

# 이중루프 구조를 갖는 다중모드 무선전력전송 시스템

한 민 석\*

## Multi-Mode Wireless Power Transfer System with Dual Loop Structure

Minseok Han\*

**요약** 본 논문에서는 이중루프 구조를 갖는 다중모드 무선전력전송 시스템을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 다중모드 무선전력전송 시스템은 두 개의 서로 다른 주파수 6.78 MHz 자기공진 무선전력전송 모드와 13.56 MHz NFC 모드로 동작하는 외부 루프 모듈과 두 개의 서로 다른 주파수에서 동작하는 자기유도 표준인 WPC 모드와 PMA 모드로 동작하는 외부 루프와 연결된 내부 루프 모듈로 구성된다. 실제 상용 스마트폰 배터리 커버에 장착하기 위해 페라이트 시트를 포함한 45 × 90 × 0.35 mm<sup>3</sup> 크기에 맞춰 설계 및 최적화 되었다. 제안된 다중모드 무선전력전송 시스템은 기존의 자기유도방식 표준에 해당하는 WPC와 PMA를 지원할 뿐만 아니라 6.78 MHz 및 13.56 MHz에서 20 dB 이상의 반사손실 특성을 나타내었고 6.78 MHz 자기공진 무선충전 환경에서는 공진코일 간 70% 이상의 효율 특성을 갖는다.

**Abstract** In this paper, we propose a multi-mode wireless power transfer (WPT) system with a dual loop structure. The proposed multi-mode WPT system consist of outer loop module which can operate at two different frequency bands including 6.78 MHz magnetic resonance WPT mode and 13.56 MHz near field communication (NFC) mode and inner loop module connected with outer loop which can operate at two different frequency bands including WPC mode and PMA mode based on inductive coupling standards. In order to be able to embed this system into smartphone battery back cover, the electrical designs are optimized and then the size was fixed 45 × 90 × 0.35 mm<sup>3</sup> (including ferrite sheet) which is the same commercial smartphone. The proposed multi-mode WPT module can cover WPC and PMA mode based on inductive coupling. Moreover, it has more than 20 dB return loss characteristics at two different frequency bands including 6.78 MHz and 13.56 MHz, and shows more than 70 % transfer efficiency between resonant coils at 6.78 MHz in magnetic resonant charging environment.

**Key Words** : Dual Loop, Inductive Coupling, Magnetic Resonance, Mode Switching, Multi-mode, NFC, Wireless Power Transfer (WPT), WPC, PMA, Airfuel Alliance

### 1. 서론

최근 들어 무선 충전 또는 무접점 충전 기술이 개발되어 다양한 형태의 전자 기기에 활용되고 있다. 무선전력전송은 전력에너지를 무선 전송이 가능한 형태로 변환시켜 전달하는 전력전송시스템으로 전송되는 거리에 따라 전자파 전파 특성이

다르기 때문에 전송방식을 구분하고 있으며, 자기유도, 자기공진, 그리고 RF방식이 있다[1].

현재 상용화 된 무선전력전송 방식은 대다수가 WPC 또는 PMA 표준 자기유도 방식으로 현재 813개 이상의 Qi 인증 제품이 출시되어 있다. 자기유도방식은 5W 이하의 소형 전자기기에 적용

This work was performed by the 2016 year, school funding of Osan University.

\*Corresponding Author : Department of Electronics, Osan University (mshan1024@osan.ac.kr)

RecReceived November 30, 2016

Revised December 04, 2016

Accepted December 19, 2016

이 가능하며 현재 15W급 Tablet PC 및 자유도 개선을 위한 멀티 코일 형태의 표준이 마련되고 있으며 공급전력 대비 충전 효율이 최고 80 % 이상이다. 하지만, 충전 위치의 변화에 따라 충전 효율이 크게 달라지며 발열이 많다는 단점이 있다[2]. 특히 전력전송 가능 거리가 수 mm로 매우 짧아 적용 가능한 분야가 적다는 것이 가장 큰 단점으로 지적된다. 자기공진방식은 비교적 큰 전력을 수미터까지 보낼 수 있다는 장점이 있으나, 높은 공진 특성(High Quality Factor)을 요구한다[3].

