

### 3 kW 무선 전력전송을 위한 전력 변환기 회로 특성

## The Power Converter Circuit Characteristics for 3 kW Wireless Power Transmission

황락훈<sup>1</sup> · 나승권<sup>2\*</sup> · 김진선<sup>1</sup> · 강진희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>세명대학교 전기공학과

<sup>2</sup>한국폴리텍대학 원주캠퍼스 전기제어학과

Lark-Hoon Hwang<sup>1</sup> · Seung-kwon Na<sup>2\*</sup> · Jin Sun Kim<sup>1</sup> · Jin-hee Kang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Semyung University, Chungcheongbuk-do, 27136, Korea

<sup>2</sup>Department of Information Electric Control Engineering, Korea Polytechnic College Wonju Campus, Gangwon-do, 26406, Korea

#### [요 약]

무선 전력전송기에서 두 유도 코일 사이의 무선 전력전송 특성과 영향에 대해서 알아보고, 무선 전력전송 기술을 이용한 전력변환기 회로와 배터리 충전·방전기 회로를 제안한다. 무선 전력전송기 및 무선 충전기의 장점은 기존의 플러그인 탑재형 유선 충전기(OBC; on-board charger) 대신 무선으로 전력을 전송하여 배터리에 전력 충전 시 사용자가 외부에서 전원을 연결 시키지 않고 무선으로 충전할 수 있는 점이다. 또한 무선충전의 이점은 2차측 정류기의 회로와 수신 코일을 사용하여 에너지 효율 향상 효과를 가져올 수 있으나, 대용량의 원거리 무선충전 방식은 전송거리에 대한 한계가 있어 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 비 접촉 방식의 전력 전송기의 전력을 전송 할 수 있는 송신부인 1차측 코일과 수신부인 2차측 코일 및 하프브리지(half bridge) 직렬공진 컨버터를 적용한 무선 전력전송장치의 송신부 회로와 수신부 회로의 연구를 목적으로 무선충전시스템의 전력전송거리 향상을 위한 새로운 토폴로지를 적용하고, 각각의 거리에 따른 실험을 통해 8 cm 전송거리에서 출력 3 kW 일 때, 최대 효율(95.8%)을 확인 할 수 있었다.

#### [Abstract]

In a wireless power transmitter, the characteristics and effects of wireless power transmission between two induction coils are investigated, and a power converter circuit and a battery charger/discharger circuit using wireless power transmission technology are proposed. The advantage of wireless power transmitters and wireless chargers is that, instead of the existing plug-in-mounted wired charger (OBC; on-board charger), the user can wirelessly charge the battery without connecting the power source when charging power to the battery. There is. In addition, the advantage of wireless charging can bring about an energy efficiency improvement effect by using the secondary side rectifier circuit and the receiving coil, but the large-capacity long-distance wireless charging method has a limitation on the transmission distance, so many studies are currently being conducted. The purpose of the study is to study the transmitter circuit and receiver circuit of a wireless power transmission device using a primary coil, a secondary coil, and a half bridge series resonance converter, which can transmit power of a non-contact type power transmitter. As a result, a new topology was applied to improve the power transmission distance of the wireless charging system, and through an experiment according to each distance, the maximum efficiency (95.8%) was confirmed at an output of 3 kW at an 8 cm transmission distance.

**Key word** : Low power wireless, Power converter, Power transmission, Resonant converter, Wireless power transfer.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.566>



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.

Received 7 September 2020; Revised 20 October 2020

Accepted (Publication) 21 December 2020 (30 December 2020)

\*Corresponding Author : Seung-kwon Na

Tel: +82-10-4963-7160

E-mail: skna2@hanmail.net

## 1. 서론

산업이 발전하고 생활이 편리해짐에 따라 인간의 욕구는 더 편리하고 친 환경적인 요소에 큰 관심을 가지고 있다. 2011년 일본 원자력 발전소 사고를 비롯해 에너지에 대한 요구에서 친 환경적인 요소의 중요성은 날이 갈수록 커지고 있다. 쉬운 설치와 적은 유지비용으로 환경을 파괴하지 않고 에너지를 생산하는 것은 인간이 궁극적으로 추구하는 미래 에너지의 조건이다[1],[2].

