

웹 기반 교량 모니터링 시스템의 설계 및 구현

홍순관*, 양옥렬**

요약

교량의 안전도를 원격으로 모니터링 할 수 있는 안전감시 시스템을 웹 기반으로 개발하였다. 센서 데이터의 실시간 처리를 위한 미들웨어로서 BMSWare를 구현하였다. 개발된 시스템은 웹 상에서 동작하므로 교량에 대한 일반적인 안전관리 시스템으로 사용될 수 있다. 교량의 지리적인 위치에 따른 환경변화에 대하여 프로그램의 재작업 없이도 센서와 로거로부터 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었다. 개발된 시스템의 주요 기능은 데이터 획득, 처리, 선택된 데이터의 백업 및 무선 전송 등이다. 본 논문에 따른 모니터링 시스템을 실제로 건설된 된 교량인 무영대교에 적용함으로써 신뢰성과 효율성을 확인하였다.

Design and Implementation of Bridge Monitoring System Based on Web

Soon-Kwan Hong*, Ok-Yul Yang**

ABSTRACT

We developed the remote bridge monitoring system for safety surveillance based on web. BMSWare(Bridge Management System Middleware) was implemented as a middle ware to process the sensor data in real time. The developed system operates on web, so the system can be used as a general safety surveillance system for bridges. In various environments according to geographical locations, it can obtain reliable data from various loggers and sensors without re-programming. The main functions of the system include the data acquisition, processing, backup and wireless transmission of the collected data. It was proved reliability and effectiveness of the monitoring system by application of real bridge(Mooyeong bridge).

Key Words : Bridge Monitoring System, BMSWare, Mooyeong, Sensor

* 혜전대학 디지털전자과(✉skhong@hj.ac.kr)

** 혜전대학 보건의료정보과

· 제1저자(First Author) : 홍순관 · 교신저자(Correspondent Author) : 홍순관

· 접수일(2011년 3월 7일), 수정일(1차 : 2011년 4월 7일), 게재확정일(2011년 4월 12일)

1. 서론

국토해양부 자료에 의하면, 2008년 현재 전국에는 총 25,792개에 이르는 교량이 있으며, 최근에 그 수가 급격히 증가하고 있다. 교량이 증가하는 이유는 도로 선형의 직선화 및 절개지 최소화 등을 통한 친환경적 도로를 건설하려는 사업방식의 변화 때문이다[1].

교량의 안전을 확보하기 위해서는 지속적인 안전점검과 보수작업이 필요하지만 교량들이 지방도, 일반국도, 고속도로에 다양하게 위치하고 있고, 관리주체, 접근성 등의 어려움으로 인하여 올바른 관리가 이루어지지 못하고 있다. 교량의 안전에 대한 관심과 관리수준이 점점 높아지면서 기존의 비효율적인 방식을 대체하기 위한 방안들이 검토되고 있다. 그 방안의 하나로 구조물의 건전도를 측정하는 센서들을 교량에 설치하고 로거(logger) 및 네트워크 장비들을 통합하여 모니터링 함으로써 교량의 안전을 관리하는 시스템이 개발되고 있다[2~5].

기존의 교량 모니터링 시스템은 지진계, 경사계, 가속도계, 처짐계 등의 센서를 교량에 부착하여 동적 및 정적 특성의 변화를 계측 및 분석하고, 결과값이 미리 설정된 임계값을 초과하는 경우에 경보를 발생하도록 되어 있다. 경보가 발생되면, 관리자는 결과값을 종합하여 교량의 이상 유무를 판단하도록 되어 있다. 이러한 기존의 교량 모니터링 시스템은 많은 수의 센서와 로거뿐만 아니라 계측관리를 위한 전용 프로그램을 별도로 개발해야 하기 때문에 시스템 구축에 많은 비용과 시간이 소요되고 관리 편의성이 크게 떨어지는 단점이 있다[6~9].

기존의 교량 모니터링 시스템은 주로 윈도우 기반으로 개발되어 왔으나 최근에는 사용상의 편리성과 높은 접근성으로 인하여 웹 기반 시스템이 많은 관심을 받고 있다. 또한 주로 정적인 데이터 출력만 가능하던 웹이 웹2.0 시대로 접어들며 Ajax와 같은 동적인 표현이 가능하게 되었기 때문에 보다 다양한 정보를 효

과적으로 관리자에게 전달할 수 있게 되었다.