한편, 최근에 출시되는 상당수의 스마트폰에는 NFC 통신이 가능하도록 NFC 모듈이 장착되어 출시되고 있다. 공간에 대한 효율성 측면에 있어서 하나의 공진코일로 기존의 자기유도방식 표준에 해당하는 WPC와 PMA 뿐만 아니라 6.78 MHz 자기공진형 무선충전과 NFC를 모두 지원하는 솔루션에 대한 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 이중루프 구조를 갖는 스마트폰용 멀티모드 무선전력전송 시스템을 제안하였다. 간단한 모드 전환 스위칭 방식을 통해 하나의 공진코일로 구현함으로써 기존의 자기유도방식 표준

에 해당하는 WPC와 PMA를 지원할 뿐만 아니라 6.78 MHz 및 13.56 MHz에서 20 dB 이상의 반사 손실 특성을 나타내었고 Airfuel에서 제시하고 있는 자기공진형 충전환경에서 코일 간 전송효율을 측정한 결과 70 % 이상의 효율을 나타내었다.

## 2. 무선전력전송 표준화 동향 및 세부 요구사항

자기유도방식 표준인 WPC “Qi 1.2” 규격의 경우, 전송전력을 15 W 까지 증가하여 30분 이내 60 % 배터리 충전할 수 있는 고속 무선충전 기능을 제공하고 있다. 전송거리 기존 5 mm 미만에서 최대 45 mm 까지 확장 (tuned resonance technology 도입) 하고 하나의 인버터로 다수개의 스마트폰을 동시에 충전할 수 있는 다중충전 기능을 제공하기 위한 노력을 진행하고 있다[4].

또한, 자기공진방식 표준을 주도하고 있는 Airfuel 진영에서는 A4WP 무선 전력 전송 시스템 규격 1.2판에서 자기 공진 방식 무선 전력 전송 시스템의 전력 송수신기 설계 및 요구 사항, 전력 전

표 1. 무선전력전송 표준 및 세부 요구사항 비교 ([4],[5]참고)  
Table 1. Comparison of Wireless Power Transfer Standards and Detailed Specifications (Refer to [4], [5])

Standard	Qi v1.1	Qi v1.2	Qi v1.3 (pending)	PMA v2.0	A4WP BSS 1.2	A4WP BSS 1.3	A4WP BSS 1.4 (pending)
Organization	WPC (Wireless Power Consortium)			AirFuel Alliance			
Type	Inductive		Inductive, Resonant	Inductive	Resonant		
Max. Tx Power	5 W	15 W	TBD	5 W	10-16 W	10-50 W	1-50 W
Max. Rx Power	~ 5 W	~ 15 W	TBD	~5 W	3.5-6.5 W	3.5-30 W	~ 1-30 W
Efficiency	> 70 %	> 70 %	TBD	> 70 %	> 60 %		
Max. Distance Between Tx/Rx	5 mm	5 mm	5 mm (Inductive) 45 mm (Resonant)	5 mm	50 mm		
Power Transfer Frequency	100-205 kHz			277-357 kHz	6.78 MHz		
Communication	In-band	In-band		In-band	Out-of-band (separate from power transmission) 2-way via 2.4 GHz BLE		
Single or multiple receivers	Single	Single	Single, Multiple	Single	Single, Multiple		
Availability	Now	Now	Future	Now	Now	Future	Future
IC Suppliers	Broadcom (Rx only), TI, NXP (Tx only), Semtech, ST, Richtek, IDT (Rx only)	TI, NXP (Tx only), Toshiba (Rx only)	TI(future)	Broadcom (Rx only), Mediatek, Semtech, ST, TI, IDT (Rx only)	Broadcom (Rx only), Qualcomm (WiPower), NXP (Rx), Mediatek, IDT(future)	TBD	TBD
Products/Retail/Development Kits	Too numerous	Convenient Power	Convenient Power (future) Powerby Proxy (future)	Samsung, Motorola, LG, Nokia, Kyocera, Powermat, Starbucks	Gill Electronics, WiTricity, Convenient Power	TBD	TBD
Key Supporters	HTC, Nokia, Sony, Verizon			AT&T, Duracell, Starbucks	WiTricity, Intel		