그리고 현재 휴대폰을 비롯한 배터리를 사용하는 대부분의 휴대용 기기는 신호 처리를 블루투스, 무선 랜 등 무선 통신기기로 구현하고 있는 추세이지만, 전력공급에 있어서만 접촉단자를 통한 유선 방식을 사용 할 수밖에 없는 실정이다. 이는 휴대용 기기의 디자인이나, 방수처리, 내구성 등에 치명적인 제한 요소가 작용하므로 무접점 전원 공급에 의한 배터리 충전을 필요로 하는 시장의 요구가 존재 하고 있다.

비 접촉식 전력 전송(wireless power transfer)은 상호 결선 와이어가 없이 전기 에너지를 전송하는 기술이다. 비 접촉 전력 전송은 wire를 연결하기에 위험하고 불가능한 지역에 매우 유용하게 적용되는 기술이다[3]-[5].

일반적인 무선 전송(wireless telecommunication)과 달리 비 접촉 전력 전송에서는 효율이 가장 중요한 파라미터이다. 발전소에서 생성되는 많은 양의 에너지가 경제적으로 수요처에 도달하는 것이 비 접촉 전력전송에서 가장 중요한 기준이 된다. 비 접촉 전력전송에서 가장 공통적으로 사용되고 있는 부분은 직접적인 유도(direct induction) 및 공진자기유도(resonant magnetic induction) 기술이다. 마이크로 복사(microwave radiation)나 레이저 복사(laser radiation)는 향후 많은 연구 발전이 되어 상용화가 이루어 질 것으로 기대가 되는 기술이다[6]-[9].

본 논문에서는 비 접촉 방식의 전력전송기의 전력을 전송 할 수 있는 송신부인 1차측 코일과 수신부인 2차측 코일 및 하프브리지(half bridge) 직렬공진 컨버터를 적용한 무선 전력전송장치의 송신부 회로와 수신부 회로의 연구를 목적으로 무선충전시스템의 전력전송거리 향상을 위한 새로운 토폴로지를 적용하여 이를 검증하는 것이다[10]-[17].

## II. 무선전력전송 이론

### 2-1 무선전력전송의 이론

무선 전력 전송기술은 기본적으로 AC전류를 1차 측 코일에 흘려 2차 측 코일에 유도 기전력을 유기시키는 원리이다. 일반 변압기와 같은 원리이나, 1차 및 2차 측 코일 간 자기장을 접촉시키는 페라이트 재질의 자속 코어가 물리적으로 분리되어 1차 측(송전부)과 2차 측(휴대용기기 등)간의 접촉 없이 전원을 공급하는 기술이다. 자기장이 접촉되는 코어부가 분리되므로 1차 측 코일에 의해 형성되는 자기장이 외부로 누설되는

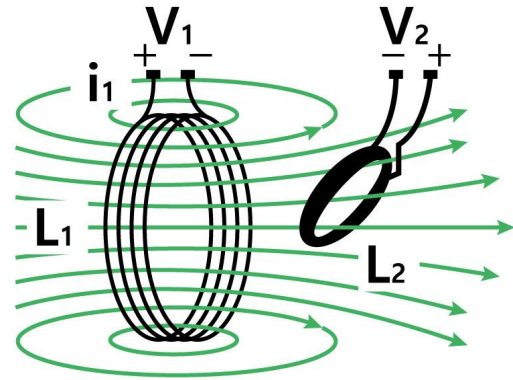


그림 1. 유도 기전력을 이용한 전력 전달 방식  
Fig. 1. Power transfer using electromotive force.

양이 많아지며 이는 전력전달 효율의 감쇄로 나타난다.

상호인덕턴스 (M)와 단위 시간 변화에 따른 1차 측 전류( $i_1$ ) 변화량에 따라 결정은 식 1과 같다.

$$V_2 = M \times \left( \frac{di_1}{dt} \right) \quad (1)$$

이와 같은 특성에 의한 기술 수준과 그 구조로 인하여 1차 측 코일이 형성하는 자기장 안에 2차 측 코일이 최대한 근접해야만 전력누설이 최소화 된다.  $V_2$ 는 2차에 유도된 전압이다. 현재 제품에 적용 가능한 기술 수준의 1, 2차 측간 간격은 (전력량에 따라 차이가 있지만, 3 kW전력 기준) 5 mm~10 mm 정도를 한계점으로 하며 그 이상의 간격이 벌어질 경우에는 전력 전달은 이루어지나 전력 효율이 급격히 떨어지므로 실용성이 없다[18]-[19]. 2개의 코일을 감은 장치를 만들고, 자기로부터 전류를 만드는 시험을 한다. A는 1차 측에 코일을 나타내며, B는 유도되는 2차측 코일을 나타낸다. B쪽 코일로의 도선은 자침 근처를 통과하게 되고 자침의 움직임은 전류를 포착할 수 있게 되어 있다. 직류를 인가하면 자기가 생성되고 그 생성된 자기로부터 전류를 얻고자 하였으나 패러데이의 직류가 아닌 교류에 의해 자기 유도되는 것은 그림 2와 같다.

