

무선 유도 및 공진 충전방식의 전송효율 연구

A Study on Transmission Efficiency of Wireless Power Induction and Resonant Charging Methodologies

노영환*

Young Hwan Lho*

Abstract

Wearable devices have become practically indispensable to daily life and helped people track and manage fitness, health, and medical functions etc. As these wearable devices become smaller and more comfortable for the user, the demand for longer run time and charging ways presents new challenges for the power management engineer. Wireless power transfer (WPT) is the technology that forces the power to transmit electromagnetic field to an electrical load through an air gap without interconnecting wires. This technology is widely used for the applications from low power smart phone to high power electric railroad and main electrical grid. There are two kinds of WPT methods: Inductive coupling and magnetic resonant coupling. The model using magnetic resonant coupling method is designed for a resonant frequency of 13.45 MHz. In this study, the hardware implementations of these two coupling methods are carried out, and the efficiencies are compared.

요약

웨어러블 디바이스는 일상생활에서 실질적으로 필수적이며 사용자들에게 편리하게 이용되고 건강관리와 의학 분야 등에 활용되고 있다. 전력분야에서 전원 배터리의 사용시간의 한계를 극복하고 효율적인 충전방법에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 무선전력전송은 전선을 사용하지 않고 무선으로 전기장을 부하에 전력을 전달하는 기술이다. 이 전송기술은 저 전력의 스마트폰에서부터 고 전력을 사용하는 철도 충전시스템까지 응용분야가 다양하다. 충전방식은 유도방법과 자기공진방법의 2 종류로 나누는데 자기공진주파수는 13.45 Mhz를 사용하였다. 본 연구에서는 전송효율을 측정 비교하기 위하여 2 종류의 하드웨어를 구현한 후 비교하는데 있다.

Key words : wireless power transfer, inductive coupling, magnetic coupling, transmission efficiency, wearable device

* Dept. of Railroad Electrical System Engineering,
Woosong University

★ Corresponding author
E-mail : yhlho@wsu.ac.kr, Tel : +82-42-629-6731

※ Acknowledgment

This research is based on the support of "2019 Woosong University Academic Research Funding".

Manuscript received June 5, 2019; revised June 18, 2019; accepted June 18, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라는 IT 부품과 관련한 기술력은 매우 우수한데 웨어러블 스마트 기기와 새로운 부품 등의 일부핵심기술은 개발 초기단계에 있는 실정으로 세계 최고의 기술을 확보하기 위해서는 기술개발이 필요한 실정이다. 웨어러블 스마트 디바이스는 IT 부품과 소재에 많은 변화를 가져오는데 전원 배터리의 한계를 극복하기 위해 웨어러블 디바이스 전원모듈이 중요한 연구 내용이 되고 있다. 전원모듈은 유선과 무선으로 나누는데 유선 경우 스마트 워치, 피트니스밴드, 스마트 패치로 구분되는데 삼

성전자, 애플, 구글 등과 같은 ICT 분야의 기술선도 기업뿐만 아니라 나이키, 아디다스와 같은 스포츠 용품 업체들까지 다양한 영역에서 혁신적인 제품들이 출시되고 있다. 특히 스마트폰의 대중화에 따라 유선 충전 없이 언제, 어디서나 자유롭게 배터리를 충전할 수 있는 기술에 대한 관심이 증대되어 이를 만족시킬 수 있는 무선 전력전송 기술개발에 많은 관심을 가지게 되었다. 무선충전 분야를 주도하고 있는 민간표준은 자기유도 방식을 이용하는 WPC(Wireless Power Consortium), PMA(Power Matters Alliance) 그리고 자기공진 방식을 이용하는 A4WP(Alliance for Wireless Power)가 있다.

기존의 자기유도방식은 송신기에 수신기(스마트폰 등)를 고정시키는 접촉식 충전방식으로 10 cm 이상의 거리에서는 충전이 어렵고, 특정 방향에서만 충전이 되는 한계가 있었다. 이를 극복하기 위하여 송신기는 고정시키고 수신기를 고정시키지 않고 충전시키는 자기공진 방식이 있다.

Fig. 1에서 보여준 자기공진방식[1]은 2개의 코일 사이 전기 에너지를 전달하는 자기장의 코일로 구성된 유도방식에 커패시터를 삽입한 구조를 가지고 있다.

