

레이저 기반의 광 무선충전 및 광 무선통신의 동시전송

신재우* · 윤태욱* · 김성만**

Simultaneous Transmission of Optical Wireless Power Transfer and Optical Wireless Communication using a Laser Diode

Jae-Woo Shin* · Tae-Uk Yun* · Sung-Man Kim**

요약

현재까지 알려진 무선충전 방식 중에서 장거리에서 가장 효율이 좋은 방식은 레이저를 이용한 방식이다. 여기에 레이저를 이용한 무선통신 기술을 결합한다면 다양한 분야에 활용이 가능할 것이다. 이에 본 논문에서는 레이저를 이용한 무선충전 및 무선통신의 동시전송 기술에 관하여 연구하고 이에 대한 실험 결과를 보인다. 이 기술은 광 무선충전을 위해서 송신부에 전/광 변환을 위한 레이저 광원을 사용하고 수신부에는 광/전 변환을 위한 태양전지를 사용한다. 또한, 광 무선통신을 위해 해당 레이저 광신호에 반송파를 이용하여 신호를 송신하는 방식이다. 본 논문에서는 실험을 통해 100 mW 레이저 송신부와 태양전지 수신부를 이용하여 광 무선충전은 1.9 %의 DC-to-DC 효율을 보였으며, 무선 광통신은 전송거리가 15 m일때 최대 90 kbps의 전송속도를 보였다.

ABSTRACT

Wireless charging method using a laser is considered as the most efficient method at a long distance of the wireless charging method. Combining long-range laser wireless charging technology with wireless communication technology will make it possible to use it for a variety of applications. Accordingly, this paper shows the results of research and experiments on wireless charging and wireless communication simultaneously based on a laser. This technique uses a laser as a light source for E/O(Electric-to-Optical) conversion at the transmitter for optical wireless power transmission. In the experimental results, the optical power transmission using a 100 mW laser transmitter and a solar cells receiver showed a DC-to-DC efficiency of 1.9 %, wireless optical communication showed a transmission speed of up to 90 kbps when the transmission distance is 15 m.

키워드

Optical Wireless Communication, Optical Wireless Power Transmission, Simultaneous Light Information and Power Transmission

무선 광통신, 무선 광충전, 광 정보 및 전력 동시 전송

* 경성대학교 전자공학과 (tswodn205@naver.com; Received : May. 04, 2021, Revised : Jun. 25, 2021, Accepted : Aug. 17, 2021
teawug7363@gmail.com) ** Corresponding Author : Sung-Man Kim

** 교신저자 : 경성대학교 전자공학과 (sungman@ks.ac.kr) Dept. Electronic Engineering, KyungSung University,

• 접수일 : 2021. 05. 04

Email : sungman@ks.ac.kr

• 수정완료일 : 2021. 06. 25

• 게재확정일 : 2021. 08. 17

1. 서론

최근 전 세계적으로 다양한 종류의 무선충전 기술이 연구되고 있다. 스마트폰을 비롯하여 전기 자동차에도 무선충전 기술로 충전을 할 정도로 무선 충전의 응용분야와 시장규모는 빠르게 증가하고 있다. 현재까지 개발된 무선충전 기술은 크게 전자기유도 방식, 자기공명 방식, 전자기파 방식 등으로 분류할 수 있다. 하지만, 현재 가장 많이 상용화가 된 전자기유도 방식의 무선충전 기술은 접촉식으로만 사용이 가능하기 때문에 장거리에서는 충전이 어려운 단점이 있다[1]. 또한, 자기공명 방식과 전자기파 방식은 비교적 장거리에서도 무선충전이 가능하지만 전자파장해(EMI : Electromagnetic Interference) 문제로 인해 실생활에서 사용하기 어려운 단점이 있다.

최근에 이러한 문제점을 해결하기 위하여 레이저를 이용한 광 무선충전 기술이 연구되고 있다. 이 기술은 빛을 이용하기 때문에 전자파 장해가 없으며, 장거리에서도 레이저 빔이 퍼지지 않아 전송효율이 높은 특징을 가지고 있다[2-5].

