

교량의 수직처짐 측정을 위한 유비쿼터스 무선경사센서 활용연구

A Study on the Ubiquitous Wireless Tilt Sensors's Application for Measuring Vertical Deflection of Bridge

조 병 완¹⁾ 윤 광 원^{2)*} 김 영 지³⁾ 이 동 윤⁴⁾
Jo, Byung Wan Yoon, Kwang won Kim, Young Ji Lee, Dong Yoon

Abstract

In this study, a new method to estimate the bridge deflection is developed by using Wireless Tilt Sensor. Most of evaluations of structural integrity, it is very important to measure the geometric profile, which is a major factor representing the global behavior of civil structure, especially bridges. In the past, Because of the lack of appropriate methods to measure the deflection curve of bridges on site, the measurement of deflection had been done restrictly within just a few discrete points along the bridge. Also the measurement point could be limited to locations installed with displacement transducers. So, in this study, the deflection of the structure was measured by wireless tilt sensor instead of LVDT(Linear Variable Differential Transformer). Angle change of tilt sensor shows structural behavior by the change of the resistor values which is presented to voltage. Moreover, the maximum deflection was calculated by changing the deflection angle which was calculated as $V(\text{measured voltage}) \times F(\text{factor})$ to deflection. The experimental tests were carried out to verify the developed deflection estimation techniques. Because the base of tilt measuring is the gravity, uniform measurement is possible independent of a measuring point. Also, measuring values were showed very high accuracy.

Keywords : RFID/USN, Wireless tilt sensor, Deflection, Degree, Wireless sensor network

1. 서론

교량구조물의 구조 안전성 평가에 있어서, 실시간으로 전체적인 구조 거동을 관리하기 위해, 기하학적인 형상 변화를 측정하는 것은 매우 중요하다. 현재 교량의 처짐을 측정하는 데 있어서, 일반적인 처짐 계측 방법은 대표적으로 변위측정자기센서(Linear Variable Differential Transformer: LVDT)를 이용한 방법이 있고, 레이저 측정기, CCTV를 이용한 처짐 측정, GPS를 이용한 처짐 측정 또는 유선 계측 장비를 이용하는 방법 등을 사용하고 있지만(A. Basharat et al, 2005), 하천이나 해상 교량 그리고 측정점이 국한 되어있는 경우에는, 측정 장비의 설치 장소의 부재로 인해 많은 어려움을 겪고 있다. 또한, 실시간이 아닌 측정값을 원할 때 마다 직접 측정을 하여야 한다는 단점도 수반된다.

현재 건설시장에서는 유비쿼터스 시대의 첨단 정보기술에 발맞추어 유비쿼터스라는 새로운 IT기술을 통하여 수많은 시설물이라는 물리적 요소에 전자적 요소(USN, RFID 등)를 이식하여 언제, 어디서나 네트워크에 접속하여 실시간으로 정보를 수집하고, 서비스를 제공할 수 있는 시도가 이루어지고 있다(문현석, 2006). 따라서, 무선 센서 네트워크는 차량 제조, 농업, 건설과 운송을 포함하는 생산성의 여러 서비스를 변화시켰다(D. Culler, et al, 2004).

따라서, 본 논문에서는 유비쿼터스 기반의 첨단 무선 정보통신 기술을 교량 처짐 관리 기술에 접목하기 위하여, 교량 처짐의 물리량을 교량 상부구조의 경사각을 모니터링 하는 경사각 센서(tilt sensor)로부터 구할 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network : USN) 시스템을 구축하고, 기존의 LVDT 처짐 측정과의

1) 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 교수
2) 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 박사과정, 교신저자
3) 비희원, 한양대학교 건설환경공학과 석사과정
4) 비희원, 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

* Corresponding author : ykwabc@nate.com 02-2220-0327
• 본 논문에 대한 토의를 2011년 5월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

비교, 분석을 하기 위해 실내에서 실험 및 구조해석을 통해, 무선경사센서 모듈의 경사 변화에 따른 저항의 변화를 교정계수를 통해 환산하여, 처짐으로 변환하는 USN 기반의 실시간 교량 처짐 측정용 센서 및 네트워크 시스템의 효율성을 검증하고자 하였다.

2. 시스템 설계 및 구현

2.1 센서 네트워크

센서 네트워크란 센서가 달려 있어 센싱이 가능하고 수집된 정보를 가공할 수 있는 프로세서가 달려있으며 이를 전송할 수 있는 무선 송수신기를 갖춘 소형장치, 즉, 센서 노드로 구성된 네트워크를 의미한다. 센서 네트워크의 일반적인 특징은 그 성향이 비슷한 애드혹(Ad-hoc) 네트워크에 비해 상대적으로 그 규모가 크고 많은 센서 노드들이 조밀하게 배치될 수 있다는 점이다. 센서 노드는 열악한 환경 속에서 동작하므로 쉽게 그 기능을 수행하지 못할 수 있고 네트워크 토폴로지가 매우 빈번하게 변경될 수 있다. 기존의 네트워크는 일대일 통신이 고려 대상이었지만 센서 네트워크에서는 브로드캐스팅 패러다임이 주로 이용된다(Krishan Chitalapudi, et al, 2006). 센서