송 시스템 제어, 그리고 이를 제어하기 위한 통신 인터페이스에 대해 정의한 반면 버전 1.3에서는 버전 1.2와 달리 상호 호환성 요구 사항을 넣었으며, 다중 충전 및 충전 효율 향상을 위한 공진기 결합 효율 계산 방법을 추가하였다[5].

가정이나 사무실 또는 차량 내부에 개별 송신기 위주의 스마트폰 무선충전서비스에 국한하였다면, 버전 1.3에서는 인프라의 개념을 도입하여 커피숍, 레스토랑 등 공공장소 서비스로 확장한 것을 알 수 있다.

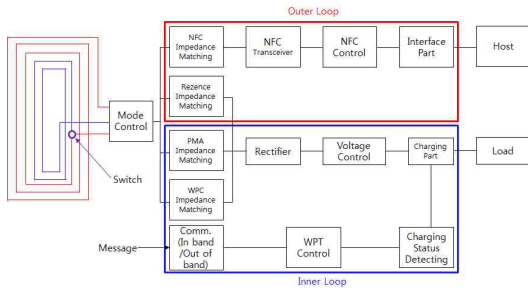


그림 1. 이중루프 구조를 갖는 멀티모드 무선전력전송 시스템 기본 개념 및 블록도  
 Fig. 1. Basic concept and block diagram of multi-mode wireless power transfer system with dual loop structure

버전 1.2는 전력 수신기가 최대 6.5W까지 받을 수 있었으나, 버전 1.3에서는 50W까지 전력 수신 범위를 확대한 것을 알 수 있다. 버전 1.2가 스마트폰 단말기 위주의 전력 수신기 구조에 국한하였다면, 버전 1.3에서는 노트북, 태블릿 및 주변기기까지 충전할 수 있도록 수신기의 구조가 개선하였고, 활용 사업 모델로서는 버전 1.2가

### 3. 이중루프 구조를 갖는 멀티모드 무선전력전송 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 이중루프 구조를 갖는 멀티 모드 무선전력전송 시스템은 그림 1 과 같이 외부 루프(Outer Loop)와 내부 루프(Inner Loop)를 연결하고, 모드 제어부에 의해 동작하는 스위치의 동작에 따라 스위치가 오프(Off) 되는 경우, 외부 루프를 이용하여 자기 공진 방식과 NFC 통신을 지원하는 외부 루프 모듈과 스위치가 온(On) 되는 경우, 외부 루프와 상기 내부 루프를 동시에 이용하여 자기 유도 방식 표준인 WPC와 PMA를 동시 지원하여 전력을 전송하는 내부 루프 모듈로 구성된다. 동일한 동작 주파수를 가지는 무선전력 및 통신 신호 중 적어도 하나를 수신하고 이를 바탕으로 멀티모드 무선전력전송 시스템의 모드제어부에서 스위치를 조작하여 안테나 모듈의 동작모드를 제어하게 된다. WPC와 PMA모드의 경우, 세부 동작 특성을 확인하기 위해 수신칩은 TI사 bq51221 이중모드 칩을 사용하였다. 그림 2는 실제 구현을 위한 스위치 on/off

