

## RFID 기반 패치 안테나 센서를 활용한 변형률 계측 시스템

## Strain Measuring System using Patch Antenna Sensor based on RFID

남상혁\* · 김도형\*\* · 조준희\*\*\* · 장승환\*\*\*\*

Nam, Sang-Hyeok · Kim, Dohyeong · Cho, Chunhee · Jang, Sung-Hwan

최근 노후화된 구조물의 안전성에 대한 문제가 대두되며 구조물 안전성 모니터링 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 그러나 기존 유선 센서 및 데이터로거 기반의 변형률 계측 시스템은 설치 및 관리의 어려움과 설치비 및 유지비가 높다는 단점을 갖는다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해 무선 및 무전원 센서와 장치를 활용한 계측 시스템의 개발이 요구되고 있으며, RFID를 기반으로 하는 무전원 무선 센서에 대한 다양한 기초 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 RFID 기반 패치 안테나 센서를 활용하여 구조물의 변형률을 계측할 수 있는 무전원/무선 구조물 계측 시스템을 소개한다.

**핵심용어** : 안테나 센서, RFID, 3D 프린터, 나노소재, 계측 시스템

## 1. 서 론

우리나라는 급속한 경제발전과 더불어 다양한 산업 분야에서 혁신적인 발전을 이루어 왔으나 최근 교량 등과 같은 대형 사회기반 시설물의 노후화로 인한 안전성 문제가 대두되고 있어 이에 따른 실시간 안전성 모니터링 시스템의 구축이 요구되고 있다. 기존 방식의 모니터링 시스템은 센서 및 데이터로거와 같은 하드웨어 구성이 유선 연결을 기반으로 하여 설치와 관리가 복잡하고 장기거동 모니터링을 하기 위해서는 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 이와 같은 기존 모니터링 시스템의 단점을 극복하기 위해 무선 연결 기반의 모니터링 시스템에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으며, 초기에는 무선 계측을 위해 전통적인 금속 재질의 기존 유선 변형률 센서를 무선 장치를 활용하여 계측하는 방식에 관한 연구가 수행되었다. 이와 같은 무선 장치 기반의 모니터링 시스템은 구조물에 설치 시간 및 비용을 줄인다는 장점이 있지만, 설치 시 외부 전원을 필요로 한다는 사실에는 기존 모니터링 시스템과 차이가 없다. 외부 전원 설치에 따른 문제점을 해결하기 위해 무전원(battery-free 또는 passive) 변형률 센서에 관한 연구가 수행되고 있으며, RFID 통신을 기반으로 무전원 무선 변형률 센서에 관한 연구가 수행된 바 있다(Yi et al., Cho et al., 2016). 본 연구에서는 향후 RFID 기반 무전원 안테나 센서를 활용한 구조물 건전성 모니터링 시스템에 적용할 수 있는 구조물 변형률 계측 시스템을 소개하고자 한다.

## 2. 안테나 센서

## 2.1 인공지능 기반 최적 설계 및 3D 프린팅

국내에서는 거의 사용되지 않고 있는 안테나 센서는 센서 작동 구조가 간단하여 작동오류가 적다는 장점이 있고, 금속 및 폴리머 재료로 제작되어 내구성이 높아 장기 구조물 모니터링에 적합한 센서로 주목받고 있다. RF 안테나 센서의 성능 및 특성은 안테나 형상 및 크기와 같은 기하학적 조건과 구성 재료의 전자기적 특성에 매우 민감하게 결정된다. 이에 다양한 설계 예시를 바탕으로 인공지능을 활용하여 안테나

\* 정회원 · 교신저자 · (주)이엔지소프트 대표, 공학박사 (Corresponding Author · E-mail:shnam@engsoft.kr) - 발표자

\*\* (주)이엔지소프트 차장, 공학박사 (E-mail:dhkim@engsoft.kr)

\*\*\* University of Hawaii at Manoa, Civil & Environmental Engineering, Assistant Professor, Ph.D.(E-mail:chunhee@hawaii.edu)

\*\*\*\* 정회원 · 한양대학교에리카 건설환경공학과 교수, 공학박사 (E-mail:sj2527@hanyang.ac.kr)