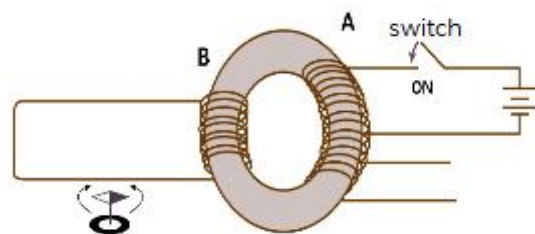


그림 2. 교류에 의한 자기 유도  
Fig. 2. Magnetic induction by ac.

2-2 전력변환의 이해

일반적으로 휴대기기는 DC 전원에서 동작하고 휴대기기 내에 배터리 역시 DC 전원으로 충전해야 하므로 AC 전원을 DC로 변환해야 하는데 그림 3과 같이 리니어 또는 스위칭 방식으로 변환하게 된다. 리니어 방식은 제어가 용이하고 리플 등이 적은 반면 손실이 크고 그로 인해 발생하는 열을 방열처리하기 위해 방열판 등 부가적인 요소가 추가로 필요하다. 따라서 전체 시스템 크기가 커진다는 단점이 있다.

스위칭 방식은 손실을 줄임으로써 효율은 높이고 열 발생이 상대적으로 적고 소자의 크기도 줄일 수 있어 전체 시스템 크기를 줄일 수 있다. 하지만 제어가 어렵고 제어 시 요구되는 부품 수도 증가하며 스위칭 시 리플이 발생하여 전자파를 고려해야 해야 한다. 전력 전송 기술에 필요한 전력변환 기술에 대한 분류는 그림 4와 같다.

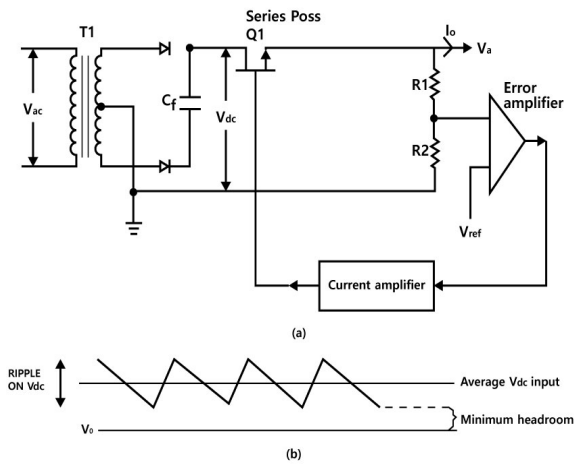


그림 3. 리니어 레귤레이터 회로 및 출력 전압 파형  
 Fig. 3. Linear regulator basic circuit and output voltage waveform.

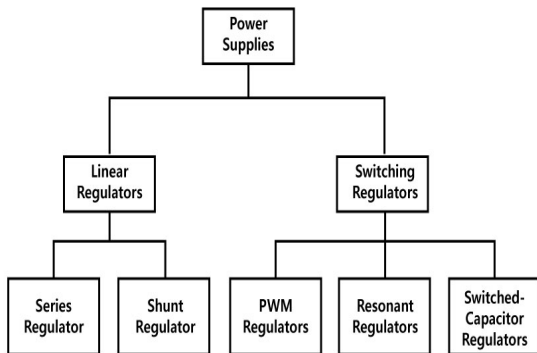


그림 4. 전력 변환 기술의 분류  
 Fig. 4. Classification of power transfer technologies.

2-3 공진형 컨버터

전력 변환 기술은 리니어 방식과 스위칭 방식을 나눌 수 있으며 리니어 방식은 부품 수가 적고 제어가 용이한 반면 효율이 낮다. 스위칭 방식은 부품 수는 리니어 방식보다 많고 제어가 복잡하지만 효율이 높다. 스위칭 방식에는 공진형 컨버터 기술로서 효율이 높고 대용량에 적합한 기술이다. 공진형 컨버터는 전류 또는 전압 파형을 코일과 커패시터로 공진시켜 사인파상으로 스위칭 시키는 것이다. 스위칭 전류를 공진시키는 것을 전류 공진 또는 직렬 공진형이라 하고, 전압파형을 공진시키는 것을 전압 공진 또는 병렬 공진형이라 한다. 공진형 포워드 컨버터 기본 회로의 동작 파형은 그림 5와 같다.

