

## 레이저 무선충전 기술 연구

이동훈\* · 김성만\*\*

## Study on a Laser Wireless Power Charge Technology

Dong-Hun Rhee\* · Sung-Man Kim\*\*

## 요약

현재까지 개발된 무선 충전기술은 크게 전자기유도 방식, 자기공명 방식, 전자기파 방식 등이 있다. 하지만 기존의 방법들은 전송거리가 짧거나 전자파 장애를 일으키는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 레이저를 이용한 무선충전 기술에 대해 연구하고 이에 대한 실험결과를 보인다. 이 기술은 송신단에 전/광 변환을 위한 레이저 광원을 사용하여 빛의 형태로 에너지를 무선으로 전송하며, 수신단에는 광/전 변환을 위해 태양전지나 PD( Photo Diode)를 이용하는 방식이다. 10m 이상의 장거리에서는 레이저 무선충전 기술의 전송효율이 가장 높을 것으로 전망되며, 장거리 무선충전에서는 레이저 무선충전 기술이 가장 효율적인 무선충전 기술이 될 것으로 판단된다. 본 논문의 실험결과에서는 100 mW Red 레이저 송신부와 PD 수신부를 이용하여 70 m의 장거리 전송거리에서 DC-to-DC 로 2.15 %의 무선전력전송 효율을 보였다.

## ABSTRACT

The current wireless power charge technologies are based on induction coupling, magnetic resonant coupling, electromagnetic wave, etc. However, the current wireless power charge technologies has several disadvantages including short transfer range, electromagnetic interference, etc. In this paper, we investigate and demonstrate a laser wireless power charge technology. A laser source is used in the transmitter to convert from electric power to optical power and a solar cell or a photodiode is used in the receiver to convert from optical power to electric power. The laser wireless power charge technology may be the most efficient wireless power charge technology in the long distance over than 10 meters. Our experimental results show a transfer efficiency of 2.15% at the 70-m long distance with a 100 mW laser transmitter and a photodiode receiver.

## 키워드

Optical Wireless Power Transfer, Laser Wireless Power Transmission, Long-Distance Wireless Transmission  
무선 광 충전, 레이저 무선 충전, 장거리 무선 충전

## 1. 서론

최근 전 세계적으로 다양한 종류의 무선충전 기술이 연구되고 있으며, 무선 충전의 시장규모도 급격히

증가하고 있다. 최근에 출시되는 스마트폰들에도 무선 충전기능을 추가한다는 기사를 많이 접할 정도로 일상생활에도 많이 접근해있다. 지금까지 개발된 무선충전 기술은 크게 전자기유도 방식, 자기공명 방식, 전

\* 경성대학교 전기전자공학부(sungman@ks.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 경성대학교 전기전자공학부

• 접수일 : 2016. 10. 21

• 수정완료일 : 2016. 12. 13

• 게재확정일 : 2016. 12. 24

• Received : Oct. 21, 2016, Revised : Dec. 13, 2016, Accepted : Dec. 24, 2016

• Corresponding Author : Sung-Man Kim

Dept. of Electronic Engineering, Kyung Sung University

Email : sungman@ks.ac.kr

자기파 방식 등으로 분류할 수 있다[1-5]. 하지만, 기존의 방식들은 여러 가지 약점을 가지고 있다.

기존의 방식 중에서 전자기유도 방식은 가장 상용화가 많이 된 방식이다. 이 방식은 전송거리가 1~2 cm 이내일 때에는 90 %이상의 전송효율을 내는 장점을 가지고 있지만, 거의 접촉식으로 동작하기 때문에 사실상 유선과 다를 바가 없는 단점을 가지고 있다. 자기공명방식은 송수신 안테나간의 공명현상을 이용한 방식으로 수 m 의 전송거리에서 수십 % 의 전송효율을 보인다. 하지만 공진조건이 맞지 않으면 효율이 아주 낮아진다는 단점이 있고, 하나의 송신기로 여러 종류의 수신단말을 지원하기가 어려운 단점이 있다. 전자기파를 이용한 전력 전송 방식은 비교적 먼 전송거리까지 에너지 전송이 가능한 장점이 있지만 전자파 장해를 일으키고 인체에 유해한 단점을 가지고 있다.

