

# GPS를 이용한 영종대교 현수교의 유지관리

## Maintenance Plan of Yeongjong Suspension Bridge Using GPS



배인환\*

\*신공항하이웨이(주) 구조물관리팀 차장

### 1. 서론

영종대교는 도로와 철도 병용교량으로서 2000년 12월에 도로부가 먼저 개통되어 운영 중 2003년 6월부터 2004년 9월 까지 철도부 공사로 사하중이 증가되었으며, 2007년 3월부터 공항철도가 개통되어 전체 교량이 설계대로 시공되어 운영 중에 있다. 영종대교는 3가지의 다른 구조형식 즉, 현수교, 트러스교 및 강합성교로 되어있으며, 이중 현수교는 3차원 자정식 현수교로서 일반적인 타정식 현수교와 다른 독특한 구조적 특성을 가지고 있다. 따라서 설계기법의 유효성 검증 및 교량의 수명연장을 위하여 교량의 구조건전도 모니터링시스템(Bridge Health Monitoring System, BHMS)이 구축되어 7년간 운영되었다. 현수교는 처짐 측정 및 형상관리가 중요하며 이를 위하여 고정밀 레이저처짐계를 이용한 주형의 처짐을 모니터링하고 주기적으로 대규모 형상측량이 이루어지고 있다. 그러나 이와같은 광학적인 측정방식은 안개, 눈이나 태풍과 같은 열악한 환경에서는 측정이 불가능한 단점이 있으며, 특히 해상에 놓인 장대 케이블교량과 같이 지간장이 긴 경우 인력에 의한 기존의 측정 방식은 많은 오차를 포함하고 있기 때문에 제한적일 수밖에 없다. 따라서 열악한 사용환경에서도 정밀도를 유지하고 지속적으로 형상 및 처짐을 관리할 수 있는 실시간 Global Positioning System(GPS)은 칭마대교, 노르망디교 및 아카시대교 등 국외 대형 해상 케이

블 교량에 적용되어 운영되고 있으며, 여러 기관에서 다양한 통신방법을 적용하여 시험 중에 있다. 그러나 현재까지 국내에서는 장대교량의 장기간 유지관리를 위한 RTK GPS 적용 사례가 없으며, 국내에서는 최초로 영종대교 현수교의 형상 변화 및 보강형 처짐을 실시간으로 모니터링하기 위하여 GPS가 구축되었으며 시험운영에서 얻은 데이터 분석결과 기존 레이저처짐계와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

### 2. 영종대교 현수교

영종대교는 4.42km로서 현수교, 트러스교 및 강합성교로 이루어져 있으며, 이중 현수교는 그림 1과 같이 자정식

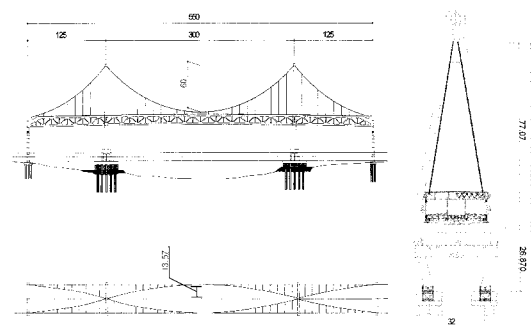


그림1 영종대교 현수교 상세

표 1 영종대교 설계상세

구분	항목	내용
교량형식	현수교	550m : 주경간(300m)+측경간(125m)
	트러스교	2,250m : 6 ×(3@125m)
	강합성교	1,620m : 영종측(1,140m), 인천측(480m)
설계기준	속도	도로 : 100km/hr, 철도 : 110km/hr
	하중	도로 DB-24, DL24    철도 Q25
	풍속	기준풍속 40m/s

으로서 보강형 트러스가 압축력과 상향 편심을 받는 구조이며, 도로 10차선 및 철도 복선의 와렌 트러스구조이다. 주 케이블의 폭은 지간중앙과 단부에서 교량 폭 넓이 만큼 벌어져 있다가 다이아몬드 주탑에서는 3m 폭으로 좁아지는 형식인 mono-duo type의 3차원 케이블형식으로 되어 있으며, 행어역시 수직이 아닌 10°내외의 경사를 가지고 있다. 3차원 케이블 형상으로 인해 측면상 새그량은 60m이며 평면상 새그량은 13.57m이다. 현수교의 단면은 세계 최대 용량으로서 주경간은 300m이고, 양 측경간은 각각 125m이다. 설계기본풍속은 40m/s이며, 주형높이에서의 최대설계풍속은 55m/s이다(표1).