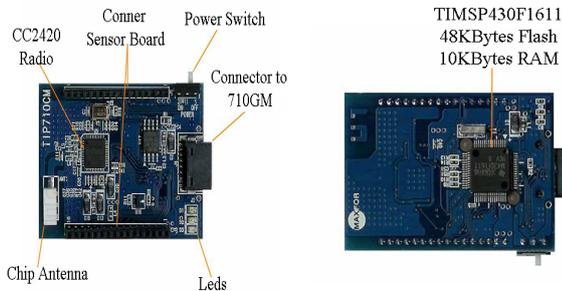


Fig. 1 TIP710CM Sensor frame

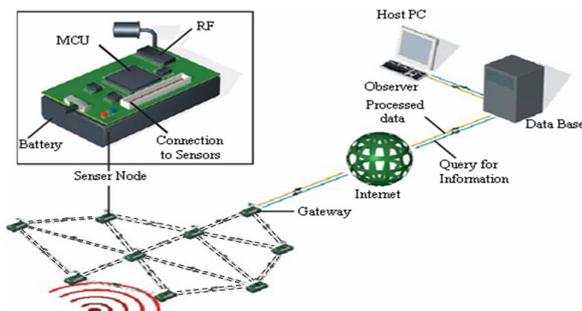


Fig. 2 System composition

네트워크 실험에서는 TIP710CM 모드가 사용되었고, 구조 및 사양은 Fig. 1과 같다.

2.2 시스템 개요

최근 외부 이벤트를 감지하여 RF(Radio Frequency)를 이용해 전달하는 센서 네트워크 기술이 활발히 연구되고 있다. 교량이나 도로의 상태를 현장에서 직접 파악하고 대처하는 현재의 방법은 효율성, 신뢰성 및 신속성 등에서 문제점을 가지고 있다. 무선 센서 네트워크를 이용하면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 언제, 어디서나 원격으로 각 부분의 문제점을 실시간으로 파악하고 신속하게 대처할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 시스템을 구축하기 위해 경사 센서와 무선 모듈을 이용하여 교량에 전해지는 진동을 측정할 수 있는 교량 안전진단 시스템을 구현하였다. 시스템은 교량의 처짐을 감지하는 경사 센서, 감지된 아날로그 신호를 센서 노드로 전달하는 MCU(Micro Controller Unit)와 수신된 데이터를 처리하는 호스트 PC로 구성되어 있다. 사용한 센서 노드는 A사의 모드를 사용하였다.

2.3 시스템 구성

교량 구조물의 경사 및 변형상태를 감지하기 위해 경사 감지 센서인 Tiltmeter(BTM-5)을 사용하였다. (Table 1 참조)

경사계는 계측기 제작사에 따라 외관, 기능 및 측정법에는 약간의 차이는 있으나 원리는 동일하다. 원리는 Fig. 3과 같이 서보가속도계(servo accelerometer) 원리로서 감지기 (position detector)의 자기장내에 한 개의 진자(mass)가 놓여 있고 이는 중력의 작용을 받으면 중력의 작용 방향으로 기울어지게 되고 이로 인하여 위치감지에 전류의 변화가 일어나게 된다.

Table 1 Tiltmeter sensor specifications

item	specification
Rated capacity	± 5 deg
Rated output	1.000~5.000 V
Calibration coefficient	0.0025 deg/ \times 0.001V
Safe excitation	17~24 VDC
Safe temperature range	-20 $^{\circ}$ C~60 $^{\circ}$ C
Cable length	5m

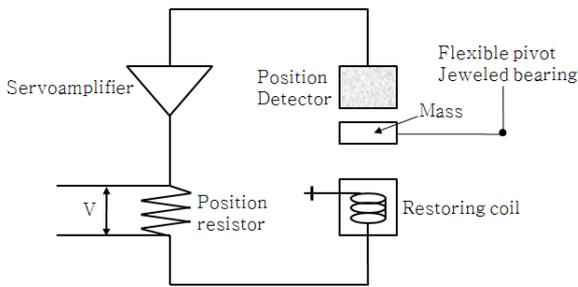


Fig. 3 Tiltmeter frame

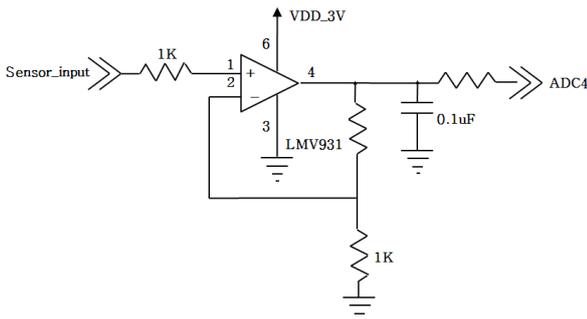


Fig. 4 Non-Inverter Amplifier

이 전류가 서보증폭기(Servo-amplifier)를 통해 복원 코일(restoring coil)로 들어오게 된다. 이때 진자는 처음의 변하려는 중력과 전자기력을 반대방향으로 가지게 되므로 평형이 이루어져서 움직이지 않는다. 전류가 저항을 통과할 때의 전압을 측정할 수 있으며 이 전압은 진자를 평형상태로 유지하려는 힘과 정비례한다. 쌍축형(biaxial type) 경사계의 감지기(probe) 내에는 90° 방향으로 각각 하나씩 가속도계가 들어 있으며 감지기(probe)는 경사계 관(access tube)의 흡을 따라 이동, 이때 감지기의 기울기는 진자를 평형으로 유지하려는 힘과 정비례하므로 연속 측으로부터의 기울기는 측정된 전압에 비례상수를 곱하여 구할 수 있다.