현재 웹 기반의 교량 모니터링 시스템은 개발 초기 단계에 있으며, 규격화도 이루어지지 않은 상태이다. 본 논문에서는 교량의 건전도 변화를 간편하게 모니터링 할 수 있는 새로운 웹 기반 교량 모니터링 시스템과 센서로부터 획득된 데이터의 분석 기법을 개발하였다. 개발된 시스템은 실제로 건설된 교량에 설치되어 현재 시험 운영 중에 있다.

II. 시스템

본 논문에서는 시설물의 안전성을 확보하고 다양한 교량에 적용할 수 있도록 미들웨어인 BMSWare를 개발에 적용하였다. BMSWare는 웹 서버와 연동되면서 교량에 부착된 센서 및 로거들과 실시간 통신을 통해 교량의 건전도를 모니터링 하도록 구성되었다.

2.1 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 개발한 웹 기반 교량 모니터링 시스템의 하드웨어(H/W) 구조이다.



그림 1. 웹 기반 교량 모니터링 시스템
Fig. 1 Bridge Monitoring System based on Web

교량에는 각종 센서로부터의 데이터를 받아들여 저장하는 동적 및 정적 로거와 웹 서버 및 BMS 서버가 설치되어 있다. 본 시스템에 사용된 센서는 가속도계, 음향방출계 등 총 11종으로 50개 이상이 부착되어 있다. 또한 로거는 동적 데이터 및 정적 데이터 수집용으로 각각 1개씩 설치되어 있다.

동적 데이터로거(dynamic data logger)는 실시간으로 센서의 데이터를 처리하고 정적 데이터로거(static data logger)는 1분~5분 간격으로 센서의 데이터를 처리한다.

교량에서 수집된 데이터는 CDMA 모뎀을 통하여 무선으로 원격지에 설치된 DB 서버로 전송되며, 이 데이터를 바탕으로 교량의 피로도, 노후화 및 건전도를 실시간으로 웹브라우저 상에서 모니터링하게 된다.

BMSWare는 웹 서버 및 DB 서버와의 연동을 고려하여 MS 닷넷 프레임워크 상에서 개발하였고 단독으로도 구동이 가능하다. 웹 서비스의 전체적인 시스템 구성도는 그림 2와 같다.

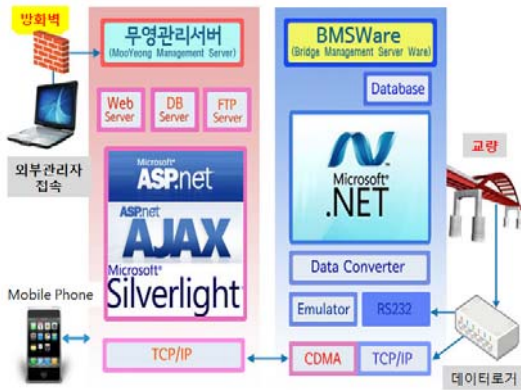


그림 2. 웹 서비스 시스템
Fig. 2. Web Service System

2.2 네트워크 구성

전국에 산재해 있는 교량들은 도시에 위치하여 접근이 용이한 것도 있지만 네트워크 인프라가 전혀 구축되

어 있지 않은 지역에 위치한 것도 많다. 원격관리를 위해 본 논문에서 개발한 교량 모니터링 시스템은 무선 전송이 가능한 CDMA 모뎀을 사용하였다. 국내의 경우 CDMA가 전국적으로 사용이 가능하며 최근의 3G 기술은 데이터의 업로드 및 다운로드 속도가 증가하여 실시간 데이터 통신에 적합한 성능을 갖추고 있다.

본 논문에서 개발한 시스템은 웹에서 데이터를 요구할 경우 실시간 데이터 관측 및 전송이 가능함은 물론, 관리자가 설정한 주기에 따라 가공되지 않은 원본 데이터를 DB 서버로 업로드할 수 있도록 구성하였다.

미들웨어인 BMSWare에서는 센서의 추가, 삭제, 범용성 있는 로거의 탈부착이 가능하며, 수집된 교량의 각종 데이터를 DB 서버에 저장할 수 있다. 또한 센서의 게인(gain) 및 오프셋(offset) 조정과 연산에 의한 교량의 상태(안정/경고/위험)를 분석한 결과를 출력할 수 있다.

