

유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 활용한 콘크리트교량의 계측 모니터링 시스템 적용성 검토에 관한 연구

The Development of Measuring, Monitoring System for Concrete Bridge Using Ubiquitous Computing Technology

이 승 재*
Lee, Seung-Jae

황 경 훈**
Hwang, Kyung-Hun

박 성 기**
Park, Sung-Ki

성 상 경***
Sung, Sang-Kyoung

ABSTRACT

Recently, the application area of wireless LAN(Internet) and CDMA have been increased, rapidly. Bridge monitoring system using this ubiquitous Computing Technology can bring more convenience of bridge maintenance and management. This paper present a automatic data acquisition, control and processing technology through this concept, and check system applicability to the concrete bridge completed. Finally, The preventive bridge monitoring through the application of this system will progress in technology and make civil infrastructure more safe and useful.

1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 대형 토목 및 건축구조물과 같은 사회기반시설(Infrastructure)에 대한 구조적 안정성 확보를 위해 장기적 또는 상시적 계측을 통한 유지관리 시스템을 개발 및 적용하는 사례가 증가하고 있다. 국내에서도 성수대교, 삼풍백화점 붕괴후 구조물의 안전에 대한 사회적인 관심이 증가하면서 교량 등의 구조물의 안전에 대한 사회적인 관심이 증가하면서 교량 등의 구조물에 안전점검과 함께 현장재하시험에 의한 정밀안전진단과 자동화된 유지관리 계측시스템이 널리 적용되고 있다.¹⁾ 이러한 구조물의 안전점검 및 유지관리에 대한 관심은 해당 구조물에 계측 센서 등을 설치하여 구조물의 변형, 처짐 등에 대한 데이터를 유지관리자가 현장에서 직접 획득하고 수집·분석함으로써 안전성에 대한 판단을 수행하는 신호기반의 계측시스템 구축으로 시작되었다. 그러나, 이러한 계측방법을 통한 구조물의 안전성 분석은 설계자료에 의해 설정된 구조해석 모델을 통한 해석결과와 계측된 데이터값의 단순 비교에만 의존하기 때문에 시스템에 대한 투자 비용에 비해 그 효과와 미흡한 것으로 판단되고있는 현실이다. 따라서, 최근 건설계측 분야에서도 정보산업(IT)과 '유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)'으로 대표되는 다양한 센서 및 유·무선 이동통신 기술의 발전과 교량 구조물의 안정성 판단과 관련된 해석 알고리즘 등의 연구개발이 가속화 되고 있다. 본 연구에서는 이러한 개념에 기반한 교량의 계측 모니터링 시스템을 개발하였으며 실제 콘크리트 교량에 대해 그 적용성을 검토함으로써 선진화된 계측기술의 모델을 제시하고자 하였다.

*정회원, (주)승화이엔씨 대표이사, 공학박사

**정회원, (주)승화이엔씨 기술연구소 과장

***정회원, (주)승화이엔씨 기술연구소 사원

2. 교량 계측 모니터링 시스템의 개발 개요

2.1 교량 유지관리계측의 개요

교량의 유지관리계측이란 예방유지관리를 실현하기 위한 목적으로 구조물에 계측센서 및 기기를 설치한 후 지속적으로 계측센서의 전기적 신호를 물리적 신호로 분석함으로써 장·단기적으로 교량의 건전도를 모니터링하여 안전상태를 상시 감시하는 체계이다. 이러한 유지관리계측을 통해서 교량의 거동에 대한 객관적인 계측데이터를 기반으로 환경변화에 따른 교량의 상황을 자동적·연속적으로 모니터링하고, 교량의 잔존수명 및 보수·보강에 대한 우선순위를 파악하며 또한, 교량 사용자의 통행안정성을 확보하는 기능을 수행할 수 있다. 최근 계측 및 시스템 동향은 엔지니어가 요구하는 계측정보의 다양화 및 각종 안전·유지관리 정보의 데이터베이스화 등으로 인해 실시간(Real-time)화, 사용자 중심의 GUI(Graphic User Interface)를 적용한 다양한 분석기능을 가진 모니터링 프로그램화 되어가고 있으며, 이러한 새로운 시스템을 도입하는 목적은 다음과 같다.