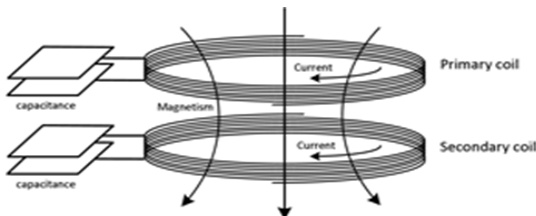


Fig. 1. Wireless Charging Structure.
그림 1. 무선 충전 구조

유도 전력전송은 에너지 발신원의 주 코일이 자기장내에 에너지 수신단의 2차 코일 양단에 강한 자기장을 발생시켜 전류/전압을 유도한다. 한편 Fig. 1에서 보여준 자기공진방식은 전기장을 통해 2개의 공진 코일 사이 전기에너지를 발생시켜 전달하고 공진주파수[2]에서 공명하는 파장결합에 기초하고 있다. 대표적인 응용은 0.3 cm 거리에 최대 전력 전송효율[2]은 92.6 % 까지 달성하였다. 본 논문에서는 2 종류에 대한 회로를 설계하고 시뮬레이션을 수행한 후 회로를 구현하여 전송효율을 측정하고 비교하여 최적의 전송조건을 연구하는데 있다.

II. 회로설계

무선전력전송은 AC 전원에 전선을 연결하지 않고도 배터리를 충전할 수 있는 기술과 이를 보조할 수 있는 기술을 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그중에 자기공진형 중거리 무선전력전송과 마이크로파를 사용하는 장거리 무선전력전송의 연구가 활발히 진행되고 있다. 공진형은 유도형과 달리 송신단에 소스코일과 공진코일, 수신단의 디바이스 코일과 자기공진을 위한 각각의 공진코일로 구성되어 있다. 송신단의 소스코일에서 송신되는 신호가 수신단의 디바이스 코일로 전달됨에 있어서 송수신단의 공진코일들이 임피던스 매칭을 통해 송수신 신호 전송효율을 높이는 구조이다.

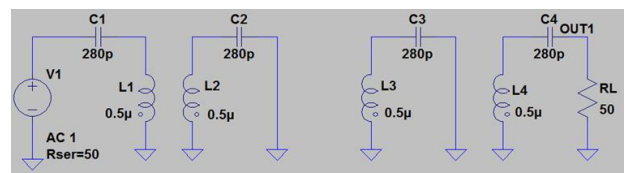


Fig. 2. Simulation circuit for resonant method.
그림 2. 자기 공진형 시뮬레이션 회로

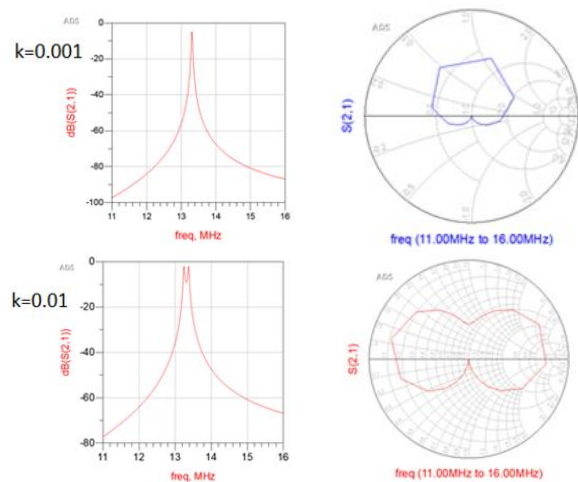


Fig. 3. Transmission efficiency (S21) in dB vs. coupling coefficient (k) and freq. and Smith chart.
그림 3. 결합계수 및 주파수에 따른 전송효율(S21)과 스미트차트

유도결합방식은 2개의 코일 사이 전기에너지를 전달하는 자기장의 유도에 기반을 두고 있다. 유도 전력전송은 에너지 발신원의 주 코일이 자기장내에 에너지 수신단의 2차 코일 양단에 강한 자기장을 발생시켜 전류/전압을 유도하는데 시뮬레이션

회로는 Fig. 2와 같다.

자기 공진 결합[3]은 일반적으로 Mhz 범위내에서 운용되는데 충전거리가 증가함에 따라 충전 효율은 감소하며 결합계수(coupling coefficient)[4]가 적을 때 공진주파수가 단독으로 유지되다가 결합계수가 0.01 이상으로 커지면 송수신간의 거리가 가까워져서 Fig. 3과 같이 공진주파수[4]가 split 된다. 결합계수와 s-파라미터를 이용한 전력전송효율은 각각 등식 (1)과 (2)와 같이 표현된다.

$$k_{xy} = \frac{M_{xy}}{\sqrt{L_x L_y}} \quad (1) \quad \eta = \frac{|S_{21}|^2}{(1-|S_{11}|^2)} \times 100(\%) \quad (2)$$