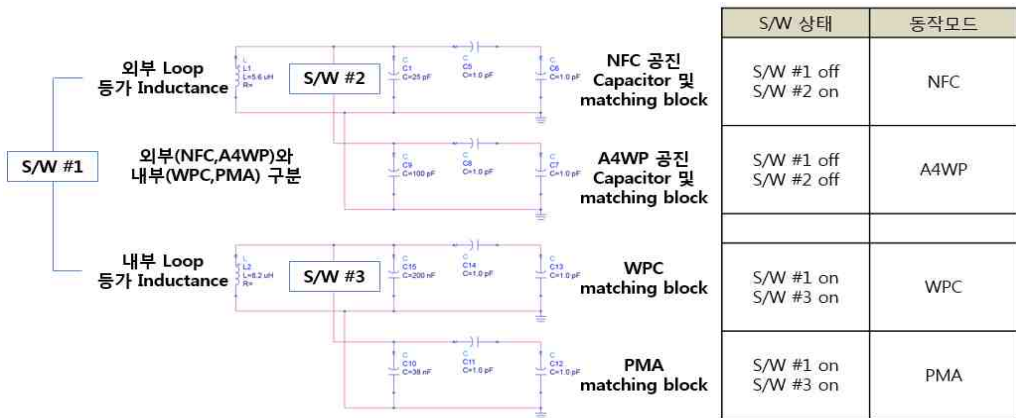


그림 2. 스위치 on/off 상태에 따른 세부 동작 모드  
 Fig. 2. Detailed operation mode according to switch on/off status

상태에 따른 세부 동작모드를 나타내주고 있다. 스위칭 동작을 위해 아날로그 디바이스사의 Triple SPDT 스위치 ADG786을 이용해 구현되었다.

### 4. 결과 및 고찰

그림 3 은 본 논문에서 제안한 이중루프 구조를 갖는 멀티모드 무선전력전송 시스템을 실제 상용 스마트폰 배터리 커버에 맞춰 제작한 각각의 모드(자기유도/자기공진/NFC)별 세부 동작을 나타내주고 있다.

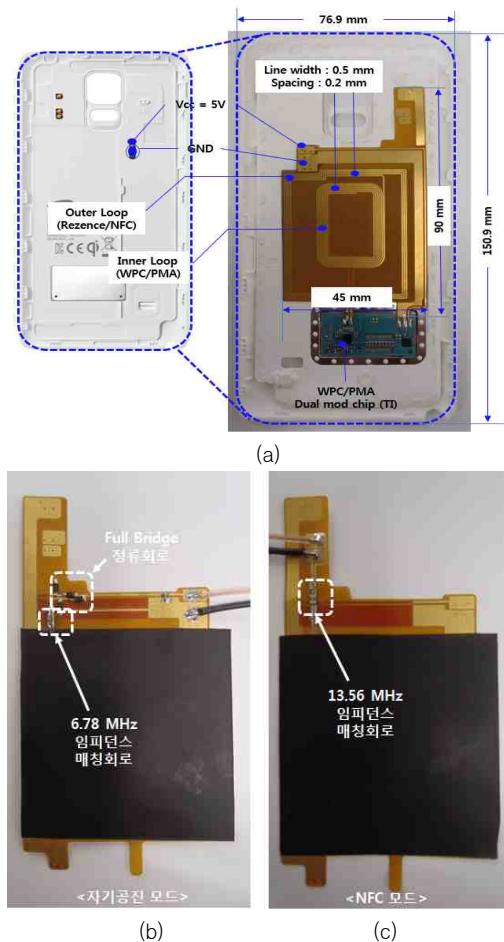


그림 3. 제작된 멀티모드 무선전력전송 시스템 구조; (a) 자기유도기반 WPC/PMA 모드 (b) 자기공진 모드, (c) NFC 모드  
 Fig. 3. Fabricated multi-mode wireless power transfer system ; (a) Inductive coupling based WPC/PMA mode, (b) Magnetic resonance mode, and (c) NFC mode

2012년 5월 23일 제정된 TTA 표준/기술보고서 “모바일 무선 충전 시스템의 평가 방법” 과 “모바일 기기용 무선전력전송 효율 측정 기준점 정의” 내용에 따르면 Tx 모듈 입력 전압 및 전류 Rx 모듈 출력 전압 및 전류로 효율을 측정하고 있다 [6, 7]. 각각의 표준 모드별 Tx의 경우 WPC 표준은 bqTesla transmitter (HPA689)를 사용하여 측정하고, PMA 표준은 Duracell Powermat Tx를 이용하여 측정하였다. 제안된 멀티모드 무선전력전송 시스템은 WPC의 경우 Rx 모듈의 로드 출력 전류가 1 A 일 때 76 % 효율을 나타내었고 PMA의 경우 72%의 효율을 나타내었다.