- 1) 교량의 거동에 대해 객관적으로 수집된 계측데이터의 관리·분석 및 안정성 판단지침 제공
- 2) 구조물 붕괴의 조기경보 및 발생하는 문제점에 대한 신속한 대처 가능
- 3) 정량적인 교량의 거동 자료를 기반으로 효율적인 유지관리방안 마련
- 4) 초기 거동치의 확보를 통한 신뢰성 있는 안전성 평가 및 구조물의 상태 판정

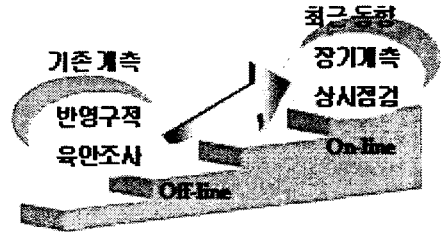


그림 1 유지관리계측시스템의 On-line화

2.2 교량 계측 모니터링 시스템의 개발 방향

일반적으로 최근 교량의 유지관리를 위해 적용되고 있는 자동화된 계측 모니터링 시스템은 안정성, 정밀성, 사용성을 확보하는데 중점을 두어 개발되어지고 있다. 교량 계측 모니터링 시스템은 크게 시공중 계측과 유지관리 계측으로 구분되어 운영되고 있으며, 시공중 계측은 교량 시공시 가설방법에 따라 설계시에 고려된 자료를 참고로, 공정단계에 따른 교량의 거동을 분석함으로써 시공의 안전성을 확보하며, 유지관리 계측은 완공된 교량에서 시공중 계측의 측정 자료와 구조분석등을 바탕으로 주요 계측지점을 선정하고 적절한 센서를 부착하여 정적/동적 측정 방식을 병행하여 교량의 건전성 및 이상상태 등을 파악하는데 목적을 두고있다.²⁾ 이러한 시스템을 개발하는데는 대상 교량에 따라 측정치 및 센서의 선정, 설치 연결, 그리고 계측기기(ex. 정적/동적 데이터로거)의 선택과 통신(ex. 유/무선통신), 그리고 시그널 처리 등 전기, 통신, 신호처리 및 구조공학 등 다양한 지식이 동원된다.³⁾ 시스템 구성요소는 크게 센서 및 계측기기, 통신 및 서버장비와 같은 하드웨어(H/W)와 계측센서와 기기를 통해 전송된 계측 데이터를 분석하여 교량의 현재상태를 판단하고 처리하는 정보처리 알고리즘을 포함한 소프트웨어(S/W)로 이루어진다. 이에 본 연구에서는 무선데이터통신이 가능한 통신방식(CDMA)을 기반으로 계측 모니터링 시스템을 설계하여 실제 완공된 콘크리트 교량을 대상으로 구조해석 및 재하시험 등을 통한 교량 실제거동분석기법에 따른 경제적인 계측 시스템으로서의 적용성을 검토하였다.

3. 유비쿼터스 컴퓨팅 개념을 도입한 계측 모니터링 시스템 제안

3.1 유비쿼터스 컴퓨팅 기반 계측 모니터링 시스템 적용기술

유비쿼터스 컴퓨팅 환경^a은 기존의 데이터통신 및 정보처리 기술의 자동화·실시간화를 가져오고 있으며 이러한 배경하에 건설계측 분야에서도 무선센서^{6,7)} 및 네트워크를 통해 구조 안정성 점검과 사고가 발생했을 때 피해를 최소화하도록 하는 안전 진단 시스템이 개발되고 있다.⁴⁾

