

# 정적 및 동적 구조물 모니터링을 위한 무선 변형률 센서 보드 개발

## Development of Wireless Strain Sensor Board for Static and Dynamic Structural Health Monitoring

이정훈\* · 박종웅\*\* · 정형조†

Junghoon Lee, Jong-Woong Park and Hyung-Jo Jung

### 1. 서 론

현대 산업의 발전으로 인해 토목 구조물은 대형화, 정교화 되고 있으며 이러한 구조물들의 안전을 위해 많은 인력 및 비용을 지출하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 차량의 증가, 피로의 누적 그리고 자연재해 등으로 인한 구조물의 손상은 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 재해에 의한 사고를 사전에 예방하고 구조물의 생애주기를 늘리기 위한 구조물 안전성 모니터링 기법이 최근 각광 받고 있다.

구조물의 모니터링 시스템 중 하나로 최근 첨단 무선 센서를 기반으로 한 연구가 진행되고 있으며, 이는 기존의 구조물 모니터링 시스템과 대체할 만한 성능을 지닌 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 첨단 무선 센서중의 하나인 Imote2를 기반으로하여 정적 및 동적 데이터 취득을 위한 변형률 센서보드(SHM-S)를 개발하고, 이를 모형에 설치하여 검증 실험을 수행하였다.

### 2. 변형률 센서 보드

#### 2.1 Wheatstone Bridge

일반적인 토목구조물의 경우 변형률의 크기가 milli-strain 단위 이하로 나타나기 때문에 변형률을 측정을 위해서 정밀도가 높은 센서를 필요로 한다. 일반적으로 사용되는 foil type 350-ohm 변형률 게이지의 경우, 1 micro-strain( $\mu\text{s}$ )이 변화할 때 변형률 게이지의 저항변화는  $0.0007 \Omega$  밖에 되지 않는다.

† 교신저자; 정회원, KAIST 건설 및 환경공학과 부교수  
E-mail : hjung@kaist.ac.kr  
Tel : 042-350-3626 , Fax : 042-350-3610

\* KAIST 건설 및 환경공학과 석사과정

\*\* KAIST 건설 및 환경공학과 박사과정

보통 이러한 작은 저항변화를 감지하기 위하여 Wheatstone bridge 회로를 이용한다. 회로의 형태는 그림 1 과 같으며 출력전압은 식 (1) 과 같다.

$$\Delta V = V_D - V_B = \left[ \frac{R3}{R3+R4} - \frac{R2}{R1+R2} \right] \cdot V_{EXT} \quad (1)$$

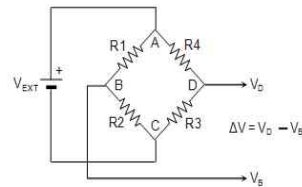


Figure 1 Wheatstone Bridge Circuit

SHM-S 보드는 높은 정밀도의 저항변화를 감지할 수 있도록 설계되었다. Imote2에서는 0 V~3.3 V 사이의 전압이 출력가능하므로  $V_B$ 와  $V_D$ 사이의 전압을 1.5 V를 기준으로 최대 3.3 V, 최저 0 V 사이로 측정범위를 정했으며, 민감한 변형률 변화를 감지하기 위해서 증폭칩 MAX4194를 사용하여 501, 1001, 2007 및 2507배로 총 4단계의 증폭 배율을 설정하였다.

#### 2.2 Shunt Calibration

이러한 민감한 측정장치를 사용할 때는 보정이 매우 중요하다. 변형률 측정장치는 기지의 저항을 통해 변형율을 보정할 수 있는데 이것을 Shunt Calibration이라고 한다. 그림 2와 같이 정밀도가 매우 높은 저항  $R_C$ 를 변형률게이지( $R_G$ )에 병렬로 연결하여 출력전압을 인위적으로 변화시켜서 식 2를 통해 Shunt resistance로 인하여 바뀐 변형률을 계산하고 출력전압을 측정하여 변환상수를 산정하게 된다.