Fig. 3은 일반적인 Tiltmeter 센서의 구조를 나타낸다.

발생된 전기 신호는 모트의 ADC(Analogue to Digital Converter) 채널에 연결된다. 모트는 7개의 ADC 채널을 가지고 있으며 각 채널은 12 bit Analog / Digital converter이며 초당 24KB로 샘플링 한다.

본 연구에서의 사용된 Tiltmeter의 최대 출력 전압은 $5.0V \pm 0.2\%$ 로 더 자세하고 민감한 데이터를 출력하기 위해 모트의 ADC 전압 레벨(2.5V)에 맞추어야 할 필요가 있다. 따라서 입력신호들 간의 덧셈이나 적분과 같은 수학 연산을 실행하는 연산증폭기(Operational Amplifier)를

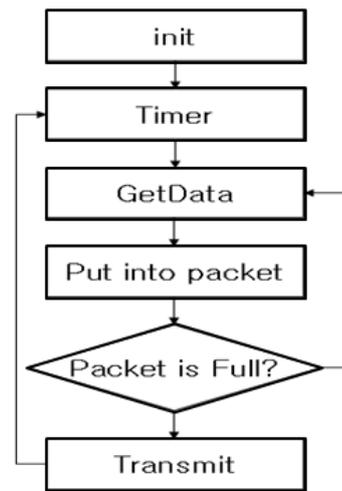


Fig. 5 Course of Data Sampling

이용한 입력신호와 증폭된 출력의 위상 즉, 모양이 같은 비반전증폭기(Non-Inverter Amplifier)를 구성하여 tilt sensor와 모트 사이에 연결하였다. Fig. 4는 Non-Inverter Amplifier의 회로도이다. 무선 경사센서 모듈의 전원(3V)을 그대로 사용하기 위해 Rail-to-Rail방식의 연산증폭기(Operational Amplifier)인 LMV931을 사용하여 10의 gain으로 센서에서 출력되는 voltage를 증폭시켰다.

2.4 데이터 샘플링

Fig. 5는 무선 경사센서 모듈로부터 데이터를 샘플링하는 과정을 나타낸다. 초기(init) 과정에서 타이머 컴포넌트 등 사용되는 컴포넌트들을 초기화하며 프로그램을 시작한다. 타이머는 정해진 시간마다 이벤트를 발생시키고 이벤트 발생시 ADC(Analog to Digital Converter) 컴포넌트에서 반복적인 연산으로 데이터 산출을 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다. 데이터 샘플링이 완료되면 이벤트가 발생하며 이벤트 처리 루틴에서 패킷에 데이터를 적재하고 데이터 버퍼를 채운 후 베이스 스테이션으로 전송한다. 전송 과정에서 패킷 전송이 완료되었는가를 검사하여 패킷 전송 실패 시 재전송하여 데이터 전송 오류를 줄였다.

2.5 패킷

TinyOS는 Active Message를 사용한다. Active Message란 패킷 내에 메시지 타입을 포함하고 있어, 수

신축에서 타입에 따라 명령을 수행하는 방법이다. 본 논문에서는 TinyOS의 Active Message 구조체인 TOS_Msg 패키지의 데이터 영역에 호스트 PC의 모니터링 툴인 오실로스코프의 메시지 패킷(OscopeMsg)을 포함 시켜 패킷을 구성하였다.

2.6 자료흐름

시스템 초기화시에 ADC 컴포넌트의 샘플링 레이트와 타이머를 결정한다. 타이머 구동 시, 특정 시간마다 반복하여 이벤트를 발생시키도록 한다. 타이머 컴포넌트에서 Timer Event가 발생하면, 이벤트 처리 루틴(Timer.fired)의 ADC 컴포넌트는 모트에 연결된 MCU(Micro Controller Unit)의 아날로그 채널을 통해 Tiltmeter 센서의 데이터를 샘플링하고, 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다. 변환된 데이터는 Comm 컴포넌트에서 RF를 이용해 베이스 스테이션으로 전송된다. 베이스스테이션은 수신된 데이터를 Serial Forwarder 인터페이스를 통해 호스트 PC로 전달하고, 호스트 PC의 오실로스코프 프로그램에서 데이터를 수신하여 데이터베이스에 저장하는 역할을 한다. OscopeMsg의 MoteID와 Channel에 따라서 각각의 그래프를 출력한다. Fig. 6은 시스템의 자료 흐름도를 나타낸다.