한편, 무선통신 분야에서도 레이저를 이용한 광 무선통신 기술이 활발히 연구되고 있다. 레이저를 이용한 광 무선통신 기술은 장거리에서도 높은 전송속도를 구현할 수 있는 장점이 있어서 위성간 통신에서도 활용되고 있다 [6, 7]. 또한, 광 무선 통신 기술은 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템[8] 또는 사용자 인식 시스템[9] 등 여러 다른 기술에도 활용 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 송신부에서 LD(Laser Diode)나 LED(Light Emitting Diode)를 이용하여 전기 에너지를 광 에너지로 변환시킨 후, 이 빛을 반송파로 삼아 통신신호를 동시에 삽입한 후에 수신부에서 태양전지나 PD(Photo Diode) 등을 이용하여 전기에너지의 형태로 변환

시켜서 광 에너지와 광 신호를 동시에 받는 기술을 연구하였다[10, 11]. 본 논문에서는 이전 다른 논문과는 다르게 회로를 구성하여 광 무선 충전의 효율과 광 무선 통신의 전송률을 측정하였다. 이러한 광 무선충전 및 광 무선 통신의 동시전송 기술의 구성요소를 그림 1에 나타냈다.

한편, 송/수신부에서 광 에너지와 광 신호를 결합 및 분리하기 위하여 Bias Tee를 사용하였고, 송신부의 마지막 부분에는 빛을 원하는 방향으로 보내기 위해서 렌즈, 거울, SLM(Spatial Light Modulator) 등과 같은 추가적인 광학장치가 사용될 수 있다[12, 13].

II. 레이저 무선충전 효율 측정

2.1 실험 구성

그림 2는 본 논문에서 구현한 무선 전력전송 기술의 구성도를 나타내었다. LD에 전원을 공급하고, LD에서 전기 에너지에서 광 에너지로 변환되어 수신부에 도달하게 된다. 수신부에서는 태양전지를 사용하여 광 에너지를 수신받아 전기 에너지로 전환한다. 그리고 수신부에 가변저항을 달아 가장 많은 전력을 받을 수 있는 최적의 저항값으로 조절을 하였다.

본 실험에서 사용한 레이저 광원으로 100mW Red레이저를 사용했고, 본 실험에서 사용한 Red 레이저의 파장은 657.5 nm 였다. 본 실험에서 사용한 태양전지는 최대 전압 1 V의 전압을 출력하는 태양전지를 사용하였다.

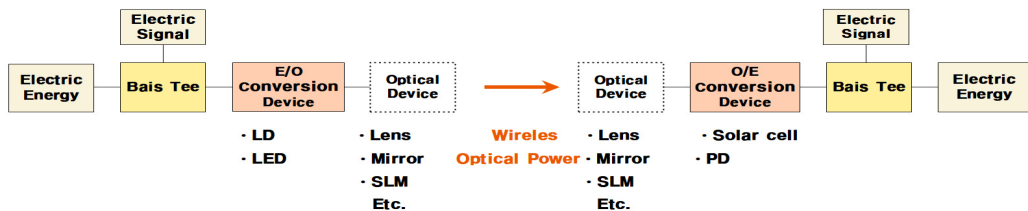


그림 1. 무선 광 전력 전송 및 무선 광통신의 동시전송 기술의 구성요소

Fig. 1 Components of simultaneous transmission of optical wireless power transfer and optical wireless communication

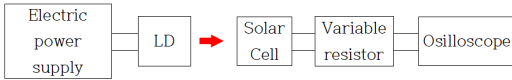


그림 2. 무선 광 에너지 전송기술의 구성요소
Fig. 2 Components of wireless optical energy transmission technology

2.2 송신부의 전/광 변환효율 측정

무선 광 에너지 전송의 효율을 알기 위해서는 우선 송신부에서 전기 에너지를 광 에너지로 전환하는 전/광 변환 효율을 측정해야 한다. 전/광 변환 효율을 측정하기 위하여 레이저를 전원에 연결하여 레이저에서 나오는 광 출력을 광 출력 측정기로 측정하였다. 레이저의 출력을 인가된 전압의 세기에 대한 레이저의 효율을 측정한 결과를 그림3에 나타내었다. 실험결과 100 mW Red 레이저의 전/광 변환효율은 3.1 V에서 19.2 %로 가장 높은 것을 알 수 있다.

