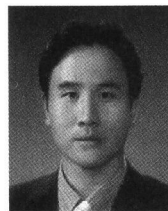
을 개방적으로 수용할 수 있도록 하고 있어 다양한 송전기가 표준에 추가될 수 있도록 하고 있다. 이러한 개방화 전략에 힘입어 전 세계 무선 충전 기술을 선도하고 있다. Qi 표준의 제정에 따라 스마트폰 제조사들은 무선 전력 수전기를 스마트폰 커버, 배터리 팩 등에 내장할 수 있게 되었고, 가정, 사무실, 자동차, 호텔 등 다양한 장소에 송전기 설치가 가능하게 되었다. 예를 들어 현재 일본의 NTT Docomo 등은 호텔, 레스토랑 등에 Qi 표준의 송전기를 무료로 공급하고 있다. 향후 Qi 표준의 확산에 대비하여 무선 충전 칩셋의 국산화, 송수전기 회로를 구성하는 코일 및 shielding 재료의 국산화, 다양한 송수전기 설계 기술의 확보 등이 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 장병준, "무선 전력 전송 기술동향 및 향후 전망", 전력전자학회지, 152(6), pp. 27-31, 2010년 12월.
- [2] Wireless Power Consortium 홈페이지, <http://www.wirelesspowerconsortium.com>
- [3] 장병준, "무선 전력 전송과 관련된 국내의 제도 비교 분석", 전자공학회지, 38(9), pp. 712-717, 2011년 9월.
- [4] 장병준, "근거리 무선전력전송 기술의 재고", 한국전자파학회지 전자파기술, 23(2), pp. 15-20, 2012년 3월.
- [5] Byung-Jun Jang, S. Lee and H. Yoon, "HF-band wireless power transfer system: concept, issues, and design", *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 124, pp. 211-231, Jan. 2012.

≡ 필자소개 ≡

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] RF/마이크로파 회로, 무선통신시스템, RFID/USN, 주파수 간섭