반면에 본 논문에서 연구하는 무선 광에너지 전송 방식은 송신단에서 레이저나 LED를 이용하여 전기 에너지를 광 에너지로 변환시키고, 이를 빛의 형태로 목표물까지 무선으로 전송시킨 후에 수신단에서는 태양전지나 PD( Photo Diode) 등을 이용하여 전기에너지의 형태로 변환시키는 기술을 말한다. 이러한 무선 광에너지 전송기술의 구성요소를 그림 1에 나타내었다.

한편, 무선 광에너지 송신단의 마지막 부분에는 빛을 원하는 방향을 보내기 위한 추가적인 광학장치가 필요할 수 있으며, 이를 위해서는 렌즈, 거울, SLM( Spatial Light Modulator) 등이 사용될 수 있다[6-7]. 이러한 무선 광에너지 전송기술의 가장 큰 특징은 다른 무선 충전기술에 비해 전송거리가 길고, 목표물 이외의 방향으로 에너지가 전달되지 않기 때문에 원하는 목표물에만 정확하게 타겟팅(targeting)이 가능한 장점을 가지고 있다. 만약에 이러한 에너지 전송방식을 무선이 아니라 광섬유를 이용하여 유선으로 전송하면 유선 광에너지 전송기술이 된다[8-9].

그림 2는 기존의 세 가지 무선 전력 전송방식과 본 논문에서 제시하는 빛을 이용한 무선 광에너지 전송 방식에 대해 전송거리에 따른 전송효율을 개략적으로 나타낸 그림이다. 수 cm 이내의 전송거리에서는 전자기 유도방식이 가장 전송효율이 높을 것으로 판단되고, 수 m 의 전송거리에서는 자기공명방식이 전

송거리가 가장 높을 것으로 판단된다. 그리고, 10 m 이상의 장거리에서는 빛을 이용한 무선 에너지 전송 방식이 가장 효율이 높을 것으로 예상된다.

따라서, 본 논문에서는 장거리에서 가장 높은 전송효율을 보일 것으로 예상되는 무선 광에너지 전송 방식에 대해 연구하였고, 구체적으로는 송신단에서의 광원으로 레이저를 이용하는 레이저 무선충전 기술 방식에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 장거리 무선 전력 전송을 위하여 LED를 광원으로 이용하는 방식[10] 보다는 레이저 광원을 이용하는 방식이 장거리 전송에 더 적합하다고 판단하였다.

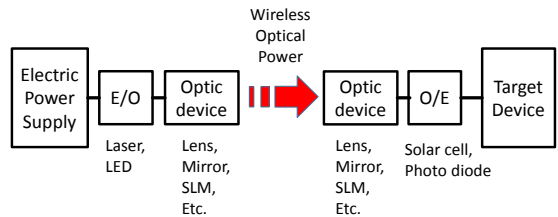


그림 1. 무선 광 에너지 전송기술의 구성요소  
Fig. 1 Components of wireless optical energy transmission technology

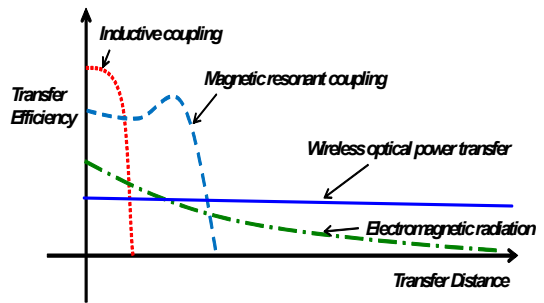


그림 2. 전송거리에 따른 무선충전방식의 효율 비교  
Fig. 2 Comparison of the wireless power charge technology according to the transfer efficiency as a function of transfer distance