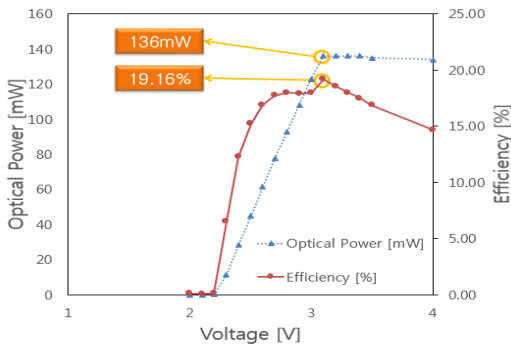


그림 3. 레이저의 전/광 변환효율 측정
Fig. 3 Electric-to-Optic conversion efficiency of the laser

2.3 수신부 광/전 변환효율 및 총 효율측정

수신부의 광/전 변환 효율을 측정하기 위하여 송신부의 레이저가 최대 효율을 냈던 136 mW의 광 파워를 인가한 상태에서 수신부에는 태양전지를 사용하여 실험을 진행했다. 수신부의 최대효율을 측정하기 위하여 부하저항에 가변저항을 연결하여 부하저항의 값을 변화시키면서 수신부의 효율을 측정해 보았다. 그림 4는 수신부의 태양전지에 대한 광/전 변환효율을 측정한 그림이다. 30 Ω일 때에 14.7 mW의 전력을 얻어 10.7 %의 가장 높은 효율을 내었다.

광 무선전력 전송의 총 효율을 구하기 위하여, 전/광 변환 효율의 최대값 19.16 %와 광/전 변환 효율의 최대값

인 10.7 %을 이용하여 총 효율을 계산하면 총 효율은 약 2.1 %로 계산된다.

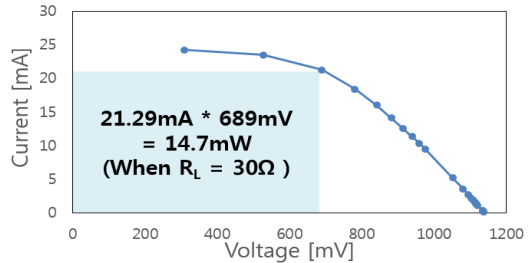


그림 4. 수신부의 광/전 변환효율 측정
Fig. 4 Optic-to-electric conversion efficiency of the receiver

III. 광 신호 및 광 전력 동시 전송

3.1 수신부 특성

수신부의 부하저항을 30 Ω으로 설정했을 때, 송신부에 인가된 전압에 대한 수신부의 전압은 그림 5에 나타났다. 송신부의 전압이 2.3 V에서 3 V사이일 때 수신부의 전압은 선형적인 관계를 보였다. 따라서 광 무선 전력 전송과 광 통신을 동시에 할 때 최대 전압을 3 V로 설정해야 하고 최저 전압이 2.3 V이하로 내려가지 않게 설계하였다.

그림 6는 주파수 응답 그래프이다. 주파수 응답그래프를 보면 약 25 kHz의 3 dB 대역폭을 확인할 수 있고, 0.5 kHz에서 2 kHz사이의 주파수 영역에서 안정된 신호 성능을 보여주었다. 또한 저주파의 영역에서 약간의 진폭 감쇄가 확인됐다.

