

특수교량의 시공 중 계측관리 시스템에 관한 연구

A Study on the Health Monitoring System of Cable Bridge under Construction

공병승*

박지환**

Kong, Byung Seung, Park, Ji Hwan

ABSTRACT

The cases of using new methods of big blocks are largely increasing on Recent large-scale bridge structures. So the accurate data of responses of bridges following environmental causes are required to be quickly recorded in order to predict. For this reason described above, the research on measuring system should be conducted for more knowledge of the details on application and stability of new methods. In this study, the new health monitoring system that can monitor the real behavior and damages of the bridge during all processes of construction is presented by analyzing cases of domestic and overseas bridge health monitoring system, and applied methods of following bridges.

1. 서론

교량공사에서 계측은 시공단계에서 있어서 위험요소 관리 및 예측을 통한 시공의 안정성을 확보하고 계측정보의 feedback을 통한 최적설계로 경제적이고 합리적인 시공을 유도할 수 있다. 특히 근래에 들어 교량의 규모가 장시간 특수교 형식으로 시공되는 경향이 많아 신기술 적용에 따른 시공기술의 부족, 경험 부족 등으로 인한 시공상 오차가 많이 유발되어질 수 있다. 대표적인 특수교 형식으로는 사장교와 현수교가 있다. 이러한 케이블 교량은 복잡한 구조체로 이루어져 있어, 모든 거동을 정확히 예측하기 어렵고, 시공 시에는 각 시공단계에서 여러 요인으로 인한 시공 상의 오차가 발생한다. 이러한 문제를 해결하고 시공의 정확성을 확보하기 위하여 시공 중 계측 시스템을 도입하여 시공단계별로 시공의 정밀도를 확인하고, 시공의 안정성을 확보하여야 한다. 시공 중 계측 시스템은 시공 중 교량에 미칠 수 있는 외부환경 요인과 이에 따른 교량의 응답을 계측, 감시 하고 데이터베이스화 하여 구조물의 거동과 손상을 자동적, 연속적, 객관적으로 모니터링하고 관리하는 시스템을 구축하여 과학적이며 체계적인 계측관리를 할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 특수교량의 시공 중 계측시스템을 제시하여 시공 중 구조물의 안전성 및 시공정밀도 파악과 판단지침을 제공함과 동시에 향후 유사 교량구조물 전반에 적용하고 교량건설 후에도 계속하여 효율적인 유지관리에 이용할 수 있도록 하는데 있다.

* 책임저자, 정회원, 동서대학교 토목공학과 부교수 공학박사

E-mail : kongbs@dongseo.ac.kr

TEL : (051)320-1821 FAX : (051)320-1821

** 비회원, 동서대학교 토목공학과 대학원 석사과정

2. 시공 중 계측 시스템 구성

2.1 개요

시공 중 계측 시스템은 관리목적, 관리항목 및 시공방법 등에 따라 다소 차이가 있으나, 일반적으로 계측에 의해 측정된 교량의 실제 거동을 시공 단계별 설계 및 구조해석치와 비교, 보정작업, 확인 계측 까지 할 수 있는 단계로 구성하는 것이 합리적이다.

계측 시스템의 구성시 기본방향은 시공정밀도 검증 및 시공 안전성 파악하기 위해서 설계값과 실측값의 비교 검토를 통한 해석의 적정성 및 시공 정밀도를 파악, 안전성 확보, 시공공정의 품질관리를 할 수 있어야 하며 구조계의 거동 변화의 요인인 환경 인자를 확보함으로써 시공에 의한 거동, 외부요인의 거동 분석을 파악할 수 있어야 한다.

시공 중 계측시스템의 구축단계를 그림 1.에 나타내었다.

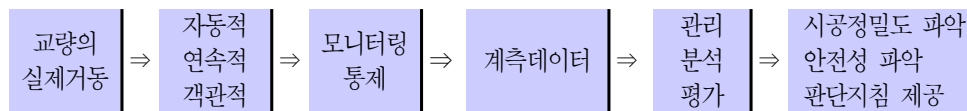


그림 1. 시공중 계측시스템 구축단계

2.2 계측시스템 구분

제한된 시간내에 계측작업에서부터 설계 및 구조 해석치와의 비교, 보정작업, 확인계측까지의 일련의 작업을 실시하기 위해 시스템 처리를 현장의 계측관리실에서 실시 할 수 있어야 한다.