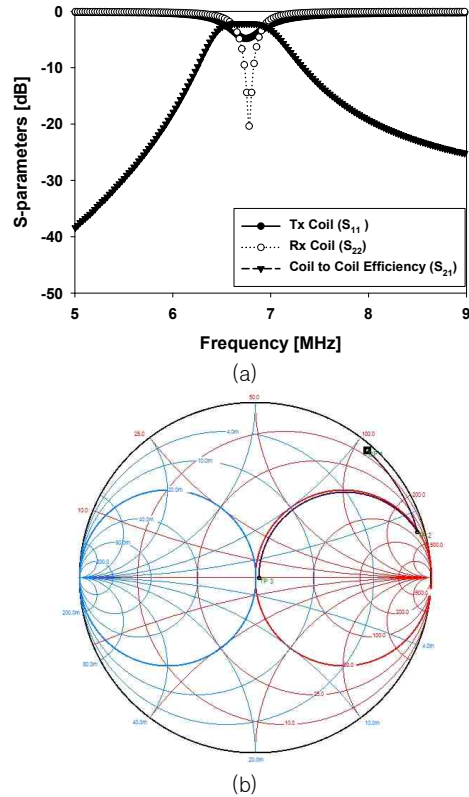


그림 4. 6.78MHz 자기공진형 모드 성능 측정 결과; (a) 반사손실 특성, (b) 스미스차트 임피던스 매칭 특성 [8]  
 Fig. 4. Test results of 6.78 MHz based on magnetic resonance mode ; (a) Return loss characteristic and (b) Smith chart impedance matching characteristic [8]

그림 4는 모드 스위칭 변환을 통해 외부루프 6.78 MHz 자기공진 모드로 동작할 때, 반사손실 특성 및 스미스차트 임피던스 매칭 특성을 나타내주고 있다. 그림 4(a)에서와 같이 6.78 MHz 에서 반사손실 특성은 20.42 dB를 나타내었고 코일 간 전송효율은 70 % 를 나타내었다. 그림 4(b)는 스미스 톨을 이용하여 실제 임피던스 매칭을 위해 적용된 병렬 Capacitor 150 pF, 직렬 Capacitor 43 pF 값을 적용했을 때 스미스 차트상의 실제 궤적을 나타내주고 있다.

