

비파괴검사를 위한 자동위치탐색 및 자율형 무선 안전제어기능을 갖는 OWPT 시스템 설계 및 구현 연구

*최성수, 양기동, 허두창, 이상화

한국전기연구원

sschoi@keri.re.kr

A Study on the Design and Implementation of an OWPT System with Automatic Position Localization and Autonomous Wireless Safety Control Functions for Non-Destructive Testing

*Sungsoo Choi, Keedong Yang, Duchang Heo, Sang-Hwa Yi

Korea Electrotechnology Research Institute

요약

본 논문은 비파괴검사용 광 무선전력전송 (OWPT) 시스템에 관한 것으로 새롭게 두 가지 기능을 제안한다. 첫째, 공간 내 위치한 AE센서가 내장된 수전장치들의 공간좌표를 자율적으로 탐색하여 전기에너지를 필요로 하는 개별 장치들에게 정확한 위치에 무선전력전송을 가능하게 하며, 둘째로 광 무선전력 송출시 안전을 위해서 동작 중에 갑자기 사람이 안전구역 내 들어 오거나 지나갈 경우를 대비하여 이를 탐지하여 자동으로 레이저 광원의 송출세기를 낮추거나 바로 중단시키는 등 무선 안전제어기능을 갖도록 한 것이 특징이다. 특히, 비파괴 검사 응용을 위해서 AE센서들은 개별 수전단에 탈부착 가능하도록 하였고, 무선전력 송출, 수전장치 및 제어구성장치들 모두 블루투스 무선네트워크로 연결하여 비파괴 검사신호정보를 실시간 계측할 수 있다. 또한 센서장치에 충전되고 있는 전력충전 상태 등을 함께 모니터링하여 분석할 수 있도록 한다. 구현된 시제품은 약 808nm의 파장을 갖는 레이저 광원을 이용하여 10m 이상 거리 무선환경에서 약 1~4 Watt 무선전력전송이 가능하다.

1. 서론

본 논문에서는 비파괴검사를 위한 자율형 무선 안전제어기능을 갖는 광 무선전력전송(OWPT) 시스템의 설계 및 구현관련 연구내용을 소개 하고자 한다. 광 무선전력전송기술의 경우, 전자기파가운데 레이저 광원을 사용하는데 이는 직진성과 전송효율 측면에서 매우 유리하여 다양한 IoT(Internet of Things) 네트워크 시스템의 단말 또는 센서 전원공급 활용 가능성이 매우 높다[1,2]. 비파괴 검사에 사용되는 AE센서들에 필요한 전기에너지와 무선통신네트워크를 구동하기 위한 무선전력을 공급하고 해당 센서데이터를 취득 분석 가능하게 함으로써 진단 예방 대상의 재료가 파괴되기 이전부터 재료와 구조물의 결함 및 파괴를 발견 및 예상할 수 있다[2,3]. 이러한 응용 장전에도 불구하고 가시광선 레이저 광원을 사용하는 무선전력전송 시스템은 상당한 주의가 필요하다. 송출되는 레이저 빔이 사람의 눈이나 신체에 노출될 경우 심각한 해를 줄 수 있으므로 관련 기술을 이용할 때 국제표준규격 IEC60825의 MPE(Maximum Permissible Exposure)가이드를 따를 것을 명시하고 있다[4].

본 연구에서는 가시광 안전거리 확보 및 높은 전력밀도를 자동으로 낮추거나 순간적으로 스위칭 오프가능한 안전동작기능을 가지며, 공간 내 위치한 AE센서가 내

장된 수전장치들의 공간좌표를 자율적으로 탐색하여 전기에너지를 필요로 하는 개별 장치들에게 정확한 위치에 전력을 공급할 수 있는 비파괴검사용 OWPT시스템 설계와 구현에 관하여 다루고자 한다.

II. 본론

2.1 레이저 안전등급

표 1. 레이저 안전등급별 분류

등급	설명	파장	출력 (mW)
1	인체에 레이저 광을 조사하여도 위험하지 않음	Visible, Invisible	-
1B	광학기로 레이저 광을 보거나 조사하면 위험.		
2	눈에 레이저가 조사될 때 눈 깜빡임을 일으킨다.	Visible	< 1
2M	광학기로 레이저 광을 보거나 조사하면 위험.		
3R	눈에 레이저가 직접 조사되면 위험	Visible, Invisible	1-5
3B	인체에 레이저가 직접 조사되면 위험		
4	인체에 레이저가 직접 또는 반사되어 조사되면 위험	Visible, Invisible	> 500

레이저는 IEC60825-1 규격, ANSI Z136.1-2000 규격, FDA/CDRH 21CFR1040.10에 따라 표1과

같은 안전등급으로 분류된다(4). 레이저 기반 광 무선 전력전송 시스템 실용화를 위해서는 시스템 설계 및 구현시 반드시 고려해야 한다.