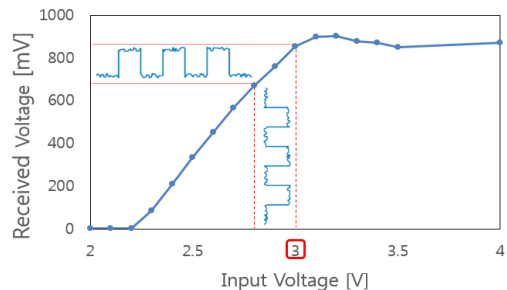


그림 5. 송신부의 인가 전압에 대한 수신부의 전압 특성

Fig. 5 Voltage of the receiver as a function of the applied voltage of the transmitter

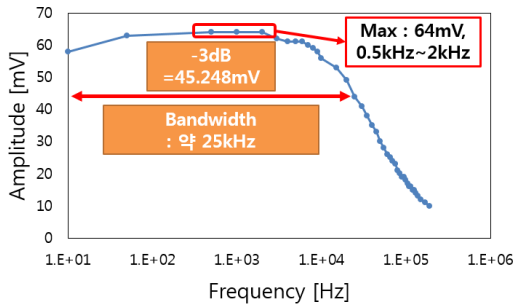


그림 6. 본 시스템의 주파수 응답
Fig. 6 Frequency response of the system

3.2 변조지수 측정

변조지수를 측정하기 위해서 신호의 최대 전압을 3 V로 설정한 뒤 33 cm 거리에서 각기 다른 변조지수로 BER을 측정한 결과 그림 7처럼 변조지수가 3.5 %일때와 5.3 %일 때 최대 90 kbps의 속도에서 통신이 가능하다.

본 논문에서는 광 신호와 광 전력을 동시 전송을 하므로, 전송하는 데이터 전송 속도뿐만 아니라 에너지의 효율도 높아야 한다. 최대 전압 3 V를 기준으로 변조지수를 설정해야 하기 때문에 변조지수가 높으면 에너지 전송 효율이 떨어지므로 이 논문에서는 3.5 %의 변조지수로 실험을 진행하였다.

3.3 거리에 의한 성능 측정

3.2절의 방식을 이용하여 거리에 따른 광 신호와 광 전력 동시 전송에 대해서 실험해 보았다. 그림 8은 본 실험 구성의 실제 사진이다. 복도에 한쪽에 송신기를 장착하여 수신부의 거리를 점점 멀어지게 하는 방식으로 BER과 전력 전송을 측정했으며, 그 결과를 그림 9와 그림 10에 나타냈다.

그림 9를 보면 변조지수를 3.5 %로 했을 때에 15 m 이내에서 최대 90 kbps의 속도를 보였으며, 20 m에서 최대 45 kbps의 속도를 보였다. 그림 9를 보면 전력 전송은 25 m까지 일정한 전력 전송 성능을 유지하였다.

결과적으로 본 논문에서는 20 m까지의 최대 45 kbps의 전송속도로 광 신호와 광 전력 동시 전송이 가능한 것으로 측정되었다.

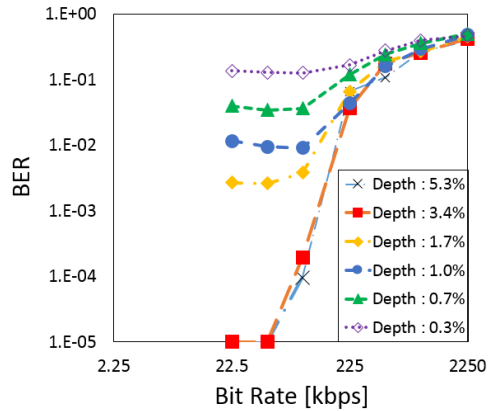


그림 7. 변조 지수와 전송률에 따른 BER
Fig. 7 BER as a function of modulation index and bit rate



그림 8. 거리에 의한 성능 측정 실험 사진
Fig. 8 Picture of performance measurement experiments as a function of distance

