

근거리 무선통신을 이용한 대형토목구조물의 모니터링시스템

Health Monitoring System of Large Civil Structural System Based on Local Wireless Communication System

허광희*

최만용**

김치엽***

Heo, Gwanghee

Choi, Man-Yong

Kim, Chi-Yup

Abstract

The continuing development of the sensors for the measurement of the safety of structures has been making a turning point in measuring and evaluating the larger civil structural system as well. However, there are still remaining problems to be solved for the extremely large structure because the natural damages of those structures are not so simple to be monitored for the reason of their locational and structural conditions. One of the most significant problems is that a number of cables which connect the measuring system to the analyzer are liable to distort actual data.

This paper presents a new monitoring system for large structures by means of a local wireless communication technique which would eliminate the possibility of the distortion of data by noise in cables. This new monitoring system employs the wireless system and the software for data communication, along with the strain sensor and accelerometers which have been already used in the past. It makes it possible for the data, which have been chosen by the central controlling system from the various sensors placed in the large civil structures, to be wirelessly delivered and then analyzed and evaluated by decision making system of the structures.

Key Words : Structural System, Sensor, Damage, Wireless Communication

1. 서 론

잠재적인 대형 재해는 허리케인, 태풍, 돌풍 그리고 지진등이 대표적인 원인으로 1989년,

Loma Prieta의 지진은 천만달러이상의 구조적 손해를 냈고, 아마도 가장 유명한 구조물의 붕괴 중의 하나는 오클랜드에서 일어난 지진으로 1.5 마일 정도가 두 개의 층으로 갈라졌던 Cypress

* 정회원, 건양대학교, 토목공학과, 교수

** 정회원, 한국표준과학연구원, 책임연구원

*** 정회원, 한국표준과학연구원, 선임기술원

● 본 논문에 대한 토의를 2000년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2000년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

고속도로 사건일 것이다. 이외에도 일본의 고오베 지진, 최근의 터키 지진 등이 대표적인 재해이다. 이러한 대형재해를 줄이기 위하여 대형토목 구조물에 구조물과 재료 자체에 Smart한 개념을 도입하기 시작했다. 재해로부터 구조물의 건전도를 모니터링 하기 위해서 Condition-Based 모니터링이 현재까지 적용되어왔다⁽¹⁻³⁾. 이러한 모니터링에는 주로 가속도계와 같은 센서, 데이터 획득, 데이터 변환, 구조물의 손상도 평가를 위한 데이터 분석과정으로 이루어진다. 이와 같은 과정에서 일반적으로 사용되는 센서는 스트레인, 가속도, 변위, 온도, 풍속 그리고 경사계 등이 사용된다. 구조물에 부착된 센서로부터 데이터를 가져오는 것은 기본적으로 데이

터 획득 시스템에 연결된 유선에 의존한다. 이러한 예는 최근 유선연결을 이용한 원격시스템⁽²⁾ 모니터링 개발에서 볼 수 있다. 또한 손상을 측정하기 위하여 중앙통제소에 보내기 위해 근거리 지역 네트워크(LAN)의 사용하기도 한다⁽⁴⁻⁶⁾. Table 1은 현재 사용 중인 구조물에 설치된 모니터링 시스템을 정리하였다⁽⁴⁻⁶⁾. 이 표를 통해 대부분의 모니터 시스템이 주로 교량에 설치되어있고 아직 Condition-Based 모니터링의 수준임을 알 수 있다. 그러나 실제 모니터링에서는 정확한 데이터가 정확한 모니터링을 가능하게 한다. 그러나 실제로는 특히 계측기와 분석기 사이에 연결되어진 수많은 유선은 실제 데이터를 變質 시키는 가장 큰 요인이다⁽¹²⁻¹⁵⁾

Table 1 Condition-Based 모니터링시스템

Structure	Researchers	Year	Location	Censors and actuators	Data acquisition	Data retrieval	Processing
Many highway	Kodindouma and ldriss	8/1996	Unknow n	fiber optic sensors	FLS3000 (Electrophonto nic Corp.)	locally	Strain based
Vincent Tomas Bridge	Abel-Ghaffar et al	12/1995	Los Angeles	Unknown	19 bit A/D	Cellular	FEM based
HaengJu Bridge	Chan and Kim	8/1996	Seoul, Korea	strain gauges, displacement thermometers, accelerometers	PC-based custom made	Local and remote wireless telemetry, wired transmissin wired modems	Sensor level monitoring
Sunshine Bridge	Shahawy and Arocklasamy	5/1996	Florida	strain, temperature, displacement	Unknown	Locally and remotely by wired modem	Sensor level monitoring
Kingston Bridge	Robison	1/1996	Scotland	temperature, displacement, windspeed	Unknown	Remotely via wire	Sensor level monitoring (alarms)
1490/Conrail Bridge	Alampalli and Fu	8/1994	New York State	Unknown	Unknown	Remotely via wire	Modal parameter analysis
Winooski One Dam	Fuhr et al	8/1996	Vermont	fiber optic sensors	Microcomputer (74 sensors)	Remote via wire (internet)	Static strains
Light Pole	Ballard and Chen	8/1996	Orchid Park, NY	strain, accelerometers temperature, wind speed	PC-based	Remotely via wire (internet)	Sensor level monitoring