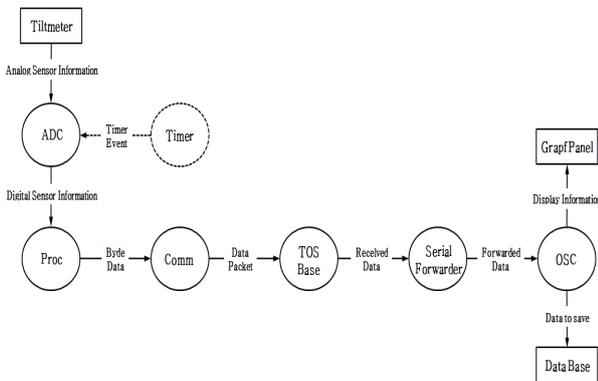


Fig. 6 Data flow chart



Photo 1 Test of sensor's ability at free space

3. 센서 네트워크 통신 실험

센서 네트워크 실험(조병완 등, 2009)에서는 먼저 센서의 성능을 실험하고, 실험결과 값과의 비교를 위하여 Photo 1과 같이 자유 공간에서 통신 품질 능력을 실험하였다.

실험 결과 자유공간에서의 송수신은 200m의 운동장 끝까지 다다를 때까지 가능했다. 그 이상은 실험을 할 수 없었으므로, 이에 본 실험에서는 자유공간에서 200m이상의 수신을 보인다고 보았다. 이러한 결과는 센서를 구조물에 매입하지 않고, 외부에 노출시켜 사용이 가능함을 보여준다.

통신거리 실험결과 120m일 경우 통신품질은 86%, 200m일 경우에는 통신품질이 56%로 120m, 200m 모두 통신품질이 50% 이상으로 도로 구조물에 적용하기 양호하다고 검토된 것으로 나와 있다.(Photo 2, Photo 3 참조)

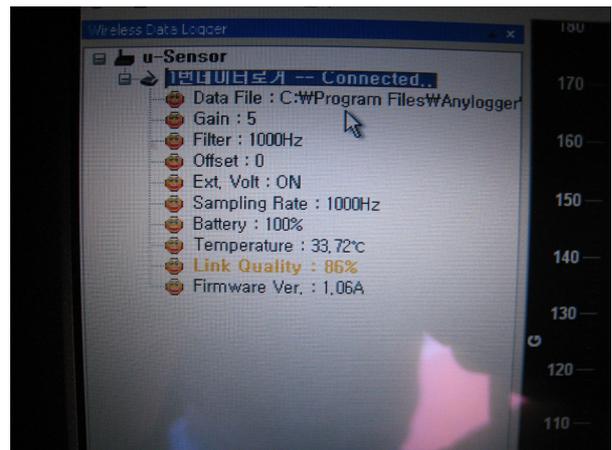


Photo 2 Communication quality in 120m

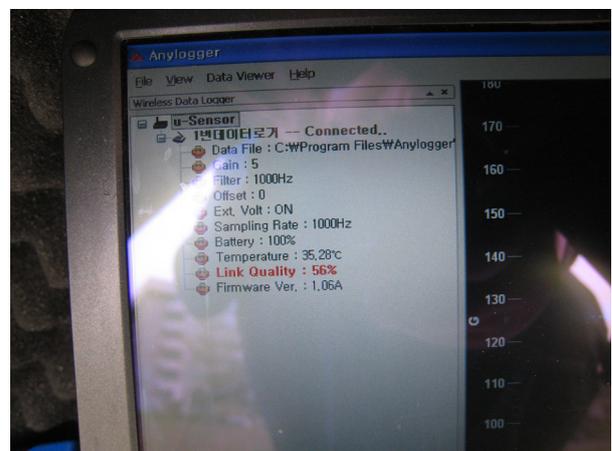


Photo 3 Communication quality in 200m

4. 무선 처짐 센서와 LVDT 비교 실험

4.1 실내 비교 실험

H-beam 형태의 단순보에 단계별 하중재하에 대한 경사변형과 처짐량을 무선 경사센서 모듈과 LVDT를 사용하여 측정하여, 각각의 오차 범위를 비교하여, 실제 적용 여부를 판단하기 위해 각각의 측정결과를 구조해석프로그램(MIDAS)으로 비교하였다.

단순보 H-Beam(100×100×5.7/7.5)의 길이는 8m이며 하중은 10kg의 강제 블럭 5개를 사용하였으며, 경간중양에 재하 하였다.

4.2 H-beam의 특성

- Section Name H-100× 100× 5.7× 7.5
- E = 2.1×10^5 MPa
- Steel standard KS-Civils
- material type : Steel

H-beam의 단면도와 모식도는 Fig. 7, 8과 같다.

4.3 하중 재하

실험을 위해 제작한 8m의 H-beam 형태의 단순보 중앙에 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg의 5개의 하중을

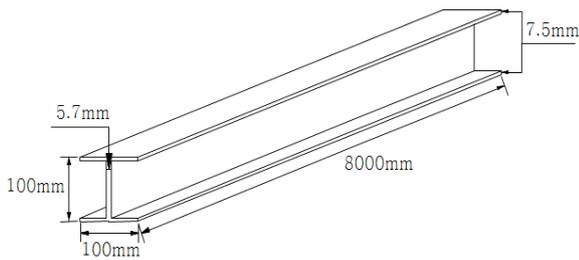


Fig. 7 H-Beam form

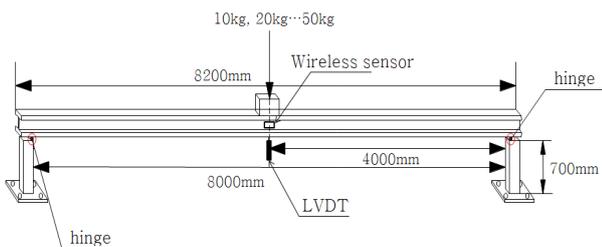


Fig. 8 H-beam mimetic diagram

단계별로 가한 후 처짐량 및 경사변형을 측정하였다. 여기서는 무선 처짐 센서의 성능을 LVDT와 비교 하기 위한 실험으로, 양 쪽의 처짐이 대칭이라고 가정하여 중앙 부에서 1M 간격으로 무선 경사센서 모듈과 LVDT를 부착하여 한쪽 방향만 계측하였다.(Photo 4 참조)