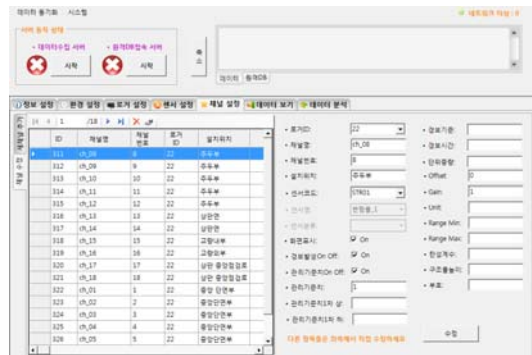


그림 3. 미들웨어(BMSWare)의 센서 및 채널관리
Fig. 3. Management of Sensors & Channels on Middleware(BMSWare)

2.3 시스템 구성 알고리즘

편차가 심한 온도, 바람, 진동 등의 악 조건하에 놓여있는 교량에 설치된 센서와 로거를 통해 전송되는 계측 데이터는 전압이나 전류의 변화 값이다. 이 값에는 교량의 상태 정보뿐만 아니라 분석 시 장애가 되는 전자기적인 다양한 잡음이 포함되어 있다[11,12]. 잡음

에 대응한 신뢰도 향상을 위한 미들웨어에서의 신호 처리에 의한 실시간 처리 모듈과 웹 서버에 구현되어 사용자의 요구에 따라 계측 데이터를 가공하여 제공하는 모듈로 나누어 설계하였다.

미들웨어에서는 직류성분제거, 스펙트럼 왜곡방지, 노이즈성분 제거, 케이블장력 추정 등의 신호처리를 실시간으로 처리한다. 이 중 가장 중요한 케이블 장력은 (식 1)의 진동방정식법을 이용하여 신뢰도 높은 추정치를 계산할 수 있다.

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \frac{Tg}{4wL_{eff}^2} + \frac{EI\pi^2g}{4wL_{eff}^4}n^2 = b + an^2 \quad (\text{식 1})$$

여기에서, $T = \frac{4wL_{eff}^2}{g} \times b$, $EI = \frac{4wL_{eff}^2}{\pi^2g} \times a$

- w : 단위 케이블 중량 (tonf/m)
- : 중력가속도 (m/sec)
- z : 케이블의 처짐량 (m)
- E : 케이블의 휘어짐 강도(tonf · m²)
- T : 케이블 장력 (tonf)
- L_{eff} : 케이블의 유효길이 (m)
- n : 진동모드의 차수
- f_n : n차 모드의 진동수 (Hz)

III. 모니터링 서비스

교량에 발생하는 위험 정보는 지진, 강풍, 강수량, 케이블 장력, 교량 내부와 외부의 온도차, 교량 기둥의 상하좌우 움직임 등과 같이 다양하며 대부분은 육안으로 감지하기 어려운 미세한 계측 데이터의 변화로 나타난다. 이러한 계측 데이터의 미세한 변화를 탐지하고 이를 이용하여 교량의 안전을 관리하는 것이 교량 모니터링 시스템이다[3,4]. 교량 모니터링 시스템을 적용하면 교량의 손상 초기단계에서 회복이나 복구 등의 사전 조치가 가능하게 되며, 모니터링 기법을 통

해 교량의 유지보수 비용 절감 및 교량수명 연장이 가능하게 된다[11~13].

그림 4는 본 논문에서 개발한 시스템의 모니터링 화면이다. 여기에서는 교량에 부착된 센서로부터 계측된 다음 DB서버에 실시간으로 저장되며 이를 바탕으로 교량의 안전 관련 각종 정보를 웹 기반으로 모니터링 할 수 있다. 모니터링을 위하여 실시간 계측 데이터가 표시되며 이를 바탕으로 관리기준치에 따른 정상 상태 여부를 확인할 수 있다.