따라서 본 논문은 근거리 무선 통신 기술을 이용하여 대형 토목 구조물의 상태를 모니터링하기 위한 새로운 대형구조물의 모니터링 방법을 논의한다. 특히 대형 토목 구조물을 위한 모니터링 시스템은 무선 모듈과 데이터 통신 소프트웨어, 기존의 스트레인 센서와 가속도 센서를 사용하도록 설계되고 시험된다.

2. 무선전송 시스템 설계

무선출력은 전파법규에 의해 임의로 사용할 수 있는 출력이 10mW정도로 규정되어 있으며 따라서 전송거리의 확대를 위해서는 수신 감도를 향상시키고 Gain을 갖는 안테나 구조가 필요하며 장거리 전송을 위해서는 허가 범위 내에서 최대출력(5W)을 사용할 수 있다. 본 회로는 집적화된 1 Chip 소자를 이용하여 무선전파를 사용할 수 있는 무선 모듈로서 저전력 소형으로 제작이 가능하며 입력단에 표준적인 로직 신호레벨을 연결하면 단독장치로 사용가능하고 Micro Controller와 접속하여 프로그램에 의한 지능화된 무선제어가 가능하다.

무선모듈은 Narrow_band Dual Conversion MC3363을 사용하여 설계하였다. 주파수 범위는 200MHz에서 450MHz까지 사용할 수 있도록 하였다.⁽⁷⁻¹¹⁾ 안테나로부터 입력된 수신신호 39pF와 0.22uH의 LC Tank회로에 의해 50 Ω으로 입력 임피던스를 정합하며 1차 RF증폭을 한다. 증폭신호는 1k의저항 부하를 통해 X-tal의 1'st Local Oscillator에 의해 변환되며 10.7MHz의 1차 중간주파수로 변환한다. 단 채널의 경우 크리스탈로 사용하며 다 채널의 경우 별도의 PLL을 사용하여 채널 간격별로 로컬 주파수를 변화시킨다. 본 시스템은 단 채널로 설계하였다. 26번과 25번 사이에 연결된 부분의 핀이 Local신호 입력단이다. 10.7MHz는 F2의 세라믹 필터를 통과하며 455kHz의 2'nd Oscillator(X1)에 의해 중간 주파수로 변환된다. 455kHz의 세라믹 필터를 거친 후 반송파 검출을 위한 Squelch 회로에 입력되고

이 레벨은 반 고정 저항에 의해 가변되도록 하였다. 최종 신호는 Quadrature Tank 회로에 의해 복조되며 파형 정형된 데이터 신호로 출력된다.

455kHz filter는 6dB 점에서 ± 10 kHz Bandwidth를 갖고 $f_{mod}=1$ kHz에서 1.2%의 왜곡을 갖으며 최대 (S+N)/N은 60dB가 얻어진다. 전원전압이 2V에서 7V 까지 가능하고 5V일 때 약 31mW의 전력이 소모된다. MC145152 PLL과 MC12017 Dual Modules Prescaler, VCO를 사용하면 20kHz의 채널간격으로 256채널이 가능하며 충분한 Local oscillator 레벨에 의해 수신 감도가 향상된다. PLL은 입력에 8핀의 Binary 조합에 의해 256개의 채널을 생성시키며 VCO 출력은 프리스케일러를 통해 PLL에 입력된다. 설정된 채널에 의해 합성된 주파수 출력은 바이폴러형의 고속 OP AMP에 의해 Loop filter를 통해 VCO의 Tuning Voltage로 공급된다. 이 전압은 핀 27번에 공급되어 내부의 Varactor 인가전압을 변화시킴으로 내부 주파수를 제어할 수 있다. Fig. 1에 설계된 회로 구성을 나타내었다.