그림 6에서 (a)는 스위칭 주파수가 공진 주파수보다 작을 (용량성) 때이고, (b)는 스위칭 주파수가 공진 주파수와 같을 (저항성) 때이며 (c)는 스위칭 주파수가 공진 주파수보다 유도성(클)때에 따른 각각의 특성을 나타낸 것이다.

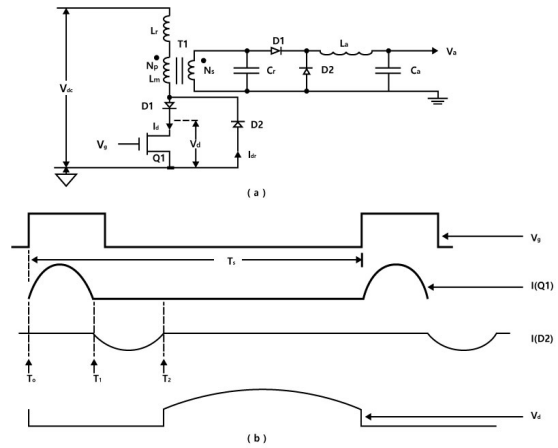


그림 5. Resonant forward converter 기본 회로 및 동작파형  
 Fig. 5. Resonant forward converter basic circuit and operation waveform.

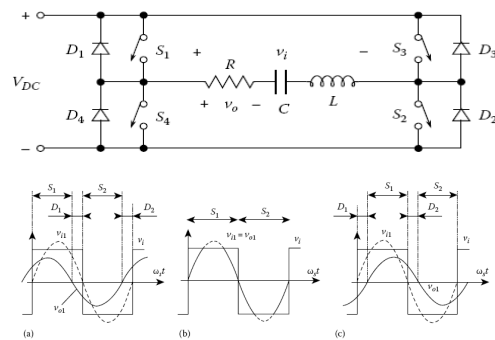


그림 6. 스위치에 따른 공진형 컨버터 회로 및 동작파형  
 Fig. 6. Resonant converter circuit and operation waveform.

2-4 무선전력전송 배터리 충/방전 제어

무선전력전송의 토폴로지는 자기결합방식과, 자기공진방식을 주로 사용하고 있다. 그리고 무선전력전송을 이용한 전기자동차용 충전기는 계통에서 배터리로 에너지를 전달하는 단방향성을 주로 사용하고 있으며 아직 까지 전체적인 모니터링을 통해 안정성을 확보하는데 어려움이 있다. 또한 전송 거리에 따른 큰 전력을 전송하는데 어려움이 있다. 직렬 공진 컨버터 회로는 출력 전압을 제어하기 위해 굉장히 높은 스위칭 주파수가 요구되며, 병렬 공진 컨버터 회로는 1차 측에 공진 커패시터가 병렬로 위하기 때문에 임피던스 매칭을 위하여 2차 측에 인덕터가 추가해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 여러 개의 회로를 검토 후 직·병렬 공진형 컨버터의 토폴로지 및 제어방식을 이용하였다.

직·병렬 공진 컨버터는 직렬 공진회로와 병렬 공진회로가 갖는 단점을 제거할 수 있다. 그림 7은 등가회로를 보여준다. 공진탱크는  $L_s$ ,  $C_s$ ,  $C_p$ 로 구성된다. 직병렬 공진회로의 공진탱크는 직렬과 병렬 공진회로의 공진탱크의 조합으로 고려될 수 있다. 직렬 공진 탱크  $L_r$ 과  $C_s$ 이 부하와 직렬로 연결되어 순환전력은 병렬 공진회로보다 작으며 병렬로 연결된 공진 커패시터  $C_p$ 로 인해 무부하 조건에서도 출력전압 제어가 용이한 장점이 있다.

그림 8은 직·병렬 공진형 컨버터와 부스트 컨버터 구성은 전자기 유도 방식을 채택하였으며 충전기는 기본적으로 풀 브리지 형태의 공진회로이며 두개의 전력단으로 구성되어 있다. 구조는 스위치의 전류 스트레스가 매우 크므로 반도체 스위치는 FET(field effect transistor) 사용하지 않고 IGBT(insulated gate bipolar transistor)를 사용하였으며 IGBT는 스위칭 손실이 커서 고속 스위칭을 할 수 없기 때문에 스위칭 주파수는 57 kHz의 고정주파수를 사용하였다.

