웹기반 교량구조의 건전도 측정 시스템 개발에 관한 연구

양옥렬*, 남명우**
*혜전대학 보건의료정보과
**혜전대학 전자CAD과
e-mail:cache@hj.ac.kr

Research of Integrity Test System of Bridge Safety Based on Web

Ok-Yul Yang*, Myung-Woo Nam**
*Dept of Healthcare & Medical Information, Hyejeon College
**Dept of Electronic CAD, Hyejeon College

요 약

본 논문은 웹을 이용한 교량의 실시간 안전감시 시스템을 개발하였다. 시스템이 설치될 교량들은 열악한 환경에 놓일 수 있기 때문에 CDMA 모뎀을 이용하여 실시간 데이터 수집이 가능하도록 하였다. 또한 언제든지 시스템에 접근하여 손쉽게 관리할 수 있도록 웹을 기반으로 개발하였으며, 다양한 교량의 안전감시 센서정보를 하위(low) 레벨의 설정까지 가능하도록 설계하였다. 교량에서 수집된 데이터는 CDMA 모뎀을 통하여 원격 서버에 저장되며, 저장된 데이터는 가공되어 교량의 상태와 위험도를 실시간으로 웹브라우저 상에서 모니터링이 가능하고, 교량의 피로도, 노후화 및 건전도를 측정할 수 있다. 개발된 시스템은 무영대교에 설치되었으며, 시스템의 효율성을 입증하였다.

1. 서론

최근 국토해양부 발표에 따르면 2009년도 1월 현재 전국에 총 25,792개에 이르는 교량이 운영 중이다. 교량의 증가 이유는 도로선형의 직선화 및 절개지 최소화를 통한 친환경적 도로건설 사업이라는 사업방식의 변화에서 원인을 찾을 수 있다[1]. 국내에 건설된 교량들은 지방도, 일반국도, 고속도로에 다양하게 위치하고 있기 때문에 거리, 관리주체, 접근성 등 관리상의 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교량의 건전도를 측정하기 위해 설치된 수많은 센서들과 로거 및 네트워크 장비들의 통합 모니터링이 필요하다. 현재 웹을 이용한 교량의 건전도 모니터링 시스템은 초기 단계이며, 규격화도 이루어지지 않은 상태이다. 또한 지역적으로 인접한 교량들간의 클러스터링이 불가능하고 각 시스템 도입 시 마다 새로운 개발비용이 발생한다는 문제점도 있다.

이에 본 논문에서는 비용절감과 교량의 변화를 간편하게 모니텅링할 수 있는 웹기반 교량 안전감시 시스템을 개발하고 각 교량별 센서, 로거, 및 추가 기기 정보 수집이 가능하도록 개발하였다.

2. 시스템 개요

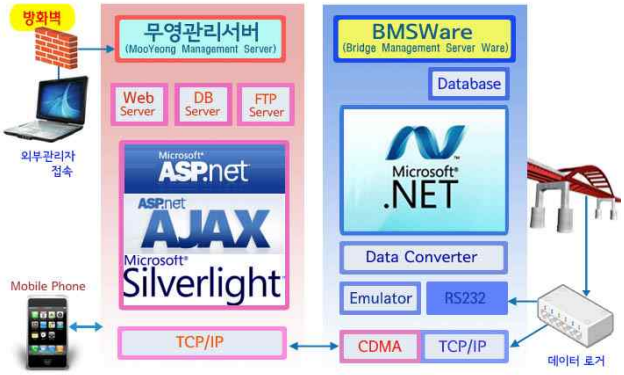
기존 교량의 안전진단 방식은 지진계, 경사계, 가속도계, 처짐계 등의 센서를 교량에 부착하고 교량에 대한 정적·동적 특성을 계측하고 분석하며, 결과값은 미리 설정된 임계값을 초과할 시 경보를 발생시켜 관리자는 경보발생 시 결과값을 종합하여 교량의 이상 유무를 판단하는 방식이다. 기존의 교량 건전도 모니터링 시스템들은 많은 수의 센서와 로거뿐 아니라 계측관리 전용 프로그램을 별도로 개발해야 하기 때문에 시스템 구축에 많은 비용이 소요되고 시설물 관리를 위한 편리성이 떨어지는 단점을 가지고 있었다. 본 연구에서는 시설물의 안전성 확보와 소규모 교량에도 적용이 가능한 미들웨어인 BMSWare와 연동을 통해 다양한 교량에 부착 및 적용이 가능하도록 확장성을 높이고 웹을 이용하여 관리 및 모니터링의 통합 관리가 가능하도록 설계하였다[2][3][4][5][6].