5. 실험 결과

5.1 구조해석(MIDAS)결과

5.1.1 해석모델 및 구조해석 결과

하중단계별 재하에 따른 교량의 이론적인 처짐량과 경사 변형량을 구하기 위하여 다음과 같이 모델링하였다. 양단 지점은 힌지로 모델링 하였으며, 이상적인 교량이 양단 대칭인 점을 고려하여, 양단의 처짐이 같다고 가정하고, 해석결과를 한쪽 면에 대해서만 정리하였다. 재하 하중 중 50kg에 대한 처짐 형상은 Fig. 9와 같다.



Photo 4 Loading shape

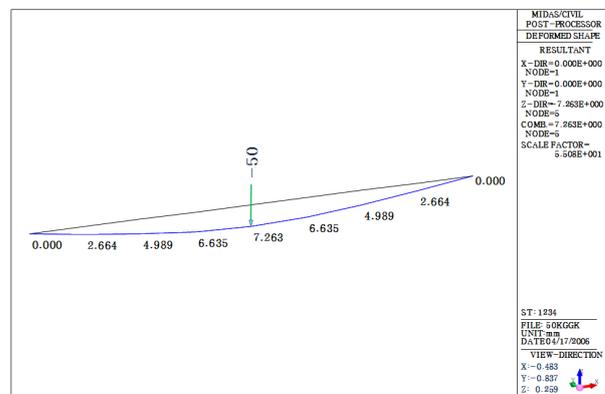


Fig. 9 Deflection diagram of 50kg loading

5.2 실험 결과

5.2.1 경사측정 결과

하중재하 단계별로 무선 경사센서 모듈에서 발생한 경사각의 변형은 Table 2와 같고, Table 3을 통해 Wireless Tiltmeter의 경사각 오차율을 분석하였다.

Table 2와 Table 3의 실험 값을 그래프로 나타내면 Fig. 10과 같다.

구조해석 프로그램을 통해 하중단계별 끝점의 처짐각을 통해서 간단한 비교를 하였다. 1~3%대의 오차가 발생하

Table 2 Degree deformation by loading steps

loading	spot	Degree
10kg	0	-0.03050
	L/8	-0.02550
	2L/8	-0.01925
	3L/8	-0.01050
	Center	0.00150
20kg	0	-0.05975
	L/8	-0.05425
	2L/8	-0.03875
	3L/8	-0.01900
	Center	0.00375
30kg	0	-0.09050
	L/8	-0.07800
	2L/8	-0.06100
	3L/8	-0.02400
	Center	0.00300
40kg	0	-0.12225
	L/8	-0.10300
	2L/8	-0.08275
	3L/8	-0.03200
	Center	0.00500
50kg	0	-0.15350
	L/8	-0.13325
	2L/8	-0.09725
	3L/8	-0.04200
	Center	0.00675

Table 3 Comparison of end point's degree by loading steps

loading	spot	Degree	
		Midas	Wireless Tiltmeter
10kg	0	-0.031116	-0.03050
20kg	0	-0.062233	-0.05975
30kg	0	-0.093349	-0.09050
40kg	0	-0.124466	-0.12225
50kg	0	-0.155582	-0.15350

였지만, 무선센서네트워킹을 이용한 Wireless Tiltmeter 이 매우 일치함을 보여주고 있다.

5.2.2 처짐측정 결과

구조해석 프로그램을 통한 이상적인 처짐 량과 Wireless Tiltmeter 성능을 비교하기 위한 LVDT 처짐 실험 량과 Wireless Tiltmeter의 하중단계별 경사측정결과로부터 얻어진 처짐량을 정리하여 비교하면 Table 4와 같고, 그래프로 나타내면 Fig. 11, Fig. 12와 같다.

단순보에만 적용가능한 방법인 탄성하중법으로 단순보의 임의 점에 발생하는 전단력과 휨모멘트가 각각 실제하중에 의해 그 점에 발생하는 처짐각 및 수직 처짐과 같다는 원리를 이용한 방법으로 실험의 적용된 각각의 점의 처짐각과 처짐은 다음의 식을 통해 구했다.

$$\theta_C = S_C = R_{ay'} - A_{AC} \quad (1)$$

$$y_C = M_C = R_{ay'} \cdot x - A_{AC} \cdot \overline{x}_C \quad (2)$$

여기서, A_{AC} 는 구간내에 작용하는 탄성하중의 합력이고, \overline{x}_C 는 C점으로부터의 거리이다.