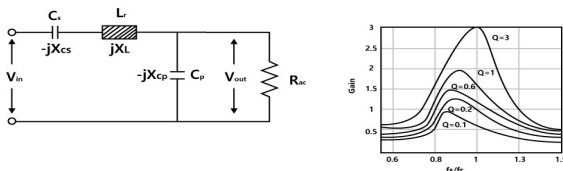


그림 7. 직·병렬 공진형 컨버터의 등가회로 및 이득 특성 곡선  
Fig. 7. Equivalent circuit and gain characteristics curve of a series-parallel resonant converter.

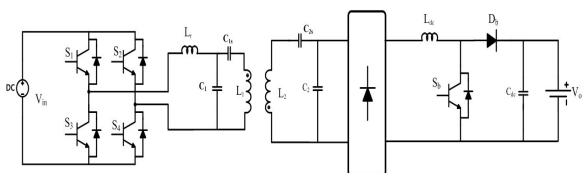


그림 8. 직·병렬 공진형 컨버터와 부스트 컨버터 구성 회로도  
Fig. 8. Circuit diagram of series-parallel resonant converter and boost converter

2-5 회로 설계

코일 간에 각각의 특성들에 따른 회로 설계 및 장비 설치가 필요하여, 먼저 전력을 보낼 수 있는 송신부 및 받아들이는 수신부를 설계하였다. 그림 9는 하프브리지(half-bridge)를 통한 정류기 회로를 설계하였다. 송신부 회로 설계 도면이다. 송신부 측 Tx 회로에서는 태양 전지 모듈을 통해 생산된 전기에너지를 공진형 컨버터를 통해 전력 변환을 해서 전송한다.

그림 10은 무선 전력 전송을 위한 수신부 회로도로서 왼쪽에 있는 송신부 코일을 통해서 변환된 전력이 들어와 배터리를 충전하는데 사용하도록 설계 하였다.

나선형 코일의 경우 전력 효율 특성을 향상시키기 위해 리프 와이어 형태의 코일을 사용하였다. 무접점 전력 전달 시 실험 제품의 기구적으로 1차 및 2차 측이 맞닿는 부분의 면적을 최대한 활용하면, 제품에 따라 코일의 크기는 달라질 수 있다. 그러므로 리프 와이어의 가닥 수, 동선 굵기, 턴 수 등을 바꾸어 인덕턴스를 맞춰 설계를 하였으며, 1차 손실을 줄이고 2차 측 쇄고 자속을 높이기 위해 코일에 차폐지(shield sheet)를 부착하여 자로를 만들어 주었다.

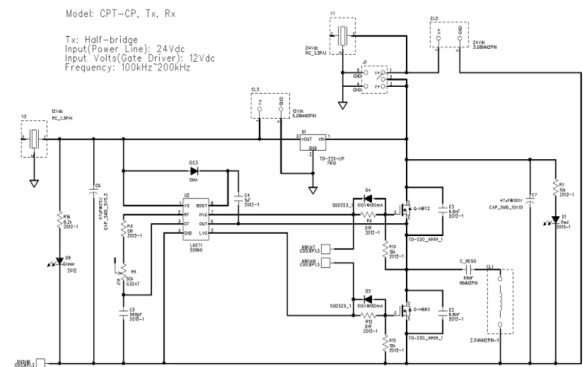


그림 9. 무선 전력 전송 송신부 회로도  
Fig. 9. Wireless power transfer Tx circuit diagram.

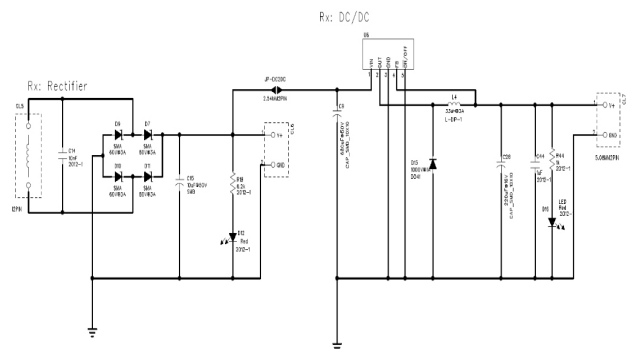


그림 10. 무선 전력 전송 수신부 회로도  
Fig. 10. Wireless power transfer Rx circuit diagram.