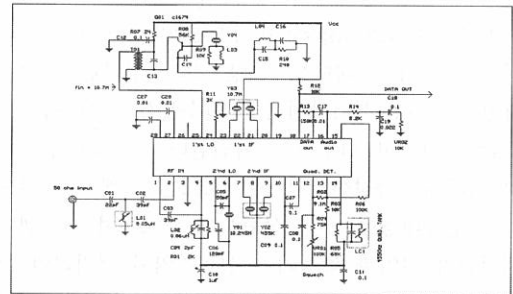


Fig. 1 Wireless Transmitter Circuit

3. 대형토목구조물의 모니터링시스템 시험결과

Fig. 2, 3에서 보여주는 바와 같이 구조물의 모니터링 시스템에서 계측된 신호는 데이터 획득장치를 통하여 분석시스템으로 전송된다. 신호의 전송과 재현을 위하여 산업용 One_board PC로 H/W

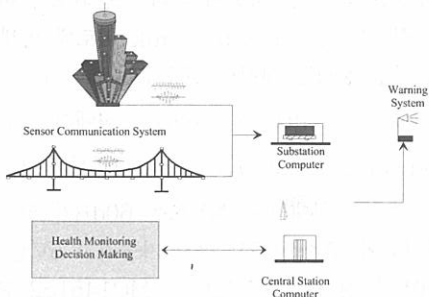


Fig. 2 Health Monitoring System Concept

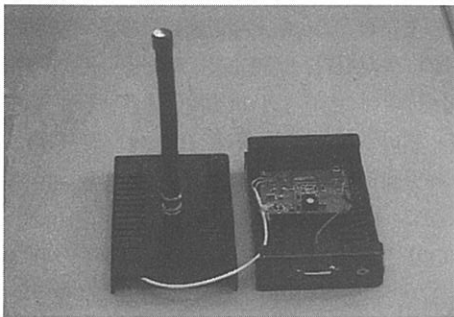


Fig. 3 Prototype of wireless transmitter

를 설계하였으며 C_builder를 이용하여 프로그램을 작성하였다. 모니터 상의 제어 패널을 사용하여 전송속도를 1200bps에서 115200bps까지 선택하여 호스트와 슬레이브시스템 간의 정확한 전송을 확인하였으며 제어판에서의 변수설정이 시스템 상호간에 정확히 할당됨을 확인한다. 신호의 전송은 디지털화된 측정신호와 제어코드를 함께 전송함으로써 전송내용에 대한 신뢰성을 확보하여 시스템이 센서설치 지역과 측정기기 설치지역이 근거리인 현장측정과 지역적으로 선로 가설이 불가능한 지역에서 측정을 요하는 경우에 적용될 수 있도록 구현하였다. 실험실 내의 외팔보에 장착된 스트레인 게이지를 사용하여 임의의 변형을 가하여 얻어진 신호파형을 이와 같은 시스템을 사용하여 가속도 및 스트레인 데이터를 1200bps-4800bps로 무선 송신시스템을 통하여 전송한 결과를 Fig. 7에 보여준다. 따라서 이러한 결과는 장대형 구조물에 근거리 무선 통신기법의 적용가능성을 제시하고있다.

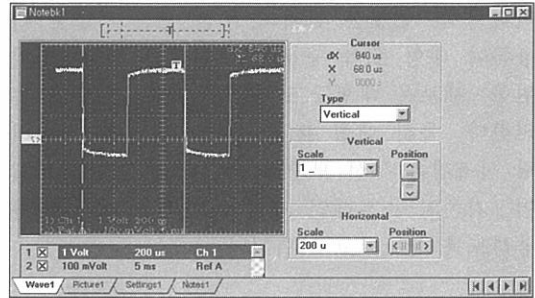


Fig. 4 Wireless module receive data with 1200bps

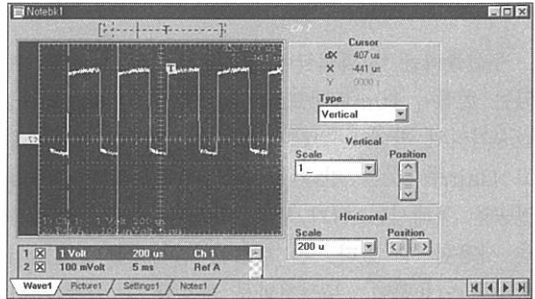


Fig. 5 Wireless module receive data with 2400bps

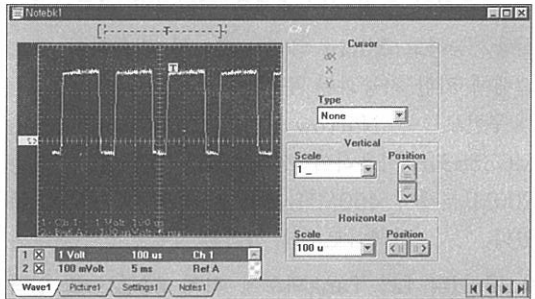


Fig. 6 Wireless module receive data with 4800bps

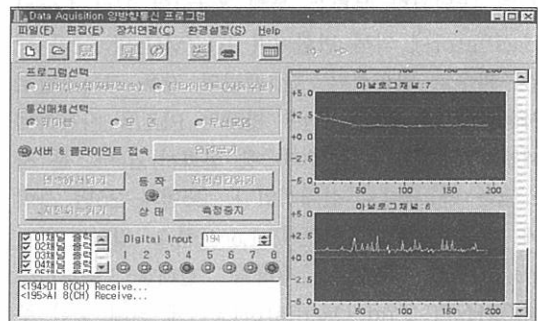


Fig. 7 Wireless module receive data with 4800bps (350 ohm Full bridge out with cantilever beam)