5.3 실험결과 분석

단순보 실험의 하중단계별 재하에 따른 처짐 측정결과와 구조해석결과를 비교분석 하였으며, 이러한 비교분석 결과로부터 처짐 측정의 효용성을 판단하였다.

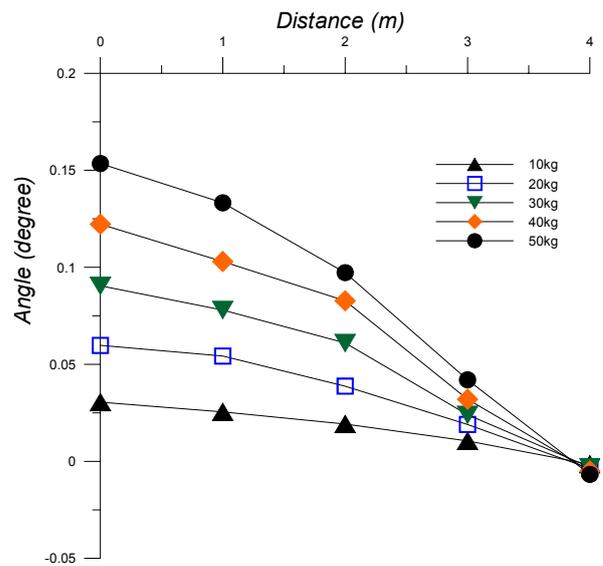


Fig. 10 Degree deformation by loading steps

Table 4 Comparison of Midas, LVDT, Wireless tiltmeter measurement by loading steps

loading step	spot	(mm)		
		Midas	LVDT	Wireless Tiltmeter
10kg	L/8	0.533	0.530	0.532
	2L/8	0.998	0.980	0.977
	3L/8	1.327	1.290	1.313
	Center	1.453	1.470	1.497
20kg	L/8	1.066	1.045	1.043
	2L/8	1.996	1.985	1.990
	3L/8	2.654	2.650	2.666
	Center	2.905	2.920	2.998
30kg	L/8	1.599	1.590	1.580
	2L/8	2.993	2.955	2.941
	3L/8	3.981	3.970	4.006
	Center	4.358	4.340	4.424
40kg	L/8	2.131	2.125	2.134
	2L/8	3.991	3.980	3.931
	3L/8	5.308	5.300	5.376
	Center	5.810	5.780	5.934
50kg	L/8	2.664	2.660	2.679
	2L/8	4.989	4.980	4.977
	3L/8	6.635	6.630	6.702
	Center	7.263	7.230	7.435

5.3.1 처짐 비교분석

Table 5, Fig. 13 참조

5.3.2 분석결과

상기와 같이 H-Beam을 이용하여 무선 경사 센서 모듈을 이용하여 경사 변형량을 측정하고, 이를 LVDT를 이용하여 측정한 처짐량과 비교분석하여 경사변형 측정으로 인한 환산 처짐량의 효용성을 판단하였다.

LVDT에 의한 처짐량 측정결과와 무선 경사 센서 모듈에 의한 경사변형 측정결과로부터 산정한 환산 처짐 결과를 비교한 결과, 해석결과에 대한 측정결과의 오차비율이 최대 약 3%정도 발생한다. 이는 실험 환경 여건상 외부 환경 변화에 따른 디지털 신호 타이밍이 일시적으로 상대 위치가 어긋나 지터(Jitter)가 발생된 것으로 판단된다. 이 값은 처짐량에 비교할 때 매우 작은 값으로 구조해석, LVDT에 대한 처짐 결과와 무선센서네트워크를 이용한 Wireless Tiltmeter의 환산측정값이 매우 일치함을 보여 주고 있다.