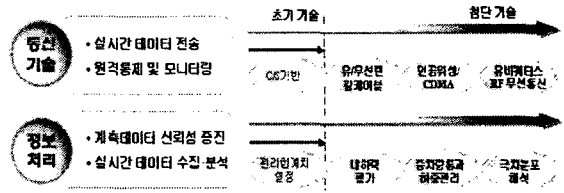


그림 2 유비쿼터스 기반 계측시스템 적용 기술의 범위

3.2 시스템의 구성

본 연구에서 제안하는 계측 모니터링 시스템은 교량이 위치한 현장에 현장관리자용 계측Server를 두고 CDMA를 적용한 무선통신 기술을 적용하여 웹(Web)을 통한 접근이 가능한 어느곳에서도 실시간으로 계측센서 및 기기를 통해 제공되는 정보들을 수집하고 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 기존에 개발되어 운영중인 시스템과는 다르게 교량의 안전성을 판단함에 있어 내하력 평가 및 차량의 통과하중을 고려하여 분석을 수행할 수 있는 알고리즘을 탑재한 S/W를 설계하였다. 모든 계측분석 데이터 및 자료는 별도의 DBMS를 통해 백업 및 관리되며, 교량에 문제가 발생시에 관리자에게 자동정보(SMS 문자기능)가 가능하도록 설계하였다.

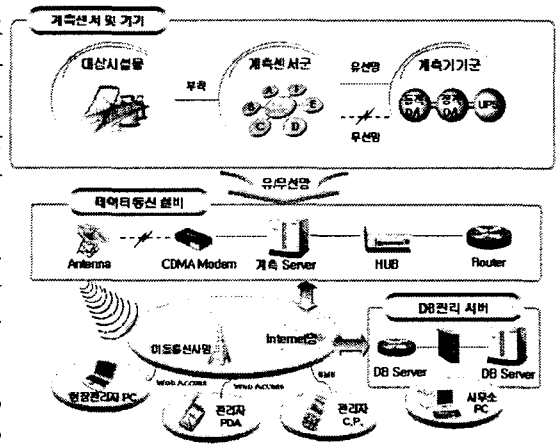


그림 3 유비쿼터스 기반 계측시스템 구성체계

4. 콘크리트 교량의 계측 모니터링 시스템 설계 및 적용성 검토

4.1 적용교량의 현황 및 특징

본 연구에서는 제시한 계측 모니터링 시스템을 실제 완공된 콘크리트 교량에 적합하게 설계하였으며, 적용교량의 현황은 다음 표 1.과 같다. 콘크리트 교량은 일반적으로 사하중이 큰 구조물로서 특히, 본 적용교량은 배수갑문의 역할을 수행하는 특수교량으로 해상환경에 노출되어 구조물의 열화속도가 빠를 것으로 예상되는 교량이다.⁵⁾ 또한, 교량 박스내부에는 배수갑문 유압관련장치가 설치되어 계측센서의 수량 및 위치선정에 정확성이 필요한 특수한 현장 여건을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 교량의 특성에 적합한 시스템 구축을 위해 설계하중 해석에 의한 센서 위치를 결정하고, 시스템상에서 설치된 센서에 대한 시공 적정성 및 응답값의 적정성을 확인하기 위해 현장 재하시험을 실시하였다.

표 1 사례교량의 개요

형식	RC Box Girder
폭	20.6m
연장	287.5m
경간수	4경간 연속교
설계하중	DB24 및 DL24

a 우리 주변에 있는 모든 물체에 컴퓨터를 내장하여 서로 네트워크로 연결하고 실시간으로 상호간에 협조와 타협을 해가면서 인간의 삶에 보이지 않게 컴퓨팅을 제공한다는 개념으로 핵심요소기술로는 센서, 프로세서, 커뮤니케이션, 인터페이스, 보안 기술 등임.