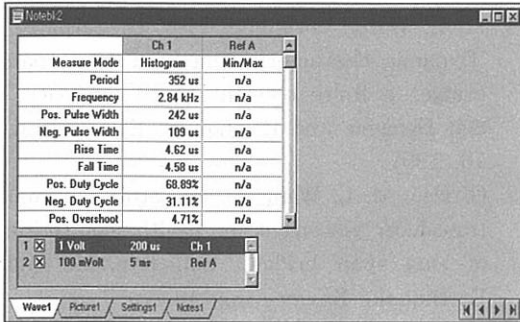


Fig. 8 Wireless module received data sheet

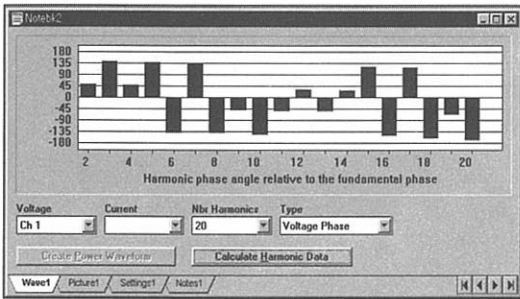


Fig. 9 Wireless module received phase data sheet

4. 요약 및 결론

본 연구를 통하여 아날로그 16채널(Differential 8채널), 디지털 8채널의 센서 입력신호를 다중화하여 한 쌍의 유선 전송선로를 통해 1000m (Repeater 사용시 2000m)의 거리에 측정 신호를 전송, 복원하여 저장 할 수 있는 전송 시스템을 먼저 연구개발에 성공하여, 이러한 알고리즘을 무선 전송 시스템에 적용하여 전파법규에서 허용한 소출력 무선(447MHz, 10mW의 출력)으로 약500m의 전송거리를 구현하는데 성공하였다. 또한 이러한 주파수 대역은 5W의 출력으로 2km이상의 전송거리를 확보할 수 있음을 보여주었다. 이 시스템의 특성은 다음과 같다.

- 1) 신호의 전송과 재현을 위하여 산업용 One-board PC로 H/W를 설계.
- 2) 전송속도를 1200bps에서 115200bps 까지 선택하여 전송속도를 컨트롤 함.

3) 신호전송의 디지털화.

따라서 본 시스템은 센서설치 지역과 중앙통제소가 근거리인 현장측정과 지역적으로 선로 가설이 불가능한 지역에서 측정을 요하는 경우에 매우 효과적이며 경제적인 방법이 될 수 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

1. Abdel-Ghaffar A M, Masari S F and Nigbor R L 1995 Preliminary report on the Vincent Thomas Bridge monitoring test *Civil Engineering Department, University of Southern California Report M9510*
2. Alampalli S and Fu G 1994 Remote bridge monitoring system for bridge condition *Engineering Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation Report 70*
3. Ballard C M. and Chen S S 1996 Automated remote monitoring of structural behavior via the internet *SPIE 3rd Annu. Smart Structures and Materials Conf. (San Diego, 1996)*
4. Chang S-P and Kim S 1996 Online structural monitoring of a cable-stayed bridge *SPIE 3rd Annu. Smart Structures and Materials Conf. (San Diego, CA, 1996)*
5. Doebling S W, Farrar C R, Prome M B and Shevitz D W 1996 Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review Los Alamos National Laboratory Report LA-13070-MS
6. S.Benedetto, E. Biglieri, and V. Castellani, "Digital Transmission Theory", prentice-hall 1993.
7. G.Calhoun, Wireless Access and the Local Telephone Network, Artech House, 1992
8. George C. Barney, "Intelligent Instrumentation",

-
- prentice-hall 1990.
9. 전광일, "데이터 통신 시스템", OHM사 1997
 10. 서길주, "무선통신 시스템 구축", OHM사 1997
 11. 왕지균, "국내전파법 강의", OHM사 1997
 12. Gwanghee Heo, "An Automated Health Monitoring System for Large Civil Structural Systems," Ph.D. Dissertation, University of New Mexico, 1996.
 13. 허 광희, 최만용, "계측된 구조물의 동적인자에 의한 손상검출기법," 한국구조물진단학회, 제2권, 제4호, 1998.
 14. M. L. Wang, Gwanghee Heo, D. Satpathi, "Dynamic characterization of a long span bridge: a finite element based approach," Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 16, 1997.
 15. G. Heo, M. L. Wang, D. Satpathi, "Optimal transducer placement for health monitoring of long span bridge," Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 16, 1997

(접수일자 : 1999. 10. 28)