그림 4. 교량 모니터링 화면
Fig. 4 Display Window of Bridge Monitoring System

센서에서 보내온 계측 데이터의 결과값이 관리기준치를 초과하면 화면상에 경고 메시지가 표시되고, 알람 및 관리자 SMS 전송이 즉시 실행된다. 화면 위쪽의 센서 위치정보는 닷넷기반 대화형 애플리케이션(RIS)인 마이크로소프트 실버라이트(Silverlight) 기술을 이용하여 구현하였다. 이 기술은 다중 브라우저, 다중 플랫폼 플러그인으로 이미지의 확대와 축소가 자유롭기 때문에 화면에 표시된 센서정보를 클릭하면 센서 설치정보가 확대되어 보이도록 설계되어 있다. 화면 아래쪽은 센서 결과 테이블 정보를 표시하며 Ajax기술을 적용하여 웹페이지의 재전송 없이 실시간 업데이트

트가 가능하도록 개발되었다.

웹 상에는 계측결과, 분석결과, 실시간그래프, 트리거 이력, 이벤트이력, 재해/재난이력 등 6가지로 구분하여 계측관리 결과정보가 표시되도록 설계하였다.

그림 5는 본 시스템에 구축된 계측 결과정보 중에서 수직변형률계 센서의 위치를 나타낸 화면이고, 그림 6은 수직변형률계 센서로부터 축적된 정보 그래프와 시간대별 계측값을 나타낸 화면이다.



그림 5. 계측 결과정보(센서위치)
Fig. 5 Result of Measurement(Sensor position)

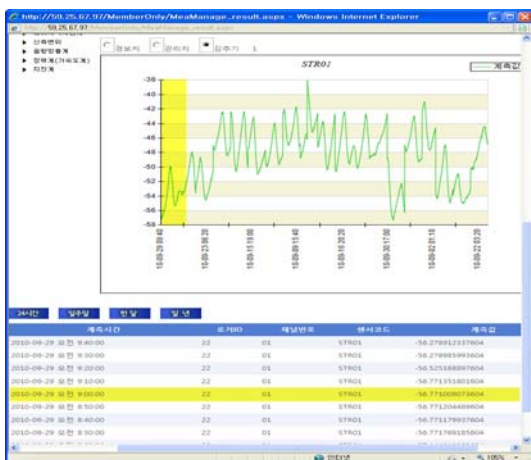


그림 6. 계측결과(그래프 & 계측값)
Fig. 6 Measurement Results(Graph/Value)

그림 7은 온도센서(THM01)로부터 축적된 온도정보를 24시간, 7일, 30일, 1년 단위로 DB 서버에 저장하고 계인값과 오프셋을 통해 기간별 측정값의 최대값, 평균값, 최소값의 3가지 속성정보를 그래프로 나타낸 화면이다. 그림에서 그래프를 살펴보면 장시간에 걸쳐서 계측이 안정적으로 이루어지고, 계측된 데이터가 DB서버에 안정적으로 획득됨을 알 수 있다. 그림 8은 식별을 위하여 그림 7에서 'A' 및 'B'로 나타낸 부분을 확대한 그림이다.