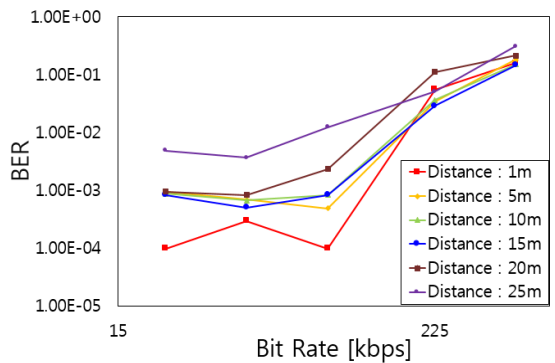


그림 9. 전송거리에 따른 BER
Fig. 9 BER as a function of transmission distance

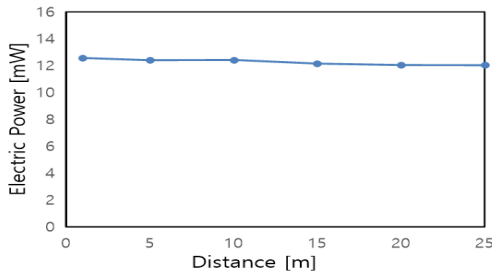


그림 10. 전송거리에 따른 전력
Fig. 10 Electric power as a function of
dudtransmission distance

3.4 전력 전송과 동시 전송 비교

본 논문 2장에서 광 전력 전송의 효율 측정하였던 값과 광통신 신호와 함께 동시 전송을 했을 때의 광전력 전송 효율과 비교하였다. 이에 광 전력 전송 시 효율 과 광 신호와 광 전력 동시 전송의 효율을 각각 표 1에 정리했다.

표 1을 보면, 전/광 변환 효율은 광 전력 전송만 할 시에는 효율이 가장 좋은 3.1 V를 입력하여 19.2%의 효율을 낼 수 있지만, 광 신호와 전력 동시 전송을 할 시에는 실험한 최대전압 3 V에 변조지수가 35%인 신호는 그림 11을 보면 평균 전압이 2.98 V임을 알 수 있다. 이때 전송 효율은 17.9%로 효율이 1.3% 감소함을 보였다. 광/전 변환 효율은 광 전력 전송만 할 시에는 10.8%의 효율을 보였고 광 신호와 전력 동시 전송을 할 시에는 10.7%의 효율로 효율이 0.1%가 감소함을 보였다. 마지막으로 총 효율은 광 전력 전송은 2.1%의 효율을 보이며, 광 신호와 전력 동시 전송은 1.9%의 효율을 보였다. 광 전력 전송과 광 동시 전송의 총 효율 차이는 0.2%의 효율의 차이로 거의 차이 없는 전력전송이 가능한 것으로 파악되었다.

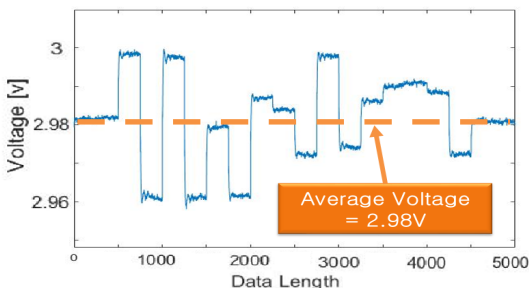


그림 11. 광 신호와 광 무선 전력 동시 전송의 평균 전압

Fig. 11 Average voltage of simultaneous transmission of wireless optical communication and optical power transfer

IV. 결론

본 논문에서는 무선 통신과 무선 전력전송을 동시에 할 수 있는 광 신호와 광 무선전력 동시 전송에 대한 실험을 수행했다. 이를 위하여 2장에서는 광 무선 전력 전송 시 송신단에서 LD 전/광 변환 효율을 측정하였고, 수신단에서 태양전지의 광/전 변환 효율을 측정하였다. 그 결과 무선 전력전송의 총 전송효율은 DC-to-DC 기준으로 2.1%의 전송효율을 나타냈다. 그 후 3장에서는 수신부 특성을 측정하였고, 광 신호의 변조지수 마다 전송률에 대한 BER을 측정하였고, 거리에 의한 BER과 전송된 전력을 측정하였다. 그 결과 최대 전압이 3 V이고 변조지수가 35%일 때 45 kbps로 20 m까지 전송할 수 있었다. 또한, 총 전송효율은 1.9%로 그다지 줄어들지 않음을 보였다. 이렇게 레이저를 활용하여 무선 충전과 무선 광 통신이 동시에 가능함을 확인하였다.