## II. 레이저 무선충전 실험

### 2.1 실험 구성

그림 3은 본 논문에서 구현한 레이저 무선충전 기술의 실험 구성도를 나타내었다. 레이저에 전원이 공

급되고, 레이저에 공급되는 전력의 양을 측정하였다. 또한, 레이저는 Green 레이저와 Red 레이저를 사용하였고, 레이저의 출력이 무선으로 전송된 후에 수신부에 도달하게 된다. 수신부는 PD나 태양전지로 광에너지를 수신하게 되고, 그 출력에 가변저항을 달아 최대 전력을 얻을 수 있는 가변 저항값으로 전력을 얻게 된다. 그림 4는 실제 실험한 레이저 무선충전 실험의 사진이다.

본 실험에서는 레이저 광원으로 100 mW Red 레이저, 50 mW Red 레이저, 50 mW Green 레이저 등 세 가지의 레이저를 사용하여 레이저의 최대 효율을 측정해보았다. 본 실험에서 사용한 Red 레이저의 파장은 661 nm 이고, Green 레이저의 파장은 532 nm 이다. 본 실험에서 사용한 태양전지는 최대 5.5 V의 전압을 출력하는 저가의 실리콘 태양전지를 사용하였다. 실험에서 사용한 PD는 5 mm의 직경을 가지는 Vishay사의 BPV10 실리콘 PD 이다.

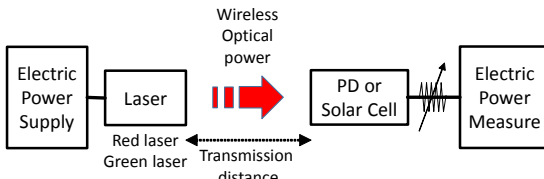


그림 3. 레이저 무선충전 실험 구성도  
Fig. 3 Block diagram of Laser wireless power charge experiment

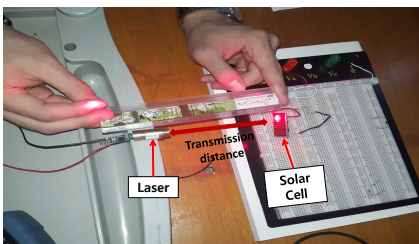


그림 4. 레이저 무선충전 실험 사진  
Fig. 4 Picture of Laser wireless power charge experiment

## 2.2 송신부의 전/광 변환효율 측정

우선 송신부에서 전/광 에너지 변환효율을 측정하기 위하여 각 레이저의 전원을 연결하고 레이저의 광출력을 광출력 측정기를 통해 측정하였다. 세 가지 레

이저에 대하여 레이저에 인가된 전압의 세기에 대해 레이저의 효율을 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 실험결과 100 mW Red 레이저의 효율이 최대 28.47%로 가장 높았고, 50 mW Red 레이저의 효율은 최대 16.95%, 50 mW Green 레이저의 효율은 최대 5.45%로 측정되었다. 그림 5에서 알 수 있듯이, Green 레이저보다 Red 레이저의 전/광 변환효율이 더 높고, 50 mW Red 레이저보다 100 mW Red 레이저의 전/광 변환효율이 더 높다는 것을 알 수 있다.

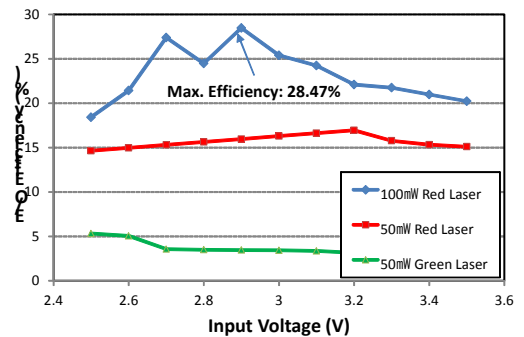


그림 5. 레이저의 전/광 변환효율 측정  
Fig. 5 Electric-to-optic conversion efficiency of the lasers