### III. 시뮬레이션 및 실험 결과

1단 구조의 주파수 가변형 LLC 공진형을 적용한 3 kW급 무선전력전송 송·방전기의 프로토타입을 제작하여 실험을 진행하였다. 무선전력전송을 위한 이격거리는 8 cm일 때, 최대효율은 풀 부하 시 95.8%로 측정되었다. 이는 역방향도 동일하다. 스위칭 주파수는 풀 부하 출력 시 57 kHz이며 약 1 A의 충전전류 증가 시 주파수 가변은 1 kHz정도 낮아진다.

그림 11은 충전전류 3 A, 4 A일 경우 공진캐패시터의 전압을 측정한 파형으로, 수신단의 스위치의 게이트는 동작 안하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 12는 충전전류 6A, 7A시 공진캐패시터의 전압과 게이트 전압과 입력전류와 출력 전류를 측정한 파형으로 충전전류 6A, 7A 지령시의 주요파형이다. 6A 충전전류 시 스위칭 주파수는 58 kHz, Tx공진 캐패시터의 전압은 2000 V이며 충전전류 7 A일 경우 스위칭주파수는 57 kHz이며 Tx공진 캐패시터의 전압은 2100 V정도 나타난다.

그림 13은 풀 부하 시 Tx스위치 전압, Tx공진전류, Rx공진전류 파형이며, 그림 14는 풀 부하 시 Tx게이트전압, Tx공진전류, Rx공진전류 파형이다.

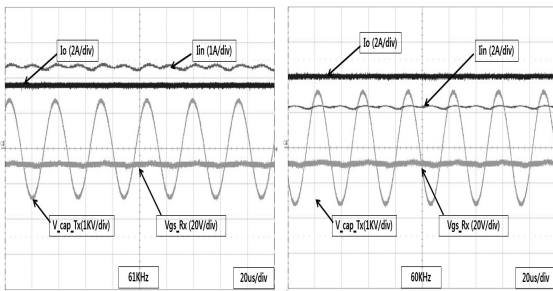


그림 11. 충전전류 3 A, 4 A 시 Tx공진캡전압, 입력전류, 충전전류, Rx게이트 전압(전송거리 8 cm)  
**Fig. 11.** Tx resonant cap voltage, input current, charging current, Rx gate voltage (transmission distance 8 cm) when charging current 3 A, 4 A.

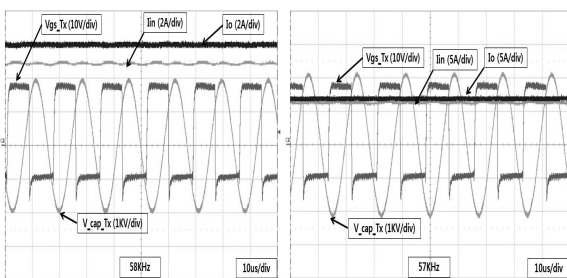


그림 12. 충전전류 6 A, 7 A 시 Tx공진캡전압, Tx게이트전압, 입력전류, 출력전류(전송거리 8 cm)  
**Fig. 12.** Tx resonant cap voltage, input current, charging current, Rx gate voltage (transmission distance 8 cm) when charging current 6 A, 7 A.

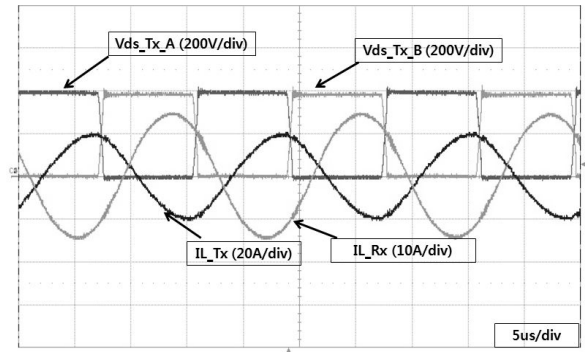


그림 13. 충전전류 7 A시 Tx스위치전압, Tx공진전류, Rx공진전류(전송거리 8 cm)  
**Fig. 13.** Tx switch voltage, Tx resonant current, Rx resonant current (transmission distance 8 cm) at 7 A charging current.