표 1. 계측시스템의 구분

| 구분 | 수 행 내 용 | 적용공종 및 환경 |
|-------------|--|--|
| 영구 자동 계측시스템 | <ul style="list-style-type: none"> 장기계측시스템 계측데이터 자동 저장 계측관리자 필요시 언제든지 계측결과 취득 가능 자동통신 시스템 데이터로거 제어 가능 | <ul style="list-style-type: none"> 동일공종의 반복 시공 전원공급 가능 계측시스템현장 설치에 따른 시공 공중에 장애 없을시 |
| 반자동 계측시스템 | <ul style="list-style-type: none"> 단기 계측시스템 계측결과 자동 저장 계측관리자 필요시 현장 방문하여 데이터 백업 | <ul style="list-style-type: none"> 단기공종 발생시 전원공급 가능 계측시스템 이동이 수시로 발생할 시 |
| 임시 계측시스템 | <ul style="list-style-type: none"> 공종별 현장 투입 현장에서 실시간 데이터 취득 휴대용 계측기 이용 | <ul style="list-style-type: none"> 단일공종 발생시 시공시 즉각적인 데이터 반영 필요시 계측범위(현장)가 넓을시 |

2.3 계측시스템 구성도

케이블 교량의 시공중 계측시스템 구성은 건설중에 주요 부재를 거치 및 시공하는 동안 구조물의 기하학적 형상 및 변위를 제어하기 위하여 경사계, 변형율계, 온도계, 응력계, 가속도계, 처짐계, 풍향풍속계 등으로 구성하였다. 또한 시공 후 유지관리 계측과 연계될 수 있도록 하였다.

대표적인 케이블 교량의 시공 중 계측시스템 구성도를 그림 2에 나타내었다.

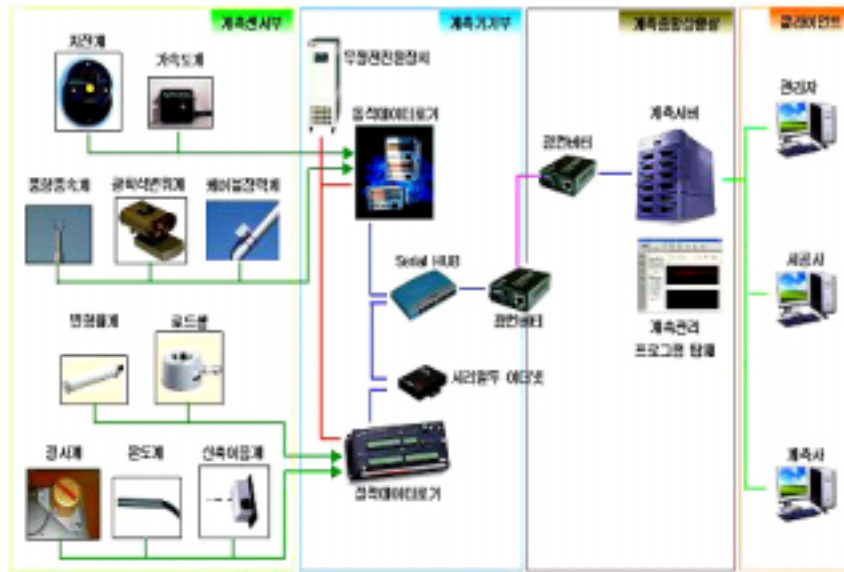


그림 2. 계측시스템 구성도

2.4 계측센서의 선정

계측센서의 선정은 표 4와 같이 계측의 목적, 계측 빈도, 기간, 데이터 전송방법 등을 검토하여 가장 적절한 기기를 선정하는 것이 중요하다.

표 2. 계측센서 선정시 검토사항

| 구분 | 사양검토 | 검토사항 |
|----------|----------------------------|--|
| 계측의 목적 | 용량, 정밀도 | 설치부재의 허용 변화량, 해석값과 비교 분석이 가능한 최소 측정 단위(정밀도) 검토 |
| 설치 환경 | 수밀성과 방수성, 견고성, 내구성, 사용온도범위 | 매립여부, 외부노출 여부 검토 |
| 계측기간 | 내구성, 장기적(반영구적)사용 가능성 | 계측기간에 따른 계측센서 선정 임시 계측시스템, 공용중 이관 여부 검토 단, 임시계측시스템 구축시 계측결과 신뢰성은 확보하여야 함 |
| 계측빈도 | 데이터 측정 속도 | 계측데이터의 측정 속도 검토 정, 동적 측정 기능 여부 검토 |
| 계측시스템 구축 | 데이터 전송 방법 호환성 검토 | 계측기기와의 호환성 상이한 센서형식에 따른 계측기기의 중복 투입 방지 |

2.5 통신시스템 구축

통신시스템은 현장에 설치되는 계측장비 및 계측관리용 컴퓨터가 원격지 또는 시공사와 데이터 송수신을 위해 구성되는 통신기기들을 칭하며 이는 계측서버의 송수신에 따른 시스템 부하량을 최소화할 수 있으며, 안정적으로 계측데이터를 전송할 수 있는 시스템이다.

3. 계측시스템 관리방법

3.1 계측관리

모든 계측데이터의 모니터링은 네트워크에 연결된 컴퓨터에 의해서 이루어진다. 모든 요소의 거동을 모니터링하고 데이터 분석을 통하여 시공 단계별 구조해석을 통해 얻어진 값들과 비교하여 이상이 있는 경우 즉시 공사를 중단하고, 대책을 수립한 다음 후속공사를 실시하도록 한다.