## 2.3 수신부의 광/전 변환효율 측정

수신부의 광/전 변환효율을 측정하기 위하여 송신단 레이저를 100 mW Red 레이저를 사용하여 124 mW의 광파워를 입력한 상태에서 수신부를 태양전지와 PD로 바꾸어가면서 실험을 진행하였다. 이를 위하여 수신부에 연결된 가변 저항값을 변화시켜 가면서 최대 얻을 수 있는 전력을 측정해 보았다. 그림 6은 수신부를 태양전지로 구현했을 때 가변저항의 값을 변화시키면서 얻을 수 있었던 최대 전력을 나타낸다. 그림 7은 수신부를 PD로 구현했을 때의 최대 전력을 나타내고 있다.

태양전지와 PD의 광/전 변환효율을 측정한 결과로 태양전지의 변환효율은 가변저항이 33 Ω일 때 2.88 mW의 전력을 얻어 2.32%의 변환효율이 측정되었고, PD의 경우에는 가변저항이 7.5 kΩ일 때 10.05 mW의 전력을 얻을 수 있어서 변환효율이 8.11%로 측정되었다. 실험결과 태양전지보다 PD의 광/전 변환효율이 더 높게 측정되었다.

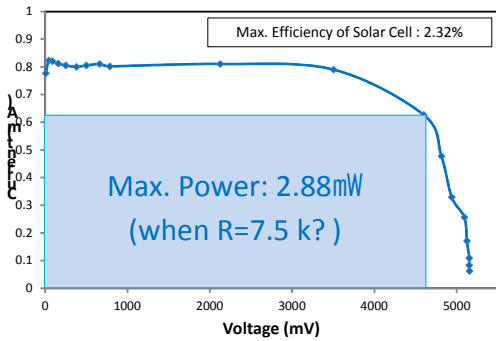


그림 6. 태양전지의 광/전 변환효율 측정  
Fig. 6 Optic-to-electric conversion efficiency of the solar cell

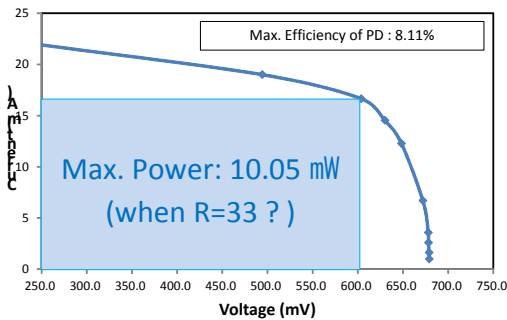


그림 7. PD의 광/전 변환효율 측정  
Fig. 7 Optic-to-electric conversion efficiency of the PD

2.4 전체 전송효율

2.3절의 방식을 이용하여 세 가지 레이저의 경우에 대해 각각 PD 수신부의 광/전 변환효율을 구하였으며, 송신부의 전/광 변환효율과 함께 정리하면 전체 레이저 무선충전기술의 전송효율을 구할 수 있다. 이를 표 1에 나타내었다.

표 1의 결과에서 알 수 있듯이 100 mW Red Laser 송신부와 PD 수신부를 사용한 경우가 전체 전송효율이 제일 높았다. 그 경우에 대해 레이저 무선충전기술의 전체 전송효율은 DC-to-DC 기준으로 2.31 %로 측정되었다. 이러한 결과는 타 기술에 비하면 낮은 것처럼 보이지만, 향후 좀 더 개선된 소자를 사용하고 기술을 발전시키면 10 % 정도의 전송효율은 충분히 나올 수 있을 것으로 보인다. 이러한 전송효율은 10 m 이상의 장거리 전송에서는 가장 높은 전송효율로 판단된다.

