

회귀분석을 이용한 안테나 센서의 공진주파수 측정 정확도 분석

Accuracy of Antenna Sensor Technology for Measuring Resonance Frequency using Polynomial and Linear Regression

조기완* · 김도형** · 심목정*** · 남상혁****

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

RFID 통신을 기반으로 하는 무전원 무선 안테나 센서는 주파수별 센서가 응답하는 최소 신호 세기를 바탕으로 공진주파수를 찾고, 공진주파수와 변형률 관계를 도출하여 계측 대상의 변형을 평가한다. 기존 RFID 리더의 기계적 한계로 신호 세기와 주파수를 정밀하게 조절하기에 어려움이 있어 회귀를 통해 근사적으로 도출된 공진주파수를 사용해야 한다. 본 연구에서는 정밀 장비를 이용하여 측정된 원시데이터 세트와 간소화된 데이터 세트의 공진주파수와 변형률의 관계식의 적합도를 비교하여 안테나 센서를 통한 변형률 측정 시 요구되는 신호 세기와 주파수 해상도를 검토하였다.

핵심용어 : 안테나 센서, 공진주파수, 변형률, 회귀분석

1. 서론

구조물의 안전성 확보를 위해 사용되고 있는 기존의 계측 방식들은 대부분 지속적인 전원 공급이 필요하고 유선 계측 방식이며, 센서 자체의 낮은 내구성과 높은 유지관리 비용 등의 문제로 인해 안정적이며 장기적인 거동 모니터링이 어려운 실정이다. 기존 방식의 문제점을 해결하기 위해 제안된 RFID 통신을 기반으로 하는 무전원 무선 안테나 센서는 RF 신호 세기와 주파수의 관계를 통해 변형률을 측정하는 방식의 센서로, 지속적인 전원 공급 및 유선 연결 없이 구조물 거동 변화를 측정할 수 있다. 실험실 수준의 실험에서는 정밀한 RFID 측정 장비를 활용하여 주파수-변형률 간 관계식이 충분한 적합도를 가짐을 기존 연구에서 보였으나, 기술 상용화를 위해서는 기존 RFID 리더의 기계적 한계와 계측 효율성의 고려가 요구되며, 이를 위해 신호 세기와 주파수 해상도가 계측 결과에 미치는 영향에 대한 검토를 수행하였다.

2. 기존 RFID 리더의 한계 및 데이터 필터링

기존 RFID 리더는 일반적으로 리더에서 신호를 발신하여 일정 공간 내의 단수 또는 복수의 태그 응답 여부 및 해당 태그에 저장된 적은 양의 데이터를 읽는 방식으로 사용되고 있다. 신호 세기는 필요에 따라 인식 범위를 조절하기 위해 설정할 수 있는 기능으로 제공하기도 한다. 또한 복수의 리더 간 신호 간섭을 방지하기 위해 주파수 호핑 방식을 적용하고 있는데, 이는 일정 구간의 주파수 대역을 각각의 채널로 지정하여 고속으로 다수의 채널 간 변경을 통해 신호 간섭을 방지하는 기술이다. 그러나 기존 RFID 리더는 신호 세기 또는 주파수를 목적에 따라 정밀하게 조절할 수 없어 기존 RFID 리더와 안테나 센서를 이용하여 구조물의 거동을 계측하기에는 기술적인 한계가 있다.

안테나 센서를 통한 변형률 측정은 1) RFID 리더를 통해 주파수 별 최소 응답 신호 세기 측정, 2) 신호 세기-주파수 관계에서 최저 신호 세기에 해당하는 공진주파수 도출, 3) 센서별 특성을 반영한 주파수와 변형률 간의 관계로 나타내어지는 변형률 계산식에 공진주파수를 대입하는 절차로 수행된다. 이때, RFID 리더의 한계