4.2 콘크리트 교량의 계측 모니터링 시스템 적용

콘크리트 교량에서 전체적인 구조물의 거동을 분석하기 위해서는 차량하중, 온도 하중, 풍하중 등과 같은 구조계에 작용하는 하중들과, 전체 구조계를 나타내는 강성에 의한 영향들을 모니터링하기 위한 계측 시스템을 설계하여야 한다. 이에 연구에서 적용한 계측 시스템에서는 처짐계, 변형률계, 가속도계, 지진계 등의 동적계측을 위한 센서와 신축이음계, 온도계, 균열계, 풍향풍속계 등의 정적계측을 위한 센서를 적용하였다. 각 계측센서는 콘크리트 교량의 특징상 매립형 센서의 설치 및 관리가 어렵기 때문에 표면 부착형 센서를 적용하였다. 여기서 정적 및 동적 구조해석에 따른 교량의 최대처짐 및 응력 위치를 파악하였으며, 정적 및 동적 재하시험을 통해 계측센서의 응답에 대한 시험 및 검증을 수행하고 해석값과 실측값의 비교 및 분석을 수행함으로써 각 센서별 계측 관리기준치를 도출하였다. 또한, 이러한 적용 프로세스를 통해 콘크리트 교량의 열화로 인한 과도한 변형이나 손상이 발생하기 전에 이상거동을 실시간으로 감지할 수 있는 안전성 판단용 S/W 시스템을 적용하였다.

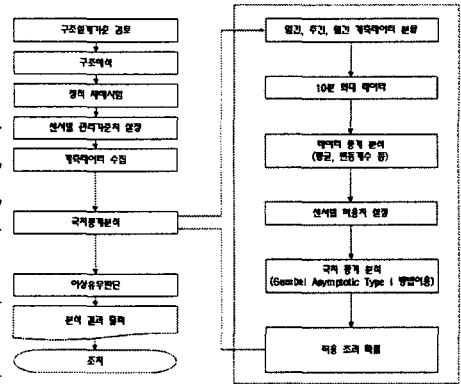


그림 4 콘크리트 교량의 계측데이터에 의한 안전성 판단용 S/W

5. 결론

본 연구에서는 계측센서와 연결된 데이터로거 및 계측Server에 CDMA 방식의 무선통신 네트워크를 적용함으로써 현장내 서버의 유동성을 확보하고 또한, 현장 또는 다수의 관리자(Web을 통한 관리)를 통한 실시간 계측 모니터링이 가능한 시스템을 제안하였으며, 실제 완공된 콘크리트 교량에 대해 제안된 시스템을 설치·적용하였다. 또한, 구조물의 실제 거동에 최적화된 시스템 구축을 위해서 구조해석 및 재하시험을 통한 관리기준치를 설정함에 따른 구조물의 계측데이터 관리의 합리성과 편의성을 검토하였다. 최근의 인터넷 및 통신기술은 데이터 전송속도와 성능이 크게 향상되어 특수한 현장여건에 위치한 교량 구조물의 상시계측관리 기술의 활용성이 증대됨에 따라 보다 경제적이고, 설치 및 유지관리가 용이한 장점을 가진 계측 모니터링 시스템의 적용이 확대될 것이다.

참고문헌

1. 장승필, “토목 구조물에 대한 유지관리 계측의 현황과 전망”, 대한토목학회 학회지 제46권 제 11호, 1998.11
2. 윤정방 외 2인, “교량 건전성 모니터링 및 손상추정기술”, 전산구조공학회 학회지 제16권 제1호, 2003. 3
3. 김성곤, “계측기술의 최근 동향”, 대한토목학회 학회지 제46권 제 11호, 1998.11
4. 정완영, “유비쿼터스 컴퓨팅과 토목공학”, 대한토목학회 학회지 제53권 제 8호, 2005. 8
5. 농림부·농업기반공사, “새만금지구 배수갑문전용 안전관리시스템 개발 연구” 2005.12
6. 허광희 외 4인, “스마트구조물과 자가회복 무선계측 시스템 설계”, 구조물진단학회 봄학술회의 논문집, 2004
7. Sukun Kim, David Culler and James Demmel, Structural health monitoring using wireless sensor networks, progress report, <http://cs.berkeley.edu/~binetube/ggb/doc/0401.pdf>