표 1. 레이저 무선충전 기술의 전송효율  
Table 1. Efficiency of laser wireless power charge technology

Case	E/O efficiency of laser	O/E efficiency of PD	Total efficiency (DC-to-DC)
100 mW Red Laser	28.47 %	8.11 %	2.31 %
50 mW Red Laser	16.95 %	10.65 %	1.81 %
50 mW Green Laser	5.45 %	4.06 %	0.22 %

2.5 장거리 무선전송 실험

본 논문에서 연구한 레이저 무선충전기술의 장거리 전송을 실험해 보았다. 그림 8은 본 실험 구성의 실제 사진이다. 복도의 한쪽 끝에 레이저 송신부를 장착하였고, 수신부의 거리를 늘려가면서 거리에 따른 전송효율을 측정해 보았다. 레이저는 100 mW Red 레이저를 사용하였고, 전송거리는 1 m에서 70 m까지 늘려가면서 실험을 수행하였다. 그림 9는 본 실험을 통해 측정된 전송 거리에 따른 레이저 무선충전기술의 전송효율을 나타내었다.

전송 거리에 따른 전송효율의 결과인 그림 9의 결과를 분석하면, 0.0037 dB/m의 전송손실이 발생하는 것을 알 수 있다. 이를 계산하면 전송효율이 초기에서 절반으로 줄어드는 지점을 약 800 m로 예측할 수 있다. 즉, 800 m의 거리로 무선으로 전송하면 전송효율은 초기의 2.31 %에서 1.15 % 정도로 줄어들 것으로 예측된다.

하지만 여기서 고려해야 할 것이 전송 거리에 따른 레이저 빔의 크기이다. 레이저 빔의 크기가 너무 커지면 이를 수신부의 면적보다 커져서 렌즈 등을 이용하여 집광하는 과정이 필요하다. 따라서, 거리에 따른 레이저 빔의 크기를 측정하여 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 알 수 있듯이 전송거리가 커질수록 지수적으로 레이저 빔의 크기가 커지는 것을 알 수 있다. 따라서, 수백 m의 장거리 전송에는 레이저 빔의 퍼짐이 작은 레이저를 사용하고, 수신부에 렌즈나 집광장

치를 사용하여 전송손실을 줄이는 기술이 필요할 것으로 판단된다.

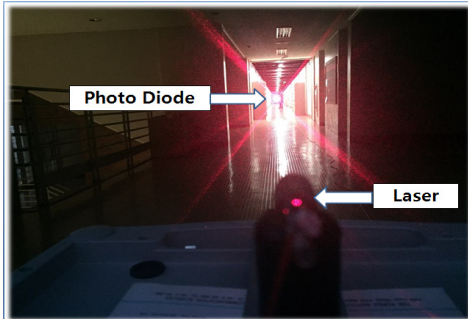


그림 8. 장거리 레이저 무선충전 실험 사진  
Fig. 8 Picture of long-range laser wireless power charge experiment

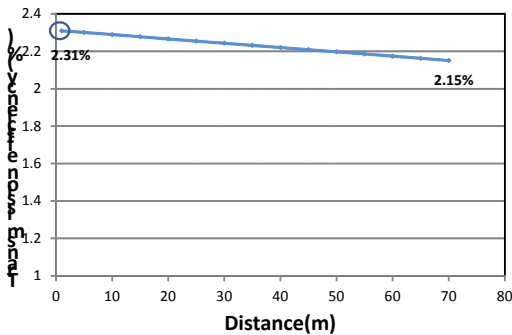


그림 9. 전송거리에 따른 전송효율  
Fig. 9 Efficiency as a function of transmission distance

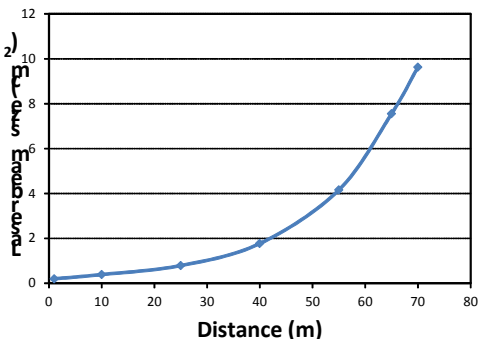


그림 10. 전송거리에 따른 레이저의 빔사이즈  
Fig. 10 Beam size of the laser as a function of transmission distance