센서의 형상 및 크기 등의 최적 설계를 수행한다. 이를 위해 다양한 형상과 크기를 갖는 안테나 센서의 설계 후 이를 실제 제작 및 시험하여 각각의 센서의 특성 데이터의 축적이 요구된다. 하지만 전통적인 패치 안테나 센서 제작 방식인 식각(etching) 방식은 이와 같은 소규모로 다양한 형상의 센서를 제작하기에 적합하지 않아 3D 프린터와 PCB 프린터를 활용하여 안테나 센서를 제작하여 센서 형상 및 크기에 따른 특성 데이터를 수집한다.

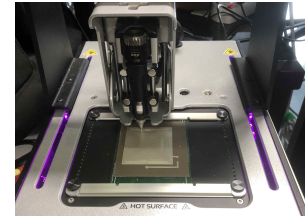


그림 1 패치 안테나 프린팅

## 2.2 나노소재를 활용한 안테나 센서 제작

상용화를 위해 전 세계적으로 활발히 연구되고 있는 탄소나노튜브(CNT) 등과 같은 나노소재는 혼합소재의 종류 및 배합 비율에 따라 다양한 성질의 전기적 특성을 발휘하는 소재이다. 본 연구에서 사용하고 자 하는 패치 안테나 센서는 소형화를 위해 폴디드 패치 안테나(Folded Patch Antenna) 형태로 제작되며, 유전체 표면에 특정 패턴의 전도체가 설치되어 작동하는 방식이다. 안테나 센서에 적용되는 전도체는 다양한 전기적 성질을 갖는 나노잉크나 CNT 복합소재 등을 활용하여 3D 프린터를 통해 제작할 수 있다.

## 3. 안테나 센서를 활용한 변형률 계측

저항 변화를 바탕으로 변형률-저항 간의 관계를 통해 변형률을 도출하는 기존 변형률 센서와 유사하게 구조물 변형에 따라 표면에 부착된 안테나 센서의 공진주파수가 선형적으로 변화하는 특성을 활용하여 변형률을 도출한다. 공진주파수는 특정 센서의 주파수별 활성화 신호 세기 데이터를 수집하여 해당 데이터의 회귀 분석을 통해 계산된다. 기존 RFID 리더는 주파수 도약 확산 스펙트럼(FHSS) 방식을 적용하여 주파수 간섭을 회피하며 태깅하는 방식으로 사용되어 이와 같은 기존 RFID 리더는 공진주파수 도출이 불가능하다. 따라서 주파수별 최소 반응 신호 세기를 수집할 수 있는 장치를 개발하여 패치 안테나 센서를 활용한 구조물의 변형률을 계측한다.

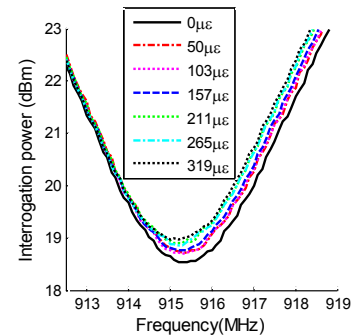


그림 2 변형률에 따른 공진주파수

## 4. 결 론

본 연구에서는 RF 방식의 무전원 무선 안테나 센서를 활용하여 기존 방식 대비 효율적이며 경제적인 구조물 계측 시스템을 소개하였다. 이를 통해 개선된 구조물의 건전성 모니터링 기술뿐만 아니라 재난·안전 관련 분야에서도 활용할 수 있는 첨단 기술로 발전시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20014127')

## 참고문헌

1. Yi, Xiaohua. Cho, Chunhee. Wang, Yang. Tentzeris, Manos. (2016). "Battery-free slotted patch antenna sensor for wireless strain and crack monitoring" *Smart Structures and Systems*, Vol. 18, pp.1217-1231
2. Cho, Chunhee. Yi, Xiaohua. Li, Dan. Wang, Yang. (2016). "Passive Wireless Frequency Doubling Antenna Sensor for Strain and Crack Sensing" *IEEE Sensors Journal*, Vol. 16, No. 14, pp.5725-5733