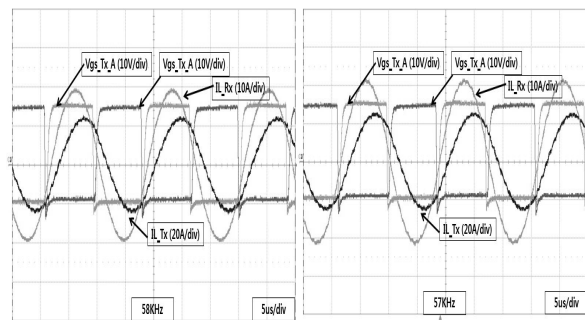


그림 14. 충전전류 6 A, 7 A시 Tx게이트전압, Tx공진전류, Rx공진전류(전송거리 8 cm)  
**Fig. 14.** Tx gate voltage, Tx resonant current, Rx resonant current (transmission distance 8 cm) at 6 A, 7 A charging current.

그림 15는 mode change 지령 시 송신단, 수신단 스위치의 동작파형을 측정한 것이다. mode\_CMD = 0인 구간에는 송신단 스위치가 동작하며 송신단에서 수신단으로 에너지가 전달되고 mode\_CMD = 1인 구간은 수신단 스위치가 동작하며 송신단 스위치는 오프상태가 되어 송신단의 스위치 바디 다이오드를 통해 에너지가 전달된다. mode\_CMD = 2인 구간은 무선 통신모듈의 상호간 통신이 이뤄지지 않게 되면

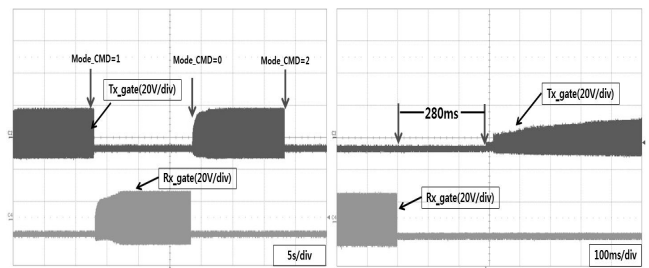


그림 15. 무선통신 모듈의 mode change 및 지연시간  
**Fig. 15.** Mode change and delay time of wireless communication module.



그림 16. 비 접촉 전력전송 시스템 설계  
Fig. 16. Wireless power transfer circuit.

그림 16은 무선 전력전송 시스템에 대한 설계 사진이다. 좌측에 보이는 사진은 송신단 내부 회로 사진이며, 우측에 보이는 사진은 수신단 내부회로 사진이다. 송신단과 수신단의 스위치가 오프상태가 되어 송신단 혹은 수신단으로 에너지가 전달이 이뤄지지 않아 시스템 안정도를 높일 수 있도록 알고리즘을 구현하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 제안된 구조의 토폴로지를 적용한 무선전력 전송 충·방전기의 프로토타입을 제작하여 실험을 진행하였다. 입력 및 출력전압은 400 Vdc이며 최대 효율은 각 거리에 따라 최대 부하 3 kW에서 측정되었으며 최대효율은 95.8%(8 cm 전송거리), 93.4% (16 cm 전송거리), 88.5% (20 cm 전송거리)로 측정되었다. 위 실험으로 무선전력전송 기술을 이용한 다양한 방법을 활용할 수 있는 것을 실험을 통하여 확인 할 수 있었으며, 앞으로 전송거리 증가 시에 따른 최적의 설계가 필요하며, 효율 개선 방안으로 무선전력용 인덕턴스의 도통 손실을 줄이는 방안에 대해서는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