2.2 자동위치탐색기능 및 자율형 무선안전제어기능을 갖는 OWPT 시스템

비파괴검사용 OWPT 무선통신네트워크 전체 시스템 구조와 자동위치탐색 알고리즘 순서도는 그림 1에 보였다. 공간 내 설치된 AE센서 수전장치들에 대하여 정확한 좌표를 자동으로 찾을 수 있는 최적 자동위치탐색을 수행한다. 그림1(나)의 기본탐색알고리즘에 보인바와 같이 여러 대의 수전장치들을 자동으로 탐색할 때는 좌우상저로 전체탐색이후 부분탐색으로 이어지는 Coarse & Fine 탐색을 기초로 하여 설계되었으며 매 탐색루프마다 최적의 좌표를 메모리에 업데이트 시킨다. 이를 통하여 여러 센서 수전장치들의 최종탐색시간을 줄일 수 있고, 전기에너지를 필요로하는 해당 좌표에 위치한 수전장치에 정확히 광무선전력송출이 가능하다. 본 OWPT시스템은 근거리 10m에서 1W 이상의 전력을 필요로 할 때, LOS 환경아래 적어도 5m 거리에서 효과적으로 기능동작가능한 Si기반 수전광 셀(cell)을 사용하여 구현한다. 수전부에 1W 전력전송을 위해서 1cmx1cm 직경의 빔 수신 시 23% 정도의 전력효율을 고려해 볼 때 약 4.3W/cm² 이상의 전력밀도를 요구하는 비교적 높은 전력을 송신하는 레이저 광학부를 구현한다. 레이저 광전송부 설계는 광전송 출력제어, 광전송 발광 위치, 미러 위치제어, 드라이버 모듈로 구성가능하다. AE센서를 임베딩한 광수전장치는 그림2 사진에 보인바 같이 블루투스통신을 통한 배터리 충전상태, 광 신호세기 상태, AE 센싱 데이터 등을 수신하여 실시간 데이터를 분석한다. 이들 AE 다중 센서부들을 스캔함과 동시에 광무선전력송출기의 빔 위치제어신호 송신 또한 시스템 관리 및 상태제어를 맡고 있는 PC노트북의 무선통신연결을 통하여 제어 운영한다(2). 광무선전력송출 시 자율형 무선안전제어기능을 갖도록 구현한 결과 레이저빔 주변 Safety Region 내 물체가 가려지거나 지나갈 때 최소 송출레벨 또는 스위칭오프동작 가능하도록 하였고, 스캔 정확도는 약 15μrad (0.15mm @10m)이며, 레이저 다이오드 및 스캔 미러의 통합 제어를 통하여 광파 무선전력전송 송수신기 정상 동작시 5mW이하 소모전력과 1W 송출기준 400mW 전달 여부를 테스트를 통하여 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 808nm 파장을 갖는 레이저기반 OWPT 시스템을 설계하고 구현하였다. 안전 표준규격 IEC60825을 준수하는 안전거리 확보 및 높은 전력밀도 기준으로 자동으로 낮추거나 순간적으로 스위칭 오프가능한 안전동작기능을 새롭게 추가하였으며 수전부에는 AE센서를 임베딩하여 DC~200kHz의 비파괴검사가 가능 하도록 하였다.

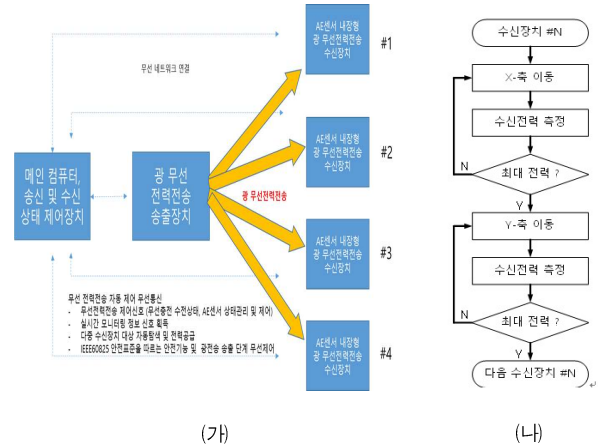


그림1. 비파괴검사를 위한 자동위치탐색 및 자율형 무선 안전제어기능을 갖는 OWPT 무선통신네트워크 (가) 전체 시스템 구조도 (나) 다중 수전장치 자동위치 기본탐색 알고리즘 순서도



그림2. 비파괴검사를 위한 자동위치탐색 및 자율형 무선 안전제어기능을 갖는 OWPT 무선통신네트워크 시연사진

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술위원회 지원의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 박사사업 (No. 24A01068)

참 고 문 헌

[1] Matthew J. Chabalko, Mohsen Shahmoha mmadi, and Alanson P. Sample, "Quasistatic Cavity Resonance for Ubiquitous Wireless Power Transfer", PLOS ONE 12, 2, 2017.2.
 [2] 최성수 외, "광파 무선전력전송 IoT센서네트워크 통신시스템에 관한 설계 및 구현 연구", 한국통신학회 동계학술대회, 2023.2.
 [3] 한상훈 외, "음향방출기법에 의한 콘크리트 균열발생원 위치결정에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집 제29권 제6호(통권 제162호), 2017. 12.
 [4] IEC, "IEC 60825-1:2014 - Safety of laser products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide", 2014.