2.1. 시스템 구조

미들웨어인 BMSWare는 교량내부의 서버에 설치되어 네트워크 및 전력, 온도, 습도 등의 열악한 환경에서 구동될 수 있도록 설계되고 [그림1]과 같이 DB와 연동하여 웹서버에 의해 CDMA 접속을 통해 웹서비스를 가능하게 한다.

BMSWare는 웹서버 및 DB와의 연동을 고려하여 MS 닷넷 프레임워크 상에서 개발하였고 단독으로도 구동이 가능하며 웹서비스의 전체적인 시스템 구성도는 [그림 2]와 같다.

[그림 1] 웹기반 교량 건전도 측정시스템 H/W 구조



[그림 2] 시스템의 웹 서비스 구조

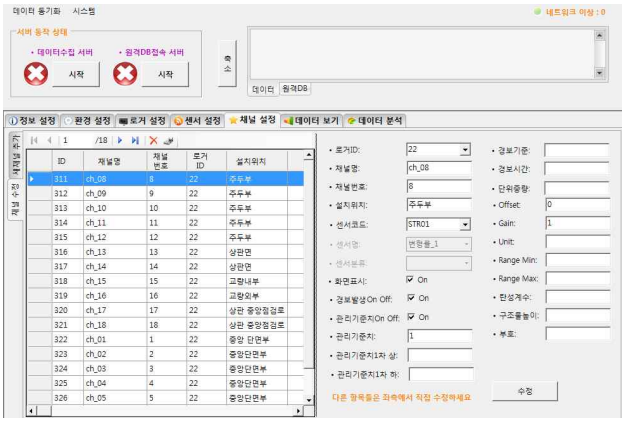
또한 현재까지 표준화되지 않은 국내 교량 센서들의 코드 표준화를 위해 [표 1]과 같이 약어규격을 정의하여 사용하였다. 이를 통해 데이터베이스 설계 및 구축과 웹의 센서 뷰(view) 화면 표시에서도 규격화된 센서 정보를 확인할 수 있게 되었다.

[표 1] 센서 용어의 규격 정의

No.	센서명	센서영문	
		센서약어1	센서약어2
1	변위계	Displacement	
		DP	DIS
2	처짐계	Deflection	
		DF	DEF
3	변형률계	Strain Gauge	
		SG	STR
4	경사계	Tilt Meter	
		TM	TLM
5	가속도계	Accelerometer	
		AC	ACC
6	온도계	Themometer	
		TH	THM
7	3축가속도계	3 Axis Accelerometer	
		3A	3AC
8	종방향변위계	Vertical Displacement Meter	
		VD	VDM
9	풍향계	Anemoscope	
		AS	ANS
10	풍속계	Anemometer	
		AM	ANM
11	균열계	Crack Meter	
		CL	CKM
12	광섬유변형률계	Optical Fiber Strain Gauge	
		OS	OSG
13	지점변위계	Spot Displacement Meter	
		SD	SDM
14	1축가속도계 장력계	Tension Meter	
		TN	TNM
15	배터리	Battery	
		BT	BAT
16	음향방출계	Acoustic Emission Meter	
		AE	AEM

2.2. 시스템 주요 기능

미들웨어인 BMSWare는 센서의 추가/삭제, 범용성 있는 로거 탈부착이 가능하며, 수집된 교량의 센서정보를 DB에 저장, 센서 게인(gain) 및 오프셋(offset)과 연산 과정을 통해 교량의 안정/경고/위험 상태의 분석결과로 출력이 가능하다. 교량에 설치되는 로거는 실시간 센서 정보 스트림을 처리하는 동적로거(dynamic logger)와 1분에서 5분 사이의 간격으로 1회씩 센서 정보 스트림을 처리하는 정적로거(static logger)의 2가지 형태로 구분할 수 있다.



[그림 3] 미들웨어(BMSWare) 센서 및 채널 관리

2.3. 시스템 구성 알고리즘

편차가 심한 온도, 바람, 진동 등의 악조건의 교량에 설치된 센서와 로거를 통해 전송되는 계측신호는 전압이나 전류의 변화 값이며, 교량의 상태 정보뿐만 아니라 분석 시 장애가 되는 전자기적인 다양한 잡음 포함될 수 있다[7][8]. 따라서 신호처리 과정을 거쳐 이러한 계측데이터의 신뢰도를 향상을 위해 미들웨어에서 실시간 처리 모듈과 웹서버에서 구현되어 계측데이터 조회 시 사용자의 요구에 따라 데이터를 가공하는 모듈로 나누어 설계하였다. 미들웨어에서 사용한 신호처리에는 직류성분제거, 스펙트럼 왜곡방지, 노이즈성분

제거, 케이블장력 추정 등의 신호처리를 실시간으로 처리한다. 이 중 가장 중요한 케이블 장력은 (식1)의 진동방정식법을 이용하여 신뢰도 높은 추정치를 계산할 수 있다.