#### References

- [1] Y. Hori, "Novel EV society based on motor/ capacitor/ wireless - application of electric motor, supercapacitors, and wireless power transfer to enhance operation of future vehicles," in *2012 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications*, Kyoto: Japan, pp. 3-8, 2012.
- [2] T. P. Duong and J. W. Lee, "Experimental results of high-efficiency resonant coupling wireless power transfer using a variable coupling method," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 21, No. 8. pp.442-444, 2011.
- [3] O. Josselson, A. Lindskog, S. Lundmark, and T. Thiringer, "Assessment of a multilevel converter for a phev Charge and traction application," in *The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010*, Rome: Italy, pp. 1-6, 2010.
- [4] X. Zhou, G. Wang, S. Lukic, S. Bhattacharya, and A. Huang, "Multi-function bi-directional battery charger for plug-in hybrid electric vehicle application," in *2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, San Jose: CA, pp. 3930-3936, 2009.
- [5] Y. J. Lee, A. K. Khaligh, and A. Emadi, "Advanced integrated bidirectional AC/DC and DC/DC converter for plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 8, pp. 3970-3980, 2009.
- [6] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 4, pp. 1229-1238, 2011.
- [7] A. Hajimiragha, C. A. Cañizares, M. W. Fowler, and A. Elkamel, "Optimal transition to plug-in hybrid electric vehicles in ontario, canada, considering the electricity-grid limitations," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 2, pp. 132 690-701, 2011.
- [8] M. Grenier, M. G. Hosseini, Aghdam, and T. Thiringer, "Design of on-board charger for plug-in hybrid electric vehicle," in *5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives*, Brighton: UK, pp. 1-6, 2010.
- [9] Y. Xue, L. Chang, S. B. Kjær, J. Bordonau, and T. Shimizu, "Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: an overview," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 5, pp. 1305-1314, 2004.
- [10] R. B. Godoy, H. Z. Maia, F. Jacques, T Filho, L. Galotto, J. Onofre, P. Pinto, and G. S. Tatibana, "Design and implementation of a utility interactive converter for small distributed generation," in *Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting*, Tampa: FL pp. 1032-1038. 2004.
- [11] M. N. Marwali and A. Keyhani, "Control of distributed generation systems-part I: voltages and currents control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 6, pp. 1541-1550, 2004.
- [12] J. Balakrishnan, "Renewable energy and distributed generation in rural villages," in *First International Conference on Industrial and Information Systems*, Kandy: Sri Lanka, pp. 190-195. 2006.
- [13] M. A. Bloom, G. Niu, and M. Krishnamurthy, "Design

considerations for wireless electric vehicle charging,” in *2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo*, Detroit: MI, pp. 1-6, 2013.

[14] M. M. John. “Wireless power charging of plug-in electric vehicles (pev’s),” *PEL’s Digital Media Services*, IEEE Power Electronics Society, Online. 8 Dec. 2011. Lecture.

[15] SAE J1772, SAE Electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler, SAE International, 2012.

[16] D. Guatam, F. Musavi, M. Edington, W. Eberle, and W. G. Gunford, “An automotive on-board 3.3 kW battery charger for phev application,” in *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Chicago: IL, pp. 1-6, 2011.

[17] T. H. Kim, S. J. Lee, and W. J. Choi, “Design and control

of the phase-shift full bridge converter for the on-board battery charger of the electric forklift,” in *8th International Conference on Power Electronics*, Jeju: Korea, pp. 2709-2716, 2012.

[18] L. H. Hwang, S. K. Na, J. R. Kim, G. H. Choi and J. S. Kim, “A study on low power energy transfer circuits of the non contact method by means of solar generation,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 18, No. 1, pp. 35-39, 2014.

[19] L. H. Hwang, S. K. Na, S. H. Oh, “Characteristic pcs of inverter by boost converter of pv generation,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 644-664, 2018.



**황 락 훈 (Lark Hoon Hwang)**

1981년 2월 : 명지대학교 전기공 학과 (공학사)  
 1983년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)  
 1989년 8월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)  
 1988년 3월 ~ 1991년 2월 충남전문대학 전기과 (현, 대덕대학 전기과) 조교수  
 1991년 3월 ~ 현재 세명대학교 전기공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 전동기 제어, 대체 에너지 분야, 에너지 변환, 반도체 시뮬레이션, 전력전자 응용분야



**나 승 권 (Seung Kwon Na)**

1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사),  
 2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)  
 2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)  
 1981년 7월 ~1988년 4월 : 삼육의료원 부산(한방)병원  
 1988년 5월 ~1994년 8월 : 한국수자원공사  
 1994년 9월 ~현재 : 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 전기제어학과 교수  
 ※ 관심분야 : 의공학, 신재생에너지 및 대체에너지분야 , 에너지변환, 전력전자응용분야



**김 진 선 (Jin Sun Kim)**

2009년 2월 : 세명대학교전기공학과(공학사)  
 2013년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)  
 2020년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)  
 1995년 ~ 현재 : (주)칭파이엠티 대표이사  
 ※관심분야 : 전력전자응용분야, 전기전자, 태양광발전, 전기에너지 변환



**강 진 희 (Jin Hee Kang)**

2009년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)  
 2011년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)  
 2020년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)  
 ※관심분야 : 전기전자, 태양광발전, 전기에너지 변환