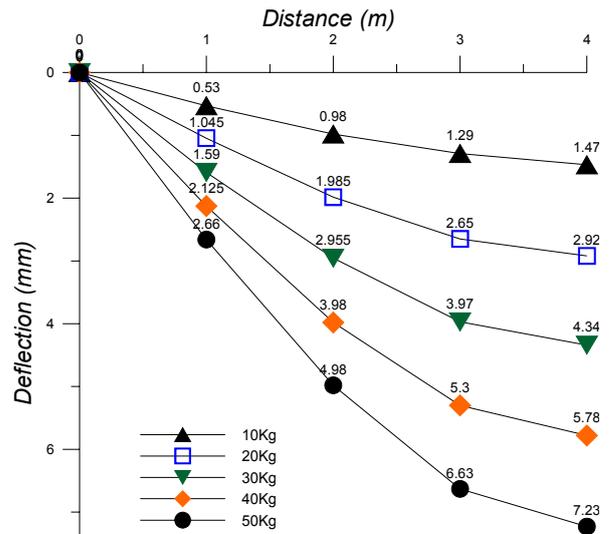


Fig. 11 Deflection measurement result by LVDT

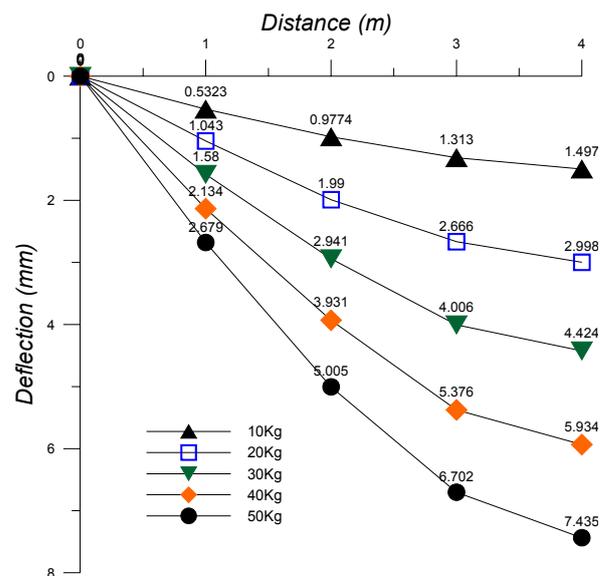


Fig. 12 Deflection measurement result by Wireless Tiltmeter

6. 결론

본 논문에서는 기하학적인 구조물의 형상변화를 추정하기 위해, H-beam형태의 단순보를 제작하고 무선 경사 센서 모듈과 LVDT를 사용하여 단계별 하중재하에 대한 경사변형과 처짐량을 측정하고, 각각의 측정결과를 구조 해석프로그램(MIDAS)을 통해 비교 및 분석하였다. 해석결과, 개발된 무선 경사 센서 모듈은 기존의 LVDT를 이용한 결과 값과 오차비율이 최대 약 3%정도 발생하였다. 이 값은 매우 작은 값으로 구조 해석에 있어서 신뢰 할 수

Table 5 Comparison of Midas, LVDT, Wireless tiltmeter measurement error by loading steps

loading (kg)	deflection (mm)	Midas (A)	LVDT			Wireless Tiltmeter		
			deflection (B)	error (B-A)	error rate (%)	deflection (C)	error (C-A)	error rate (%)
10kg	L/8	0.533	0.530	-0.003	0.563	0.532	-0.001	0.188
	2L/8	0.998	0.980	-0.018	1.804	0.977	-0.021	2.104
	3L/8	1.327	1.290	-0.037	2.788	1.313	-0.014	1.055
	Center	1.453	1.470	0.017	1.170	1.497	0.044	3.028
20kg	L/8	1.066	1.045	-0.021	1.970	1.043	-0.023	2.158
	2L/8	1.996	1.985	-0.011	0.551	1.990	-0.006	0.301
	3L/8	2.654	2.650	-0.004	0.151	2.666	0.012	0.452
	Center	2.905	2.920	0.015	0.516	2.998	0.093	3.201
30kg	L/8	1.599	1.590	-0.009	0.563	1.580	-0.019	1.188
	2L/8	2.993	2.955	-0.038	1.270	2.941	-0.052	1.737
	3L/8	3.981	3.970	-0.011	0.276	4.006	0.025	0.628
	Center	4.358	4.340	-0.018	0.413	4.424	0.066	1.514
40kg	L/8	2.131	2.125	-0.006	0.282	2.134	0.003	0.141
	2L/8	3.991	3.980	-0.011	0.276	3.931	-0.060	1.503
	3L/8	5.308	5.300	-0.008	0.151	5.376	0.068	1.281
	Center	5.810	5.780	-0.030	0.516	5.934	0.124	2.134
50kg	L/8	2.664	2.660	-0.004	0.150	2.679	0.015	0.563
	2L/8	4.989	4.980	-0.009	0.180	5.005	0.016	0.321
	3L/8	6.635	6.630	-0.005	0.075	6.702	0.067	1.010
	Center	7.263	7.230	-0.033	0.454	7.435	0.172	2.368

있는 수준이라고 판단되고, 실내 실험을 통하여 검증된 무선 경사 센서는 전기적인 노이즈가 없기 때문에 실제 교량 구조물에 적용이 가능하다. 또한, 제한된 측정점과 변위계를 설치한 개소에 한정되었던 처짐의 측정이 무선 센서를 이용해 측정점에 관계 없이 측정이 가능하게 되었다. 따라서, USN 기반의 무선 경사 센서모듈을 이용한 처짐 추정 방법은 앞으로의 구조 안정성 평가 이용에 적합한 것으로 판단 된다. 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 무선 센서 네트워크를 이용한 무선 경사 센서 모듈을 이용하여 실내 실험을 통해 하중단계에 따른 교량과 비슷한 형태로 제작한 단순보의 처짐값을 다중 측정하였으며, 기존의 변위 측정 자기 센서(LVDT)에 의한 처짐값과 비교할 때 거의 동등한 신뢰성을 갖는 것으로 확인되었다.
- (2) 변위 측정 자기 센서(LVDT)에 의한 처짐량 측정결과와 무선 경사 센서 모듈에 의한 경사변형 측정결과