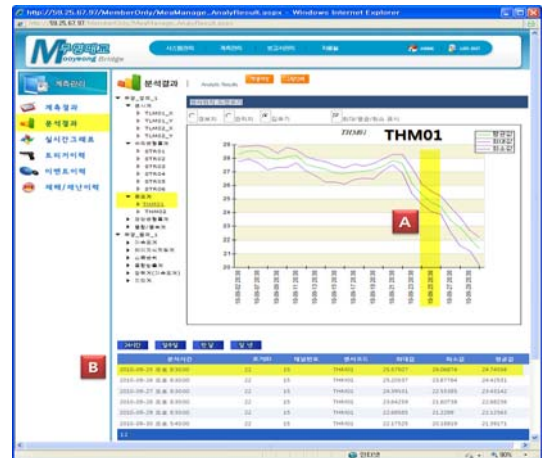


그림 7. 온도센서 분석결과
Fig. 7 Measurement Results of Thermometers

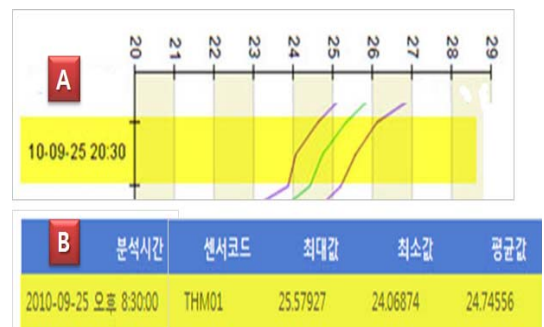


그림 8. 확대 그림
Fig. 8 Enlarged Figure for Fig.7

IV. 결론

본 논문에서는 교량의 안전도를 원격으로 확인할 수 있는 교량 모니터링 시스템을 웹 기반으로 구현하였다. 개발된 시스템은 센서의 계측 데이터를 로거를 통해 스트림으로 획득하는 한편, 이를 무선통신을 통하여 실시간(혹은 시간대별)으로 DB 서버에 저장하여 원격지에서 교량의 상태를 확인할 수 있도록 설계 및 구현하였다. 시스템에서는 미들웨어(BMSWare)를 독자적으로 개발하여 대규모나 소규모 교량 모두에 적용할 수 있는 경제성을 확보하였고, 교량간의 클러스터링도 가능하도록 하였다. 본 논문에서 개발한 시스템은 기존의 시스템과는 달리 센서 및 로거정보의 추가/삭제/수정이 가능하고, 교량에 설치된 센서와 로거의 노후화에 따른 유지보수 비용을 절감할 수 있는 웹 기반 통합 모니터링 시스템이라는 차별성을 가지고 있다. 본 시스템은 전남 목포에 건설된 무영대교(사장교)에서 운영되고 있으며, 장기간 계측 데이터들과 원격계측 기능에 대해 관찰한 결과 시스템의 안정성이 입증할 수 있었다.

참고문헌

[1] 국토해양부, "2008년도 도로교량 및 터널 현황조사", 국토해양부, 2008.
 [2] 이산영, "교량의 안전점검 방법에 대한 고찰", 한양대학교 공학대학원 석사학위 논문, 2008.
 [3] 이일근 외3, "사장교 구조 건전도 모니터링 시스템 최적 센서 설계", 고속도로 제73호 (2006년 하), pp.87-99 한국도로공사, 2006.
 [4] 임화정 외2, "교량 감시를 위한 센서 네트워크 보안", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집(한국정보과학회), 제32권 제1호(A), pp.112-114, 2005.
 [5] 송성근, "유비쿼터스 센서노드를 이용한 교량안전 관리 지능화 기초연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.
 [6] 하성광, "ASP.NET 2008", 대림, 2009.

[7] 송민규, "제어 및 모니터링 시스템 구현을 위한 ActiveX 기반의 애플리케이션 설계", 한국산학기술학회논문지, v.7, no.6, pp.1237-1242, 2006년
 [8] 권대곤 외1, "데이터베이스를 활용한 센서 데이터 관리", 한국산학기술학회논문지, v.10, no.7, pp.1608- 1613, 2009년
 [9] 이정석, "인터넷기반 구조건전도 모니터링 시스템", 한국시설안전기술공단, 2005.
 [10] 무영대교 구축보고서, 2007.
 [11] 유병수, "지방도 교량의 현황과 안전 및 유지관리 방안에 관한 연구: 경기도를 중심으로", 경기대학교 산업정보대학원 석사학위논문, 2000.
 [12] 한국건설기술연구원, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물 모니터링 기술개발", 한국건설교통기술평가원, 2006.
 [13] 남명우, 양옥렬, "실시간 교량 안전감시시스템 개발", 한국산학기술학회 논문지 제11권 제1호, pp.79-84, 2010.

저자소개

홍순관(Soon-Kwan Hong)



1987년 2월 : 서울시립대학교
전자공학과(공학사)
1989년 2월 : 서울시립대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1994년 8월 : 서울시립대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1994년 9월~ 현재 : 혜전대학 디지털전자과 부교수
* 관심분야 : 센서(MEMS), 전자회로, PCB

양옥렬(Ok-Yul Yang)



1995년 2월 : 원광대학교
컴퓨터공학과(공학사)
1997년 2월 : 원광대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학석사)
2002년 2월 : 원광대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학박사)

2000년 8월 : BNS MediaTech. (대표)
2003년 2월 : (주)휴먼미디어테크 (연구소장)
2003년 3월~현재 : 혜전대학 보건의료정보과(교수)
* 관심분야 : 신호처리, 멀티미디어 콘텐츠, HIS