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

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

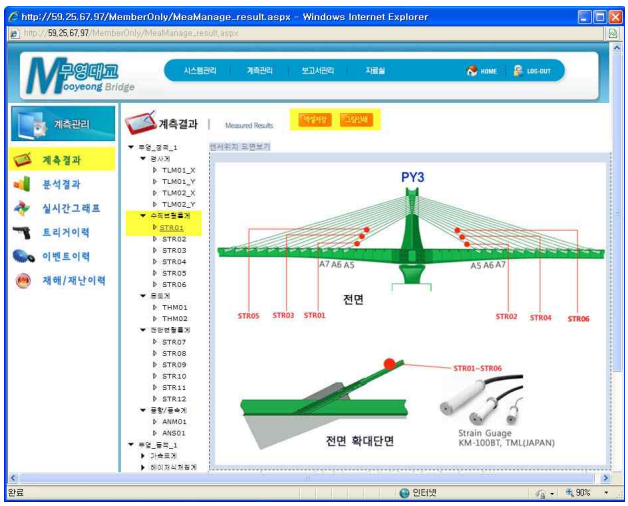
- w : 단위 케이블 중량 (tonf/m)
- g : 중력가속도 (m/sec)
- z : 케이블의 처짐량 (m)
- E : 케이블의 휘어짐 강도(tonf· m^2)
- T : 케이블 장력 (tonf)
- L_{eff} : 케이블의 유효길이 (m)
- n : 진동모드의 차수
- f_n : n차 모드의 진동수 (Hz)

3. 모니터링 서비스의 적용

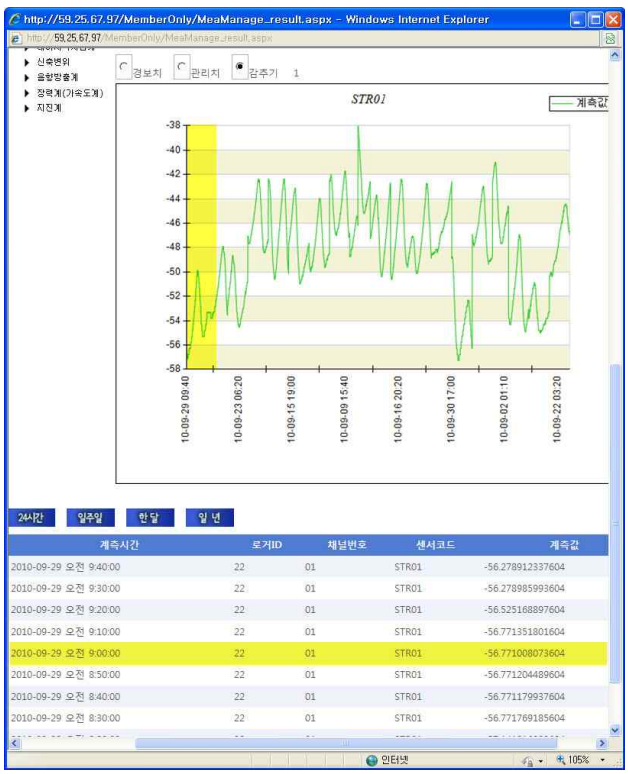
교량에 발생할 수 있는 위험정보에는 지진, 강풍, 강수량, 케이블 장력, 교량 내부와 외부의 온도차, 교량 기둥의 상하좌우 움직임 등 다양하며 사람이 육안으로 감지하기 어려운 미세 정보를 탐지하고 관리하는 것이 교량 모니터링 시스템이다[9][10]. 이를 통해 교량 손상 초기단계에서 회복이나 복구 등의 사전 조치를 위한 정보제공에 목적으로 구축되며, 모니터링 기법을 통해 교량의 유지보수 비용 절감 및 교량 수명 연장을 가능하게 해주는 역할을 한다[11][12][13][14].

[그림 4] 웹기반 교량 모니터링 관리화면

[그림 4]는 센서에서 보내온 실시간 데이터를 DB에 실시간으로 저장된 정보를 웹기반 실시간 교량 모니터링을 위한 센서 데이터 목록 및 관리기준치에 따라 정상 유/무를 확인할 수 있다. 센서에서 보내온 결과값이 관리기준치를 초과하면 화면상에 경고 메시지를 표시, 알람, 관리자 SMS 전송이 즉시 실행된다. 화단 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 설계하였다. 화면 아래쪽은 센서 결과 테이블 정보는 Ajax기술을 적용하여 웹페이지의 재전송 없이 실시간 업데이트가 가능하여 24시간 교량 모니터링에 편리하다.