### III. 결론

본 논문에서는 10 m 이상의 장거리에서 가장 효율이 높을 것으로 예상되는 레이저 무선충전 기술에 대한 실험을 수행하였다. 이를 위하여 송신단에서의 레이저의 전/광 변환효율을 측정하였고, 수신단에서 PD 및 태양전지의 광/전 변환효율을 측정하였다. 실험결과 단거리에서 총 전송효율이 DC-to-DC로 2.31 %의 전송효율을 나타내었다. 70 m의 장거리 전송에서는 2.15 %의 전송효율로 수십미터의 장거리 전송에서도 효율이 그다지 줄어들지 않음을 보였다. 지속적인 연구를 통해 향후 100 m 이상의 전송거리에서 10 % 이상의 전송효율도 가능하리라 예상된다.

또한, 전송거리에 따라 0.0037 dB/m의 전송손실을 나타내어 단거리에서의 전송효율이 절반으로 줄어드는 지점은 800 m 정도로 예상된다. 하지만, 레이저 빔의 크기가 전송거리에 따라 지수적으로 증가하는 경향을 보여 전송손실보다는 레이저 빔 사이즈에 대한 고려가 더 중요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF - 2015R1C1A1A01052543).

#### References

- [1] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Science*, vol. 317, no. 5834, July 2007, pp. 83-86.
- [2] W. Stewart, "The power to set you free," *Science*, vol. 317, no. 5834, July 2007, pp. 55-56.
- [3] E. Falkenstein, M. Roberg, and Z. Popovic, "Low-Power wireless power delivery," *IEEE Trans. Microw. Theory and Tech.*, vol. 60, no. 7, July 2012, pp. 2277-2286.
- [4] T. Shan and C. Lhen, "A primary side control method for wireless energy transmission system," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I:*

*Regular Papers*, vol. 59, no. 8, Aug. 2012, pp. 1805-1814.

- [5] H. Shin, "Status and expectation of wireless charging technology," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 28, no. 3, May 2014, pp. 49-56.
- [6] S. Kim and S. Kim, "Wireless visible light communication technology using optical beamforming," *Optical Engineering*, vol. 52, no. 10, Oct. 2013, Paper no. 106101.
- [7] S. Kim and H. Lee, "Visible light communication based on space-division multiple access optical beamforming," *Chinese Optics Letters*, vol. 12, no. 12, Dec. 2014, Paper no. 120601.
- [8] S. Kim, "Analysis of optical energy delivery through multi-core optical fibers," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, Oct. 2012, pp. 1079-1085.
- [9] S. Kim, "Possibility of optical energy transmission through optical fibers," *Far East J. of Electronics and Communications*, vol. 5, no. 2, Dec. 2010, pp. 105-112.
- [10] S. Kim and S. Kim, "Wireless optical energy transmission using optical beamforming," *Optical Engineering*, vol. 52, no. 4, Apr. 2013, Paper no. 043205.



**김성만(Sung-Man Kim)**

1999년 KAIST 전기및전자공학과  
공학사

2001년 KAIST 전기및전자공학과  
공학석사

2006년 KAIST 전기및전자공학과  
공학박사

2006년~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원

2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 광통신, 무선 광통신, 이동통신, 광에너지 전송

### 저자 소개



**이동훈(Dong-Hun Rhee)**

2012년~ 현재 경성대학교 전자공학과

2015년~현재 경성대학교 광통신  
실험실

※ 관심분야 : 광통신, 무선 광통신, 광에너지 전송