표 1. 광 전력 전송과 광 동시 전송 비교
Table 1. Comparing optical simultaneous transmission to optical power transmission

	Power-only transmission	Simultaneous transmission of power and communication
Input Voltage	3.1V	average 2.98V
Transmitter	660nm Red LD	
E/O Efficiency of transmitter	19.2%	17.9%
Receiver	Solar Cell	
O/E Efficiency of transmitter	10.8%	10.7%
Total Transfer Efficiency	2.1%	1.9%

감사의 글

본 논문은 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2019R1F1A1045956 and NRF-2021R111A3047031).

References

[1] A. Takacs, A. Okba, H. Aubert, S. Charlot, and P.-F. Calmon, "Recent advances in electromagnetic energy harvesting and Wireless Power Transfer for IoT and SHM applications," *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and Their Application to Mechatronics*, Donostia-San Sebastian, Spain, May 2017, pp. 1-4.

[2] S. Kim and D. Rhee, "Experimental demonstration of optical wireless power transfer with a DC-to-DC transfer efficiency of 12.1%," *Optical Engineering*, vol. 57, no. 8, Aug. 2018, pp. 086108.

[3] S. Kim, J. Choi, and H. Jung, "Experimental demonstration of underwater optical wireless power transfer using a laser diode," *Chinese Optics Letter*, vol. 16, no. 8, 2018, pp. 080101.

[4] J. Fakidis, S. Videv, S. Kucera, H. Claussen, and H. Haas, "Indoor Optical Wireless Power Transfer to Small Cells at Nighttime," *J. Lightw. Technol.*, vol. 34, no. 13, July 2016, pp. 3236-3258.

[5] S. Kim and H. Lee, "Study on a Laser Wireless Power Charge Technology," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 12, Dec 2016, pp. 1219-1224.

[6] L. Grobe, A. Paraskevopoulos, J. Hilt, D. Schulz, F. Lassak, F. Hartlieb, C. Kottke, V. Jungnickel, K.-D. Langer, and Heinrich "High-speed visible light communication systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 12, Dec 2013, pp. 60-66.

[7] F. Zafar and M. Bakaul, "Laser-Diode-Based Visible Light Communication: Toward Gigabit Class Communication" *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, issue. 2, Feb 2017, pp. 144-151.

[8] P. Grover and A. Sahai, "Shannon Meets Tesla: Wireless Information and Power Transfer," *IEEE International Symposium on Information Theory*, Austin, USA, June 2010, pp. 2363-2367.

[9] J. Kim and S. Hong, "An Efficient Candidate Activation Pattern Set Generation Scheme for GSM in Optical Wireless Communication with High Interference Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 14, no. 5, 2019, pp. 863-870.

[10] J. Kim and W. Lee, "An User-aware system

using Visible Light Communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 14, no. 4, 2019, pp. 715-722.

[11] L. R. Varshney, "Transporting Information and Energy Simultaneously," *IEEE International Symposium on Information Theory*, Toronto, Canada, July 2008, pp. 1612 - 1616.

[12] S. Kim and S. Kim, "Wireless visible light communication technology using optical beamforming," *Optical Engineering*, vol. 52, no. 10, Oct. 2013, pp. 106101.

[13] 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, pp. 120601.

저자 소개

신재우(Jae-Woo Shin)



2016년~현재 경성대학교 전자공학
 학과
 2020년~현재 경성대학교 광통신
 실실습

※ 관심분야 : 광통신, 무선 광통신, 광전력 전송

윤태욱(Tae-Wook Yoon)



2014년~2021년 경성대학교 전자
 공학과
 2017년~2021년 경성대학교 광통
 신실습실

2020년~현재 단암시스템즈 통신기술연구소 연구원

※ 관심분야 : 무선 광통신, 무선 광충전

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, 광 전력전송