### 3. GPS 설계 및 설치위치 검토

#### 3.1 개요

현수교의 형상관리 및 기존 보강형 처짐 등과 비교하기 위한 목적으로 국내 최초로 실시간 GPS-RTK 모니터링이 계획되었다. 실시간 이동측위기법인 GPS-RTK는 오차보정을 위해 기지의 기준국에서 전송되는 데이터가 반송파 수신자료로서 실시간 상대위치 관측방식으로 고정밀도 관측을 수 초 안에 신속히 수행할 수 있기 때문에 교량과 같은 대형구조물의 거동을 모니터링 할 수 있다. RTK GPS 기법은 충분한 정확도를 가지고 장기간의 연속적 모니터링이 가능하며, 이를 위하여 고품질의 2주파 수신장비를 사용해야 하며, 기준국과 한 점 또는 그 이상의 이동국으로 구성되며, 기준국은 신호 차단과 반사에 의해 발생하는 측정 독립오차를 취소화 하기 위하여 주변에 간섭물이 없는 곳에 설치하고, GPS 위성에 대한 원시 의사거리와 반송파 자료 또는 그 보정값은 기준국에 저장하여 알맞은 메시지형식 또는 표준형식(RTCM)을 이용하여 통신 network를 통해 이동국에 전송된다. 전송된 자료를 해석하기 위하여 자체 측정값과 전송된 자료를 조합함으로써 위성시계 오차, 위성궤도 오차, 전리층 및 대류권 오차 등이 상당히 감소하지만 오차의 공간적 상관성이 수신기 거리에 많이 좌우되므로 10Km미만이 바람직하다.

영종대교 현수교의 형상관리, 보강형 및 주탑의 변위 등을 실시간으로 모니터링하기 위하여 GPS 구축계획이 수립되었으며, 국내 최초로 상시 유지관리를 GPS를 성공적으로 구축하기 위하여 국외 사례조사 및 분석, 현수교 측정 위치별 24시간 위성가시성 시험 및 시험운영이 실시되었다.

#### 3.2 GPS 모니터링 측정위치

GPS 측정위치는 다음 그림 1과 같이 현수교상에 10개소와 기준점 2개소로서 총 12개소이며, 현수교 상의 측정위치는 형상측량 자료 및 기존의 다른 센서와 비교하기 위하여, RTK GPS 데이터의 신뢰성과 안전성을 높이기 위하여 신공항하이웨이 본사 옥상과 복인천영업소 건물 옥상에 각각 기준점을 설정하였다.

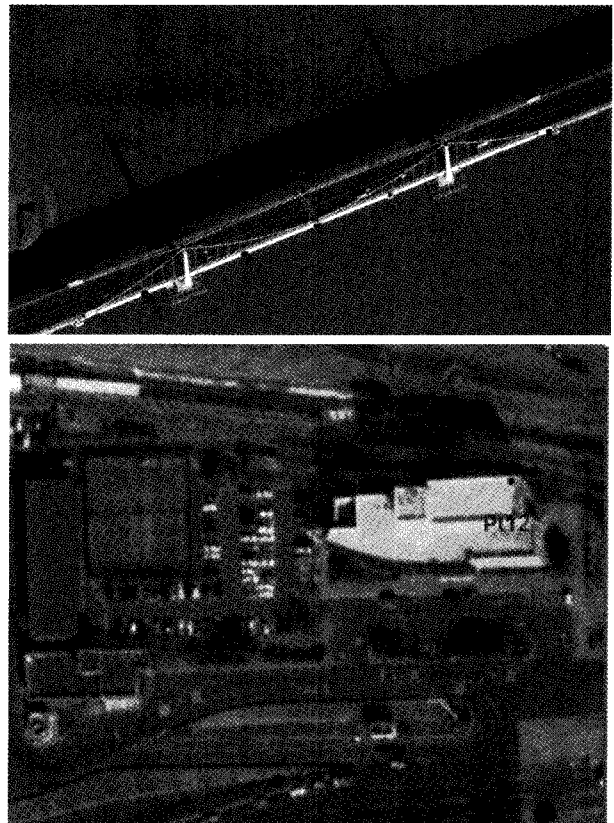
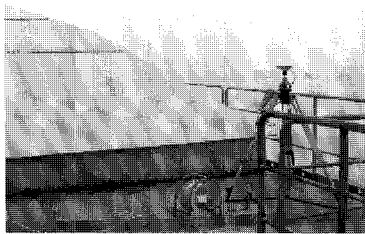