$$\epsilon_s = -\frac{R_G}{F_G(R_G + R_C)} \quad (2)$$

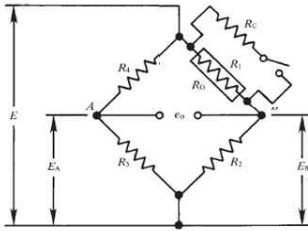


Figure 2 Shunt resistance

본 연구에서 개발한 SHM-S 보드에서는 Shunt resistance로써 0.1%의 오차를 가지는 100 kΩ 저항을 사용하였다. Wheatstone bridge의 조정과 shunt calibration 그리고 측정의 모든 과정은 소프트웨어를 통해 무선으로 가능하다.

### 3. 검증실험

본 연구로 개발된 SHM-S 보드는 그림 3과 같다. 실험을 위해 표 1과 같은 제원의 단순보 모형을 준비하였으며 40 cm 간격으로 총 4개의 변형률게이지를 부착하였다. 변형률게이지는 일본의 Tokyo Sokki Kenkyujo사에서 제작된 350 Ω 변형률 게이지(WFLA-3-350-11-5LT)를 사용하였다.

모드해석을 위한 충격실험을 수행하였으며 총 3개의 모드를 규명하였다. 시간열 변형률 데이터는 그림 4와 같다. 본 실험에서는 최대 60 μs정도의 변형률을 보인다. 모드해석 결과는 표2, 표3과 같으며 고유진동수와 모드형상 모두 이론값과 매우 유사함을 알 수 있다.

Table 1 Property of Simple Beam

Length (L)	Width (d)	Thickness (t)	Material
1m	10cm	6mm	Steel

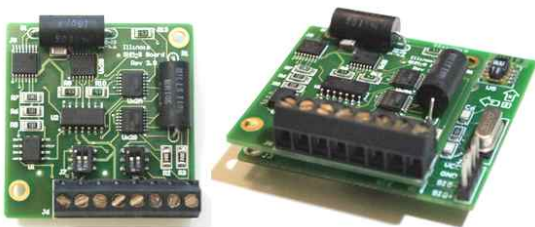


Figure 3 SHM-S Board

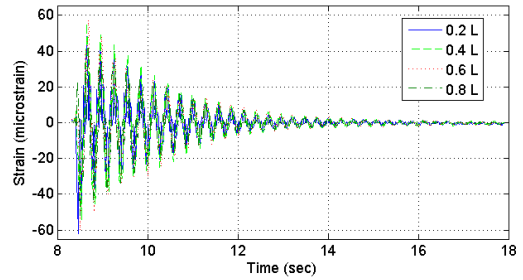


Figure 4 Strain Measurement

Table 2 Comparison of Natural Frequencies

Mode	Natural Frequency		Error(%)
	Theoretical	Experimental	
1st	3.4843	3.4137	2.03
2nd	13.9357	13.3122	4.47
3rd	31.3379	30.1482	3.80

Table 3 Comparison of Mode Shapes by MAC

Mode	1st	2nd	3rd
MAC	0.9999	0.9996	0.9988

### 3. 결 론

본 연구에서는 동적 및 정적 구조물 모니터링을 위한 무선 SHM-S 보드를 개발하였다. 정밀한 계측을 위하여 변형률 측정을 고배율로 증폭시킬 수 있는 시스템과 이를 보정 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 이를 무선으로 제어할 수 있는 소프트웨어도 제작하였다. 검증 실험을 위해 단순보에 4개의 변형률 게이지를 부착하여 SHM-S 보드의 성능을 평가하였으며 이론적인 결과와 실험으로 얻은 결과를 통해 3차모드까지 비교하였다. 실험결과, 5% 이내의 고유진동수 오차와 1% 이내의 MAC(Modal Assurance Criterion) 값을 얻었으며 이를 통해 시스템이 성능이 우수함을 검증하였다.

### 후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(No. 2010T100101085) 및 국토해양부에서 후원하는 U-City 석박사과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.