

## 안테나 센서 전용 RFID 리더를 이용한 변형률 모니터링

### Strain Monitoring using RFID Reader for Antenna Sensors

김도형\* · 심목정\*\* · 조기완\*\*\* · 남상혁\*\*\*\*

Kim, Dohyeong · Sim, Mok Jeong · Jo, Giwan · Nam, Sang-Hyeok

RFID를 기반으로 작동하는 무전원 안테나 센서는 일정 구간의 주파수 범위에서 측정된 최소 응답 신호 세기 데이터 세트를 바탕으로 공진주파수를 도출하고, 이를 안테나 센서 변형률 계산식을 통해 변형률을 계측하는 새로운 방식의 센서이다. 상용 RFID 리더를 활용하되 기존 방식과는 다르게 작동해야 하므로 변형률 측정을 위한 전용 RFID 리더 소프트웨어를 개발하고, 이를 통한 계측 및 모니터링 시스템의 성능을 검증하였다.

**핵심용어** : 안테나 센서, RFID, 공진주파수, 변형률 센서, 모니터링

#### 1. 서론

건설 관련 기술이 날로 발전하고 새로운 소재가 개발되고 있지만 지금도 공사 중 또는 사용 중에 크고 작은 사고가 계속해서 발생하고 있다. 구조물의 건전성 모니터링을 위해 다양한 방식의 계측 방식이 활용되고 있지만 기존 계측 방식은 대부분 유선 연결을 기반으로 하고 있어 설치 및 유지 보수에 인력 및 비용이 크게 소요되며, 잦은 단선 또는 센서 열화와 같은 문제가 발생하기도 한다. 이와 함께 계측을 위한 지속적인 전원 공급 문제 등으로 인해 장기적이고 안정적인 구조물 거동 모니터링에 어려움이 있다. 본 연구에서는 무전원 안테나 센서를 이용하여 기존 계측 방식의 약점을 극복하는 새로운 형태의 계측 기술을 소개하고 활용 가능성에 대한 검증 결과를 제시한다.

#### 2. 안테나 센서와 RFID 리더를 통한 변형률 계측

무전원 안테나 센서는 구조물의 거동에 따른 공진주파수의 변화를 이용하여 변형을 계측하는 방식의 센서이며, 변형률-공진주파수 관계식을 이용하여 변형률을 도출한다. 공진주파수 측정 및 변형률-공진주파수 관계 도출 시 정확도에 영향을 주는 요인은 수집된 데이터 세트 표본 수, 즉 데이터 정밀도이며, 이는 RFID 리더의 신호 세기와 주파수의 간격 조절 성능(해상도)의 영향을 받는다. 고가의 정밀한 장비를 이용하는 경우 신호 세기 및 주파수의 간격을 각각 0.1 dBm, 0.1 MHz 단위 정도로 세밀하게 조절 가능하나, 일반적으로 사용되고 있는 RFID 리더의 경우 이처럼 높은 해상도의 조절 능력을 갖추지 못한다. 그러나 이와 같은 세밀한 간격의 신호세기 및 주파수로 측정할 경우 너무 많은 시간이 소요되는 단점이 있기 때문에, 안테나 센서 기술을 실제 적용하기 위해서는 계측의 정확성 뿐만 아니라 측정 시간에 대한 효율성도 함께 고려하여야 한다.

신호 세기 및 주파수 간격에 따른 정확도에 대한 영향을 검토한 결과 1.0 dBm, 0.5 MHz 단위 정도의 간격으로 측정할 경우 회귀분석을 통해 효율적이고 합리적인 수준의 정확도를 확보하는 것이 가능한 것으로 확인하였다(조기완 등, 2023). 이에 따라 안테나 센서 전용 계측 및 모니터링 시스템에 필요한 하드웨어 구성 요소와 요구 성능을 바탕으로 RFID 리더 소프트웨어를 개발하여 해당 주파수에서 신호 세기를 달리하며 신호에 반응하는 최소 신호세기를 빠르게 측정할 수 있도록 하였고, 신호세기-주파수 관계의 회귀곡선을 통해 공진주파수를 찾아 변형률-공진주파수 관계식을 도출할 수 있도록 하였다.