III. 회로구현

전력전송방법은 Fig. 4의 유도형과 Fig. 5의 공진형으로 나누며 공진형은 유도형과는 달리 안테나 모듈(antenna module)[5]에서 공진회로가 삽입되어 있다. 전송거리 300 mm 까지 거리에 따른 전력전송효율[2, 6]을 측정하기 위해 300 KHz에서 90 Ghz 까지 측정할 수 있는 네트워크 분석기(Network Analyzer)를 사용하였다. 무선전력전송 시스템에서 공진형 등가회로는 네 개의 코일로 구성된다. 입력단의 LM7805 레귤레이터를 이용하여 5 V 정격전압이 출력되는데 갑작스런 전력소모를 대비하여 출력과 입력측에 커패시터를 달아준다. 그리고 LTC1799 오실레이터는 2.7 V와 5.5 V 전압 사이에 동작되는데 출력은 스위칭소자인 MOSFET의 게이트(gate)에 입력된다.

좌측하단의 송신부에서 입력전원을 5 V 및 1.4 V를 인가하여 공진회로를 거쳐 수신부에 전달되는데 출력파형은 우측하단의 Schottky 다이오드를 거쳐 우측 상단에서 발생된다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 6과 같으며 결합계수가 0.01일 때 split 현상으로 전송효율이 감소되다가 0.05일 때 최대 80%까지 증가되며 결합계수가 증가함에 따라 감소함을 보여주고 있다. 이때 k_{12} 와 k_{34} 는 0.05로 설정하였다.

송신부와 수신부의 회로 구현은 Fig. 7과 같다. 공진회로에서 커패시턴스는 50 pF와 인덕턴스는 2.8 μH를 이용할 때 공진주파수 13.45 Mhz를 생성시켜 전력전송효율을 Fig. 8의 좌측 상단같이 측정하였다. 좌측하단은 인가파형이고 우측은 Schottky 다이오드의 전과정류 파형이다. 자기공진형에서 커

패시턴스가 50 pF, 인덕턴스가 2.8 μH 경우 전송거리가 16 mm에서 split가 발생되어 전력전송효율이 감소되다가 20 mm에서 92.5 %로 증가된다. 측정 데이터는 전송 거리가 100 mm까지 진행된 결과 전송거리가 증가함에 따라 전송효율은 감소함을 Fig. 9에서 보여주고 있다. 유도형에서 전송거리가 50 mm에서 코일지름 37~46 mm이고 코일의 감은 횟수를 6회하여 측정한 결과 2.15 %에 불과하였다.

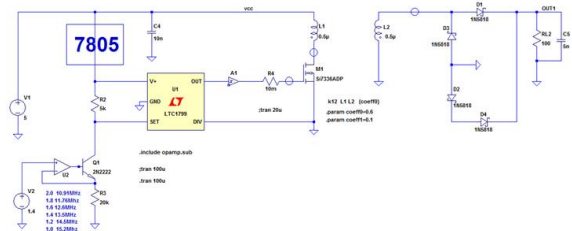


Fig. 4. Circuit of induction type evaluation board.

그림 4. 유도형 평가 보드 회로도

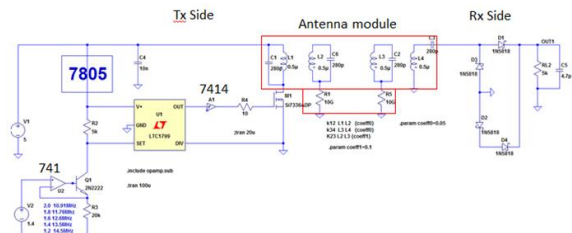


Fig. 5. Circuit of resonant type evaluation board.

그림 5. 공진형 평가 보드 회로도

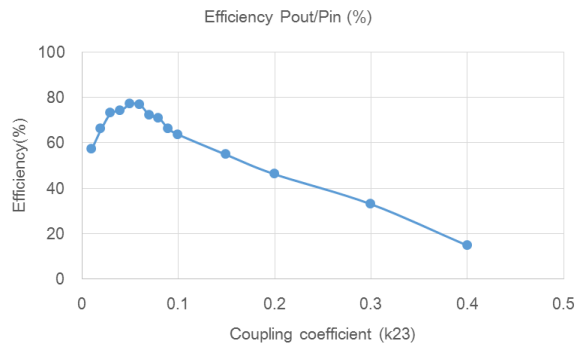


Fig. 6. Efficiency in simulation vs. coupling coefficient (k_{23}) ($k_{12}=k_{34}=0.05$).

