

광파 무선전력전송 IoT 센서네트워크 통신시스템에 관한 설계 및 구현 연구

*최성수, 허두창, 양기동, 이상화

한국전기연구원

sschoi@keri.re.kr

Study on the Design and Implementation of Optical Wireless Power Transmission for IoT Sensor Communication Systems

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

Korea Electrotechnology Research Institute

요 약

본 논문은 상시 전력공급을 필요로 하는 IoT 센서 네트워크 시스템 구현을 위하여 공간 상에 분산되어 있는 다수의 IoT 센서들에게 무선전력공급을 하고자 광전송 방향 위치제어, 통신송수신 기능동작, 상태정보 수신 및 IoT 센서 위치 스캐닝 제어등을 실현하였다. 구현된 시스템 시작품은 산업체에서 비파괴검사로 널리 사용되고 있는 AE 센서를 적용하였고, 측정된 다양한 신호를 필터링, 증폭 및 디지털 변환하여 현장의 센싱 데이터들을 무선환경에서 실시간으로 수집하는 동시에 무선전력 충전상태 등을 함께 분석 할 수 있도록 하였다. 약 808nm의 파장을 갖는 레이저 광원을 이용하여 약 1~4 Watt 전력을 전송하는 WPT(Wireless Power Transmission) 송, 수신기를 설계하고, 약 10m 거리 무선환경에서 IoT센서 수신기들과 광학계를 포함하는 송신기를 무선통신네트워크로 연결하는 통신시스템을 구현하였다.

I. 서 론

본 논문에서는 레이저 기반 광파 무선 전력전송기술을 이용한 무선 IoT 센서 네트워크 설계 및 구현관련 연구 내용을 소개하고자 한다. 우리 주변에는 많은 수의 IoT 전자기기들을 비롯한 다양한 산업분야에서 활용되고 있는 수많은 센서들이 있다. 이들 기기에 전원을 공급하고 시스템을 구성하기 위해서는 주어진 환경 여건에 따라 센서 시스템 설치에 있어 많은 제약이 있으며, 시스템 운용 시 기기별로 회수하거나 현장에서 별도로 배터리 교환을 해야만 하는 불편을 감수해야 한다. 이러한 문제를 원천적으로 해결하기 위한 방법은 이들 IoT 센서 기기에 직접적인 전원공급 방법 외에도 무선으로 전력을 평상시에 공급 및 유지할 수 있도록 하는 것이다. 가시광선 레이저 기반 광파 무선전력기술은 전자기파가운데 빛은 직진성과 전송효율 측면에서 매우 유리하여 이러한 IoT 센서네트워크를 구성하기에는 매우 효과적이다 [1,2]. 본 연구에서는 IoT 센서로 비파괴 검사를 통한 예방, 진단분야에 널리 사용되고 있는 AE센서를 임베딩하여 여러개의 AE센서들에 필요한 무선전력을 공급하고 해당 센싱데이터를 취득 분석 가능하도록 구현하였다. 일반적으로 AE는 고체가 변형 또는 파괴시에 발생하는 음을 탄성파로 방출하는 현상이며, 이 탄성파를 AE 센서로 검출하고 평가하는 방법을 AE법이라고 한다. AE는 재료가 파괴되기 이전부터 작은 변형이나 균열(Crack)의 진행과정에서 발생하기 때문에 AE의 발생

경향을 진단하여 재료와 구조물의 결함 및 파괴를 발견 및 예상할 수 있다. AE법은 주로 초음파 영역(수 10kHz~수MHz)의 신호를 대상으로 하고 있어 초음파 탐상법과 비슷하지만 재료의 결함 자체가 방출하는 동적 에너지를 감지하는 점이 다른 비파괴검사 방법과 다르다. 따라서 가소성에 의한 변형이나 미세한 파괴의 진행과정을 실시간으로 관측할 수 있으며, 여러 개의 AE 센서를 사용하여 결함 위치 파악 및 가동 중인 설비의 진단 등을 할 수 있는 등의 장점이 있다[3,4]. 그림1은 기존 AE 센싱데이터 계측 시스템 개념도를 보여준다. 콘크리트가 하중을 받아 균열을 발생시키고 진전되는 과정을 육안조사에 의해 관찰되기 전에 균열의 발생 위치 및 진전 방향을 사전에 예측하는데 활용 가능하다 [3,4].