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

** 정희원 · (주)엔지소프트 차장, 공학박사 (E-mail:dhkim@engsoft.kr)

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

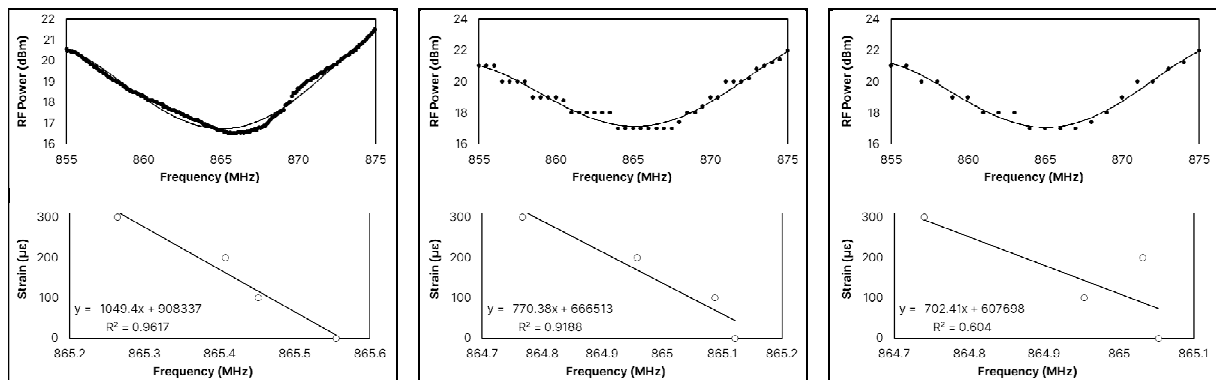
**** 정희원 · 교신저자 · (주)엔지소프트 대표, 공학박사 (Corresponding Author · E-mail:shnam@engsoft.kr)

로 인해 1)번 과정에서 측정되는 데이터의 양과 정밀도가 부족하게 되어 이에 대한 개선이 필요한 실정이며, 기존 RFID 리더의 성능 및 계측 소요 시간 등과 관련된 계측 효율성을 고려할 때, 적절한 신호 세기 간격과 주파수 간격의 선택이 요구된다.

RFID 태그 또는 안테나의 성능 시험을 위한 정밀 장비를 통해 주파수와 신호 세기 간격을 각각 0.1 MHz, 0.1 dBm 단위로 측정된 원시데이터를 준비하였다. 이후 신호 세기 및 주파수 데이터의 정밀도가 안테나 센서 계측 결과에 미치는 영향을 검토하기 위해 일반적인 RFID 리더의 신호 세기 최소 조절 단위인 1 dBm으로 신호 간격을 고려하고, 주파수 간격의 조절 단위는 0.1, 0.5, 1.0 MHz로 데이터 세트를 추출하여 분석하였다. ([세트1] 주파수 0.1 MHz, 신호 세기 0.1 dBm, [세트2] 주파수 0.5 MHz, 신호 세기 1.0 dBm, [세트3] 주파수 1.0 MHz, 신호 세기 1.0 dBm)

3. 신호 세기-주파수 해상도에 따른 변형률 계산식 적합도 분석

공진주파수-변형률 관계식은 안테나 센서가 설치된 시편에 발생한 변형에 따른 공진주파수를 측정하여 해당 데이터를 선형회귀하여 도출한다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 추출한 데이터 세트 3종에 대해 공진주파수-변형률 관계식을 도출한 결과 원본 데이터(세트1)는 96.17%의 적합도(R^2)를 보이고, 1 dbm과 0.5 MHz로 간소화한 데이터(세트2)는 91.88%, 1 dbm과 1 MHz로 간소화한 데이터(세트3)는 60.40%로 나타났다.



(a) 세트1 (b) 세트2 (c) 세트3

그림 4. 신호 세기-주파수 및 공진주파수-변형률 관계 곡선

4. 결론

본 연구에서는 안테나 센서 변형률 측정 시 신호 세기와 주파수 간격의 정밀도가 변형률 측정의 정확성에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이를 통해 RFID 리더가 최소 1 dBm과 0.5 MHz의 정밀도를 가진다면 회귀분석을 통해 비교적 합리적인 공진주파수와 변형률 관계식을 도출할 수 있음을 확인하였고, 계측 정밀도를 높여 회귀 표본 데이터의 양을 증가시키면 계측 결과의 신뢰도가 향상될 수 있을 것이다.

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.