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

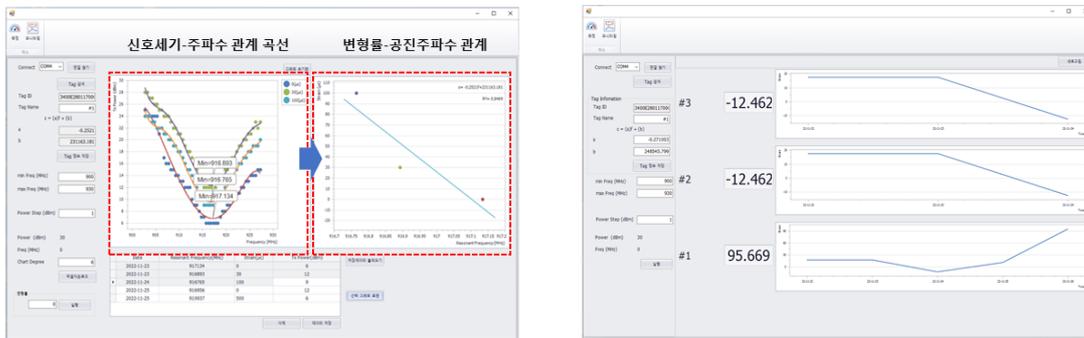
\*\* (주)이엔지소프트 부장, 공학사 (E-mail:mjsim@engsoft.kr)

\*\*\* (주)이엔지소프트 사원, 공학석사 (E-mail:gwjo@engsoft.kr)

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

### 3. 안테나 센서 전용 계측 및 모니터링 시스템

본 연구에서 안테나 센서를 이용한 변형률 계측 및 모니터링을 위해 사용한 UHF RFID 리더는 IMPINJ의 Indy R2000 RAIN RFID 칩을 사용한 개발용 기기를 사용하였으며, 해당 기기는 신호 세기와 주파수를 각각 1 dBm, 0.5 MHz 단위로 조절할 수 있다. 개발된 계측용 RFID 리더 소프트웨어의 핵심 기능은 크게 두 가지로 1) 설정된 변형률 단계에 대한 신호세기와 주파수 관계 곡선에서 공진주파수를 찾고, 이를 이용하여 변형률-공진주파수 관계식을 도출하는 기능과 2) 구조물에 부착되어 있는 안테나 센서의 현재 공진주파수를 측정하여 변형률을 계산하고, 모니터링 시스템을 통해 장기적으로 관리할 수 있도록 하는 기능이다.



(a) 변형률-공진주파수 관계식 도출

(b) 변형률 계측 및 모니터링

그림 1 계측 및 모니터링 시스템 화면

개발된 안테나 센서 계측 시스템의 성능을 검증하기 위해 화학적 에칭을 통해 제작된 안테나 센서를 알루미늄 판에 스트레인 게이지와 함께 부착하여 변형률 별 대응하는 공진주파수 데이터 세트를 선형 회귀하여 센서의 변형률-공진주파수 관계식을 도출한 결과 결정계수( $R^2$ )는 95% 이상으로 나타났으며, 이 결과는 본 연구에서 개발된 안테나 센서 계측용 RFID 리더 및 소프트웨어를 통해 오차 5% 내의 변형률을 계측할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 안테나 센서와 기존 RFID 리더를 이용하여 변형률을 측정할 수 있는 계측 및 모니터링 시스템을 개발하였으며, 실험을 통해 도출한 변형률-공진주파수 관계식의 적합도 평가를 통해 해당 시스템을 검증하였다. 향후 추가적인 실험 및 개발을 통해 공진주파수 도출 알고리즘을 최적화하면 보다 높은 정확도의 변형률-공진주파수 관계식 도출 및 변형률 계측이 가능할 것으로 보인다.

### 감사의 글

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(‘20014127’)

### 참고문헌

1. 남상혁, 김도형, 조준희, 장승환 (2022). “RFID 기반 패치 안테나 센서를 활용한 변형률 계측 시스템” *대한토목학회 정기학술대회 논문집*, pp. 312-313.
2. 조기완, 김도형, 심목정, 남상혁 (2023). “회귀분석을 이용한 안테나 센서의 공진주파수 측정 정확도 분석” *대한토목학회 정기학술대회 논문집*.