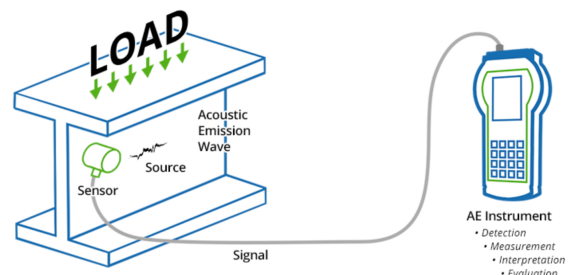


그림 1. 기존 AE센서 및 측정기 시스템 개념도

II. 본 론

2.1 시스템 설계

레이저 기반 광파 무선 전력전송 시스템 설계를 위해서는 다음과 같은 기술적 요구사항을 고려해야 한다. 활용하고자 하는 산업용 IoT 센서 기기는 전력선으로 전원 공급이 원활하지 않는 지역이나 환경을 가정하고 있다. 또한 대부분 충전 장치는 대개 근거리 10m 이내 1W 이상의 전력을 필요로 한다. 예를 들어, USB2.0 표준기준을 만족하는 기기에서는 대략 1~1.5W 전력을 요구하며 LOS 환경아래 적어도 5m 거리에서 효과적으로 기능 동작 수행이 가능해야 한다. IoT센서기기의 전원공급을 위한 시스템 구축의 경우 직접 연결하여 센싱데이터 계측분석을 하는 기존 시스템 구성에 드는 비용이나 하드웨어 복잡도와 비교할 때 최소한의 하드웨어 구성과 저비용으로 구축 가능하도록 설계한다. 대체로 높은 직진성과 전력밀도 그리고 최소한의 감쇄를 갖는 광학 특성을 갖고 있는 레이저와 비교적 수 와트 수준의 전력에서도 쉽게 동작되어질 수 있는 Si기반 수전광 셀(cell)은 본 시스템을 구현하기에 적합하다.

다만, 수전부에 1W 전력전송을 위해서 1cmx1cm 직경의 빔 수신 시 23% 정도의 전력효율을 고려해 볼 때 약 $4.3\text{W}/\text{cm}^2$ 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 광파 전력수신 센서부는 그림2 사진에 보인바 같이 BLE통신을 통한 배터리 충전상태, 광 신호세기 상태, AE 센싱 데이터 등을 수신하여 실시간 데이터를 분석한다. 이들 AE 멀티 IoT센서부들을 스캔함과 동시에 광파송신기의 빔 위치제어신호 송신 또한 시스템 관리 및 상태제어를 맡고 있는 PC노트북의 무선통신연결을 통하여 제어 운영한다.

2. 시스템 구현 및 결과

레이저 광파 전달거리 10m에서 1cm 직경 빔을 만들 수 있는 소형 광학계 설계 및 구현을 하였고, 스캐닝 광학계와 결합하여 빔 패턴 스캔을 수행결과, 스캔 정확도는 약 $15\mu\text{rad}$ (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. 그림3에 보였듯이 4대의 AE센서 임베딩 IoT센서 수신기들에 레이저로 센서의 전원을 공급하는 동시에 센싱 데이터를 실시간으로 수신하여 분석가능하도록 하였다.

III. 결론

본 논문에서는 808nm 파장을 갖는 레이저기반 광파 무선전력전송시스템을 설계하고 구현하였다. 수전부 쪽 IoT센서 모듈에는 AE센서를 임베딩하여 DC~200kHz의 비파괴검사 동작특성을 실시간 측정가능케 하였고, 무선통신을 통해 실시간 데이터를 분석할 수 있었다. 향후 고출력 레이저 빔이 사람의 눈이나 신체에 닿지 않도록 안전 표준규격인 IEC60825에 따르는 안전거리 확보 및

높은 전력밀도를 자동으로 낮추거나 순간적으로 스위칭 오프가능한 안전동작기능에 대한 실용적인 연구를 진행하고자 한다.

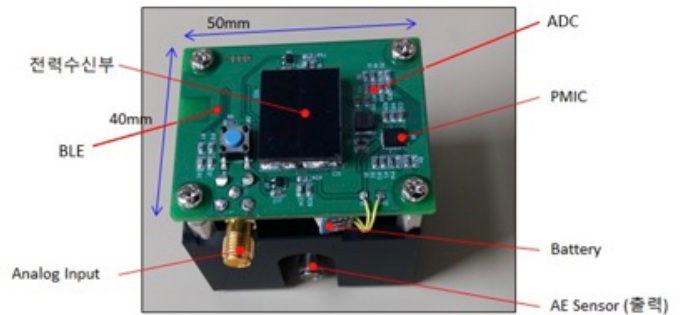


그림 2. AE센서 임베딩 광파 전력수신부 IoT 수신기 구현 사진



그림 3. 레이저 기반 광파 무선전력전송 IoT 센서네트워크 통신 시스템 구현 사진 (구성: 광전송 송신기, 4대의 AE센서 임베딩 IoT 센서 수신기 및 시스템 관리, 전력 상태모니터링과 데이터 분석용 PC노트북)

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술위원회의 지원을 받아 수행된 한국연구재단 기초연구사업 (No. 23A01075)

참고 문헌

- [1] Matthew J. Chabalko, Mohsen Shahmohammadi, and Alanson P. Sample., "Quasistatic Cavity Resonance for Ubiquitous Wireless Power Transfer", PLOS ONE 12, 2, 2017.2.
- [2] Hal E Bennett, "DOD and Navy applications for laser power beaming", SPIE Laser Power Beaming II Proceedings, 1995.
- [3] 한상훈 외."음향방출기법에 의한 콘크리트 균열발생원 위치결정에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집 제 29권 제6호(통권 제162호), 2017. 12.
- [4] 한국과학기술정보연구원, "음향방출의 계측의 기초," 2013.4, (<https://scienceon.kisti.re.kr/>).