센서별 계측관리 방법을 표 3에 나타내었다.

표 3. 센서별 계측관리

| 관리기준치 설정 | 절대치 관리 | 추세 관리 |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> 계측결과 정리 및 구조해석 <input type="checkbox"/> 안전율 검토 <input type="checkbox"/> 목표안전율 검토 <input type="checkbox"/> 관리기준치 설정 | <input type="checkbox"/> 절대값에 대한 계측 관리 - 교각 경사, 주탑 경사 - 케이블 장력 | <input type="checkbox"/> 계측데이터의 추이 변화에 의한 계측 관리 - 보강형 가설에 따른 주탑 경사 - 온도에 의한 거동 변화 |

또한 이러한 계측시스템은 교량 완공 후에는 상시 교통하중, 온도 하중 및 풍하중에 의한 거동 이력을 제공함으로써 향후 교량 유지관리에 유용한 정보를 제공하게 된다.

3.2 계측결과 활용방안

계측관리 프로그램을 이용한 계측결과 분석은 풍하중, 온도하중, 지진하중 등의 입력자료를 이용하여 전반적 동적특성(Global Dynamic Characteristics) 및 정적영향계수(Static Influence Coefficients)을 평가하여 케이블 장력(Tensile Force in Cable), 기하형상(Geometric Configuration), 응력분포(Strain/Stress Distribution) 등을 결과자료로 활용한다.

표 4. 계측항목 입력자료

| 계측 항목 | 분석항목 | 예시 |
|-------|--|----|
| 풍향 풍속 | <ul style="list-style-type: none"> 주탑 및 보강형에 작용하는 풍하중의 풍향, 풍속 파악 방향별 난류 power spectra Extreme Wind Speed Prediction 절대치 분석, 추세분석 | |
| 온도 변화 | <ul style="list-style-type: none"> 시간-온도이력 분석 온도-지점변위 분석 온도-케이블장력 분석 추세분석 | |
| 지진 응답 | <ul style="list-style-type: none"> 지진응답 감지 절대치 분석 | |

표 5. 계측항목 분석결과

| 계측항목 | 분석항목 | 예시 |
|--------|--|----|
| 케이블 장력 | <ul style="list-style-type: none"> 케이블 장력-시간이력 변화 절대치분석, 추세분석 풍속/풍향-장력변화 온도-장력변화 절대치 분석, 추세분석 | |
| 기하형상 | <ul style="list-style-type: none"> 주탑 및 보강형 3차원변위 주탑정부의 이동량 교축/교축직각/연직변위-시간이력변화 절대치 분석, 추세분석 | |
| 응력변화 | <ul style="list-style-type: none"> 응력-시간이력 변화(최대, 최소, 평균) 응력분포 절대치분석, 추세분석 | |

3.3 계측관리 수행방안

표 6. 계측관리 수행방법

| 시공단계별계측관리 | 월간계측관리 | 특별계측관리 |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> 시공공중별 데이터 정리/도식화 <input type="checkbox"/> 구조물거동분석 <input type="checkbox"/> 보고서 작성 <input type="checkbox"/> 이상발생여부 확인 | <input type="checkbox"/> 월간데이터 정리/도식화 <input type="checkbox"/> 구조물거동/데이터 분석 <input type="checkbox"/> 보고서 작성 <input type="checkbox"/> 이상발생여부 확인 | <input type="checkbox"/> 특별상황 발생시 실시 - 태풍, 이상기온, 강우 등 <input type="checkbox"/> 특별 시공 공중 발생시 <input type="checkbox"/> 구조물 이상거동 변화 여부 분석 |

4. 결 론

본 연구에서는 케이블 교량의 시공 중 계측을 통한 시공정밀도 및 안전성 확보를 위하여 시공중 계측시스템을 구성·제시하고자 하였다. 먼저 시공 중 계측시스템을 구성하기 위하여 시공 중 정밀시공에 사용할 계측시스템을 기본으로 구성하였으며, 성공적인 시스템 구축을 위한 시스템 구성요소별로 그 내용을 언급하였으며, 향후 여러 형태의 케이블 교량의 시스템 구축에 참고가 되도록 제시하였다.

본 연구의 결과로 케이블 교량의 시공 및 감리 능력을 확보가 가능하며, 시공정밀도, 품질관리, 부실 시공 방지 및 시공 안전도를 검토 가능하게 될 것이다. 또한 계측시스템에서 확보된 데이터를 가지고 케이블 교량의 구조시방 보완 및 설계기준에 대한 정보를 제공하고 유사교량의 시공시 기초자료 활용 및 계측결과 비교를 통하여 좀 더 안전성을 확보할 수 있게 될 것이다.