그림 6. 결합계수(k_{23})에 대한 시뮬레이션 효율 ($k_{12}=k_{34}=0.05$)

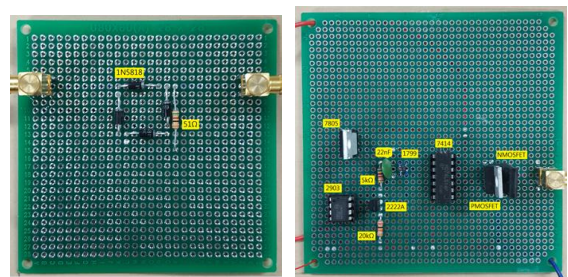


Fig. 7. Implementation for transmission and receiving part circuit.

그림 7. 송신부 및 수신부 회로 결선

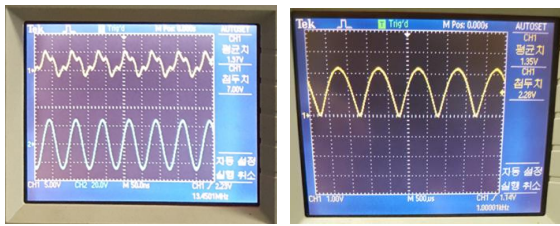


Fig. 8. Input and output waveform of resonant circuit and that of Schottky diode.

그림 8. 자기 공명회로의 입/출력 파형 및 쇼트키 다이오드의 출력파형

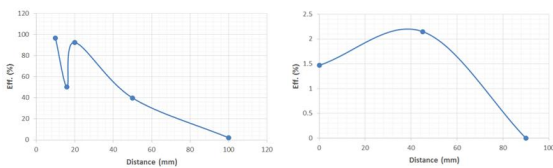


Fig. 9. Transmission efficiency measured vs. mutual distance for resonant and induction circuit board

그림 9. 자기공명 및 유도방법의 송/수신간 거리에 따른 측정 전송효율

IV. 결론

무선 충전방식의 유도형과 자기 공진형에 대한 전송방식과 효율을 비교 분석하였다. 회로를 설계하여 인덕턴스간의 결합계수와 전력전송효율과의 관계를 분석하였으며 하드웨어를 구현하였다. 결합계수 값이 적은 경우 전력전송효율을 향상시키기 위해 공진조건을 형성하도록 새로운 전원 주파수를 생성하였으며 공진주파수 13.45 Mhz를 만들기 위해 여러 종류의 커패시턴스 값과 인덕턴스 값에 따라 전송조건과 코일지름이 결정되었으며, 전송 거리에 따른 전력전송효율을 측정하고 분석한 결과 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인하였다. 여기서 split가 발생하는 전송거리를 제외하고 전송거리가 증가함에 따라 전력전송효율이 감소되었다. 전력전송효율에서 자기공진방법이 유도방법보다 전송효율에서는 월등하게 우수함을 보여주었다.

References

[1] Xiao Lu, Ping Wang, Dusit Niyato, Dong In Kim, and Zhu Han, “Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*,

Vol.18, No.2, pp.1413-1452, 2015.

DOI:10.1109/COMST.2015.2499783

[2] Junfeng Chen, Zhixia Ding, Zhaoyang Hu, Shengming Wang, Yongzhi Cheng, Minhai Liu, Bin Wei, and Songcen Wang, “Metamaterial-Based High Efficiency Wireless Power Transfer System at 13.56 MHz for Low Power Applications,” *Progress in Electromagnetic Research B*, Vol.72, pp.17-30, 2017.DOI: 10.2528/PIERB16071509

[3] Tushar Supe, Aishwarya Joy, Neha Kadam, and Asmita Bhagat, “Study on Wireless Power Transfer Using Resonant Induction Technique,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(3), pp. 665-668, 2014.

[4] Adré Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, et al., “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances,” *Science*, Vol.317, pp.83-86, 2007.

DOI: 10.1126/science.1143254

[5] Young Kyo Kim, Nambayar, and Si Ho Kim, “Magnetic Resonant Coil System for Efficiency Improvement of Wireless Power Transmission,” *SoC Conference* 2011.

DOI: 10.1109/APS.2011.5996636

[6] Alanson P. Sample, Benjamin H. Waters, Scott T. Wisdom, and Joshua R. Smith, “Enabling Seamless Wireless Power Delivery in Dynamic Environments,” *Proceedings of IEEE*, Vol.101, No.6, pp.1343-1358, 2013.

DOI: 10.1109/JPROC.2013.2252453