[그림 5] 계측결과(센서위치도면)



[그림 6] 센서별 계측결과(그래프 & 계측값)

웹 상에서 표시되는 교량의 계측관리 정보에는 계측결과, 분석결과, 실시간그래프, 트리거이력, 이벤트이력, 재해/재난이력 등 6가지로 구분하여 결과정보를 확인할 수 있도록 설계하였다. [그림5]와 [그림6]은 센서들 중에 수직변형률계의 설치위치, 축적정보 그래프, 시간대별 계측값 결과이다.

[그림7]은 교량에 설치되어 축적된 센서정보를 24시간, 7일, 30일, 1년 단위로 DB에 저장하고 게인값과 오프셋을 통해 기간별 관리측정값의 최대값, 평균값, 최소값의 3가지 속성정보를 그래프로 확인할 수 있다. 아래 그림에서는 교량 내부와 외부에 설치된 온도계(THM01)에 대한 측정결과가 수치데이터와 비교해 보면 정확히 일치함을 확인할 수 있다.

[그림 7] 온도센서별 분석결과(최대/평균/최소 계측값)

4. 결론

본 논문에서는 교량구조의 건전도 측정시스템을 웹을 기반으로 개발하였다. 개발된 시스템은 센서를 통해 들어온 정보들이 로거를 통해 스트림으로 계측서버에 수집되어 실시간(혹은 시간대별)으로 DB에 저장되고 웹기반 교량구조 모니터링 시스템에서는 이를 실시간으로 확인할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 미들웨어(BMSWare)를 독자적으로 개발하여 대규모나 소규모 교량 모두에 적용할 수 있어 경제적인 확장이 용이하여 교량들 간의 클러스터링도 가능하게 설계하였다. 또한 센서 및 로거정보의 추가/삭제/수정이 가능하고 교량에 설치된 센서와 로거들의 노후화에 따른 유지보수 비용을 절감할 수 있는 웹기반 통합 모니터링 시스템이라는 점이 기존에 개발된 시스템과 차별성을 갖는다. 현재 개발된 웹기반 교량구조의 건전도 측정시스템은 전라남도 목포에 건설 중인 사장교 형식의 무영대교에 설치되어 센서 계측정보에 대한 시스템의 안정성을 입증하였다.

향후에는 지역별 교량의 클러스터링을 위한 통합 웹서비스 및 계측 수집 장비인 다양한 회사의 로거들의 특성을 총망라하는 미들웨어의 성능 확장 및 범용성을 높여나가는 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] 2008년도 도로교량 및 터널 현황조서, 국토해양부, 2008.

[2] 홍용표, 김상훈, “Visual Studio 2008 완벽가이드”, 영진닷컴, 2008.

[3] 하성광, "ASP.NET 2008", 대림, 2009.

[4] 송민규, “제어 및 모니터링 시스템 구현을 위한 ActiveX 기반의 애플리케이션 설계”, 한국산학기술학회논문지, v.7, no.6, pp.1237-1242, 2006년

[5] 권대곤 외1, “데이터베이스를 활용한 센서 데이터 관리”, 한국산학기술학회논문지, v.10, no.7, pp.1608- 1613, 2009년

[6] 이정석, “인터넷기반 구조건전도 모니터링 시스템”, 한국시설안전기술공단, 2005.

[7] 무영대교 구축보고서, 2007.

[8] 이산영, "교량의 안전점검 방법에 대한 고찰", 한양 대학교 공학대학원 석사학위 논문, 2008.

[9] 이일근 외3, "사장교 구조 건전도 모니터링 시스템 최적 센서 설계", 고속도로. 제73호 (2006년 하), pp.87-99 한국도로공사, 2006.

[10] 임화정 외2, "교량 감시를 위한 센서 네트워크 보안", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집. 제32권 제1호(A), pp.112-114 한국정보과학회, 2005.

[11] 송성근, "유비쿼터스 센서노드를 이용한 교량안전관리 지능화 기초연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.

[12] 유병수, "지방도 교량의 현황과 안전 및 유지관리 방안에 관한 연구 : 경기도를 중심으로", 경기대학교 산업정보대학원 석사학위논문, 2000.

[13] 한국건설기술연구원, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물모니터링 기술개발" 한국건설교통기술평가원, 2006.

[14] 남명우, 양옥렬, “실시간 교량 안전감시시스템 개발”, 한국산학기술학회 논문지 제11권 제1호, pp.79-84, 2010.1.