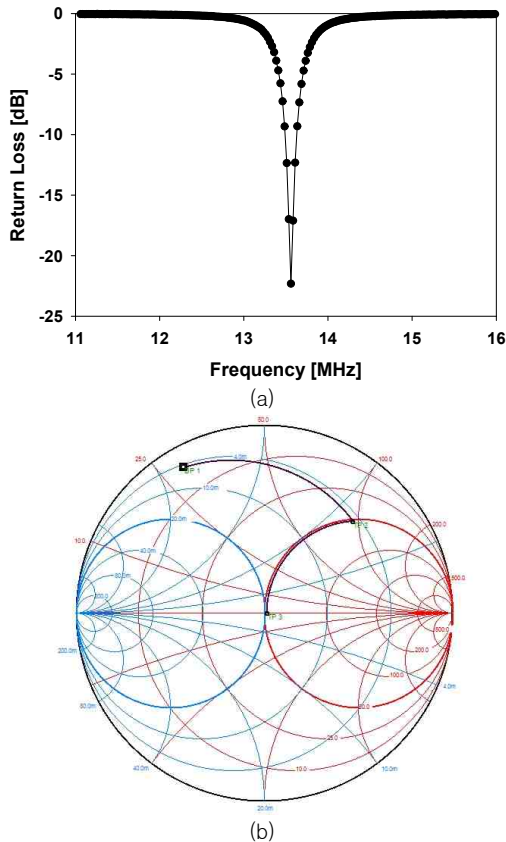


그림 5. 13.56 MHz NFC 모드 안테나 성능 측정 결과; (a) 반사손실 특성, (b) 스미스차트 임피던스 매칭 특성 [8]  
 Fig. 5. Test results of 13.56 MHz based on NFC mode ; (a) Return loss characteristic and (b) Smith chart impedance matching characteristic [8]

그림 5는 모드 스위칭 변환을 통해 외부루프 13.56 MHz NFC 모드로 동작할 때, 반사손실 특성 및 스미스차트 임피던스 매칭 특성을 나타내주고 있다. 그림 5(a)에서와 같이 13.56 MHz에서 반사손실 특성은 22.31 dB를 나타내었다. 그림 5(b)는 스미스 톨을 이용하여 실제 임피던스 매칭을 위해 적용된 병렬 Capacitor 308(240+68) pF, 직렬 Capacitor 120 pF 값을 적용했을 때 스미스 차트상의 실제 궤적을 나타내주고 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 이중루프 구조의 모드 전환 스위칭 방식을 통해 자기유도, 자기공진 무선 충전 및 NFC 기능을 갖는 스마트폰용 다중모드 무선전력전송 시스템을 제안하였다. WPC 및 PMA 자기유도형 충전환경에서 70 % 이상의 전송효율과 6.78 MHz 및 13.56 MHz에서 20 dB 이상의 반사손실 특성 및 자기공진형 충전환경에서 코일 간 전송효율 70 % 이상을 나타내었다. 향후 실제 스마트폰에 장착 후 Battery 영향을 고려한 전체 시스템 효율 및 NFC 인식거리에 대한 성능 검증이 추가적으로 진행 될 예정이다.

### ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 2016년 오산대학교 교내과제 지원을 받아 수행된 연구임.

### REFERENCES

[1] W. C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", *IEEE Trans. Micro. Theory Tech.*, Vol. MTT-32, No. 9, pp. 1230-1242, Sep. 1984.  
 [2] M. S. Han, R. H. Park, "Wireless Power Transfer Technology of Industry", *The Magazine of the IEEK*, vol. 38, no. 9, pp.31-36, 2011.  
 [3] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D.

- Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljagic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", *Science*, vol. 317, no. 83, pp.83-86, 2007.
- [4] <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [5] <http://www.airfuel.org/>
- [6] TTA Standard/Technology Report "Evaluation Method of Mobile Wireless Power Transfer System", Standard Number : TTAR-06.0112, 2012
- [7] TTA Standard/Technology Report "Definition of Wireless Power Transfer Efficiency Measurement Point for Mobile Devices", Standard Number : TTAR-06.0113, 2012
- [8] Minseok Han, Ji-Min Kim and Hoon Sohn, "Dual-mode Wireless Power Transmission System", *Korea Information and Communication Society Symposium Proceedings*, High1 Resort, Korea, Jan, 2015.

---

## 저자약력

---

### 한 민 석(Min-Seok Han)

### [정회원]



- 2002년 2월 : 아주대학교 전자공학부 (공학사)
  - 2005년 8월 : 한양대학교 대학원 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)
  - 2003년 4월 ~ 2007년 8월 : LG전자 MC연구소 주임연구원
  - 2011년 8월 : 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과 (공학박사)
  - 2011년 6월 ~ 2013년 6월 : LS전선 중앙연구소 책임연구원
  - 2013년 7월 ~ 2016년 2월 : 한국과학기술원 (재)스마트IT 융합시스템연구단 연구부교수
  - 2016년 3월 ~ 현재 : 오산대학교 전자과 교수
- 차세대 이동통신 시스템, 안테나 및 RF 시스템, 무선전력전송시스템

<관심분야>