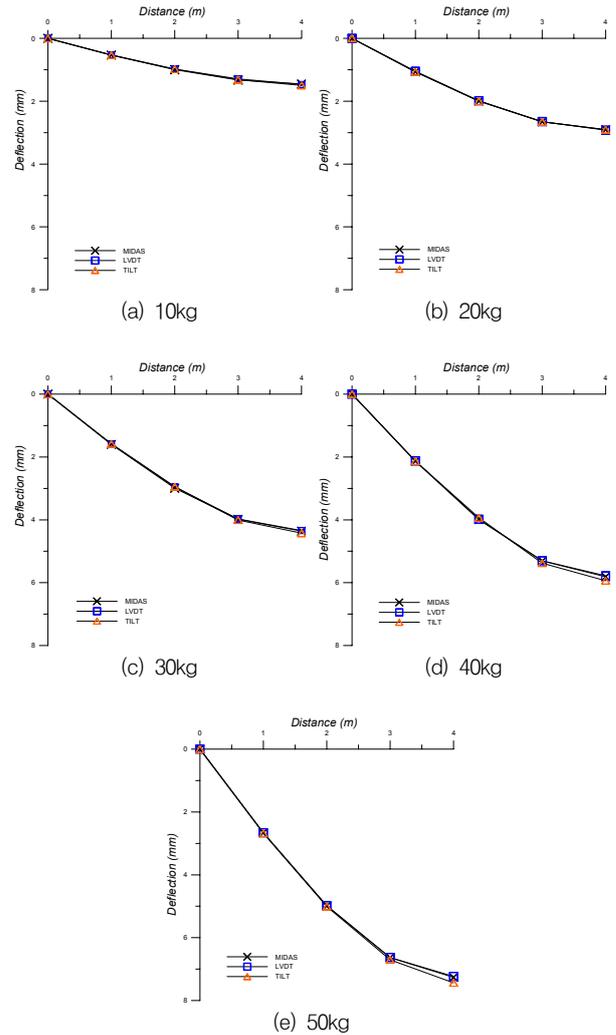


Fig 13. Results of loading test

- 로부터 산정한 환산 처짐 결과를 비교한 결과, 해석결과에 대한 측정결과의 오차비율이 최대 약 3%정도 발생한다. 이는 실험 환경 여건상 외부 환경 변화에 따른 디지털 신호 타이밍이 일시적으로 상대위치가 어긋나 지터(Jitter)가 발생된 것으로 판단된다.
- (3) 본 연구에서는 센서 네트워크를 이용한 무선 경사센서 모듈 개발을 통해 유선에서의 신속성, 신뢰성 및 노이즈 문제를 해결하였다.
- (4) 이는 무선 센서 네트워크를 이용하여 단순한 H-beam 형태의 보에 대한 처짐을 추정한 것으로서, 실제 일반적인 교량 적용성을 위하여 연속교에 대한 이론 전개 및 검증 실험이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 권오혁, "FCM 교량의 골재 체적비를 고려한 처짐 예측 및 유비쿼터스 활용방안 연구" 한양대학교 박사학위 논문, 2006.
2. 김남식, 조남소, "광섬유 브래그 격자센서를 이용한 교량의 수직처짐 추정" 대한토목학회논문집, 제22권 제6-A호, 2002, pp.1357-1365.
3. 문현석, "유비쿼터스 정보기술의 활용을 통한 교량유지관리정보체계 발전 모델 구성", 경상 대학교 석사 학위논문, 2006.
4. 조병완, 박정훈, 윤광원, 김현, "유비쿼터스 도로 중앙 분리대 시스템 개발" 대한토목학회논문집, 제29권 제4D호, 2009, pp.499-507.
5. A. Basharat, N. Catbas, M. Shah, "A Framework for Intelligent Sensor Network with Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges" Proceedings of Third IEEE International Conference on PerCom, 2005.
6. D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Overview of Sensor Networks" IEEE Computer Society, 2004, pp.41-49.
7. Krishan Chitalapudi, Tat Fu, Jeongyeup Paek, "Monitoring Civil Structures with a Wireless Sensor Network", University of Southern California, IEEE Computer Society, 2006, pp.27-33.

(접수일자 : 2010년 8월 20일)

(수정일자 : 2010년 12월 16일)

(심사완료일자 : 2011년 1월 11일)

요 지

대부분의 구조물 안전성 평가에 있어서 전체적인 거동을 나타내는 인자, 즉 기하학적인 형상 변화를 추정하는 것은 매우 중요하다. 종래에는 현장에서 교량의 처짐을 손쉽게 측정할 수 있는 적절한 수단과 방법의 부재로 말미암아, 처짐의 측정이 제한된 측정점에 국한되었고, 또한 변위계를 설치한 개소에 한정되었다. 따라서, 본 연구에서는 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기반의 무선 경사센서모듈(Wireless Tiltmeter)을 통해 건설구조물의 처짐을 추정하는 방법을 개발하고, 기존의 변위 측정 자기 센서(Linear Variable Differential Transformer: LVDT)를 이용해 측정하는 기술 대신, 유비쿼터스 개념의 무선 경사 센서 모듈의 경사 변화에 따른 저항의 변화를 전압의 형식으로 출력하고, 교정계수를 이용하여 실제 처짐각 및 처짐으로 환산하여 최대 처짐을 구하도록 개발된 유비쿼터스 기반의 처짐 추정방법을 검증하기 위하여 실내 실험을 수행하였고, 그 결과, 측정점에 상관없이 균일한 측정이 가능하고, 기존의 방법과 거의 일치하는 값을 나타내는 것으로 확인되었다.

핵심 용어 : RFID/USN, 무선경사센서, 처짐, 처짐각, 무선센서네트워크