그림 1 GPS 측정 위치

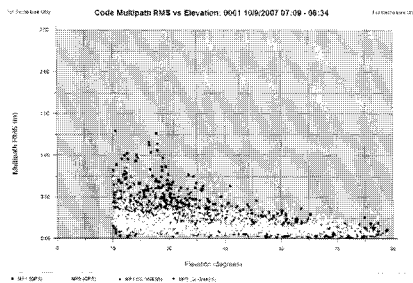
### 3.3 위성 가시성 시험 및 멀티패스 분석

GPS 측정위치의 적절성을 검증하기 위하여 사전에 각 위치에서의 24시간 위성의 분포특성, 멀티패스 발생여부 및 사이클슬립을 분석하였다. 멀티패스는 반사물에 의해 발생한 전파의 반사에 의하여 오차가 상당히 크게 발생하는 경우로서 이와 같은 현상이 측정위치에서 발생하여서는 안된다. GNSS 위치결정의 기본은 정밀하게 측정된 GNSS 위성의 거리에 의하여 결정되며, 만약 이 거리가 잘못 측정되면 그 결과로 좌표가 움직이게 된다. 또 다른 예러로는 수신기가 일시적으로 위성을 놓치는 경우 발생하는데 그 결과 측정된 사이클의 간격이 연속적이지 못하게 되는데, 이것은 일반적으로 일시적으로 사라진 사이클의 수를 비교해서 GNSS S/W를 사용하여 ambiguity를 해석하여 실제거리를 계산한다.

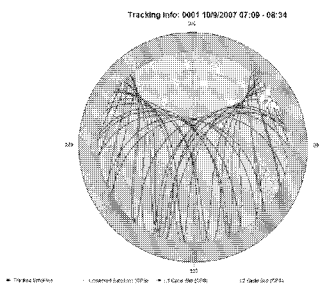
W1 정착부의 위성가시성 및 멀티패스 분석결과는 아래 그림과 같으며, 각 측정위치별 위성가시성 분석 결과 요약하면 다음과 같다. 정착부(W2, E2), 기준점 및 보강형 중앙경간은 아주 양호한 장소이며, 그 외 위치는 주탑 및 계



(a) W1 정착부



(b) 멀티패스 vs 고도



(c) 트래킹정보

그림 2 위성가시성 시험 결과

이들의 일시적인 간섭으로 사이클 슬립이 발생하는 것으로 나타났으며 이를 해결하기 위하여 pillar를 높게 설치하는 것으로 제시되었다.

## 4. GPS 모니터링 시험운영 및 구축

### 4.1 GPS 안테나, 수신기 및 통신설비 설치

12개 측정위치에 대한 본격적인 설치 전에 6개월 동안 3개소에 대한 시험운영을 실시하여 장비, 통신 및 기타 발생 가능한 문제 도출과 해결과정을 겪었으며, 현재는 정상적으로 실시간 모니터링을 수행하고 있다. 시험운영을 위하여 선정된 위치는 아래 그림과 같다. 측정위치는 현수교 중앙경간 주케이ابل 중앙부 양측이고, 기준점은 신공항하이웨이(주) 옥상이다. 사용된 GPS 수신장비는 기준점 및 측정점에서 각각 LEICA GRX1200GG Pro와 GMX902GG이며, 모두 정밀 측정용 2주파 GPS 엔진이며, sampling rate은 20Hz이다. 또한 기준점에서 사용된 안테나는 멀티패스를 제거할 수 있도록 설계된 Choke ring 안테나이며, 측정점에서는 AX1202GG 안테나가 적용되었고, spider S/W를 사용하여 실시간 NMEA를 plot 하고 10분간 데이터를 후처리하여 좌표를 계산하도록 하고 있다. 기준점과 측정점까지의 기선거리는 7.9km 로서 거리에 따른 오차는 미미한 것으로 분석되었다.

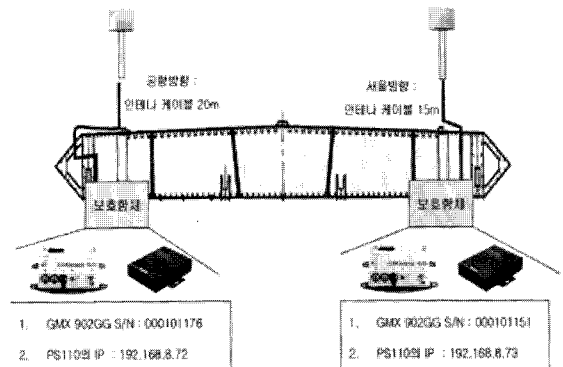
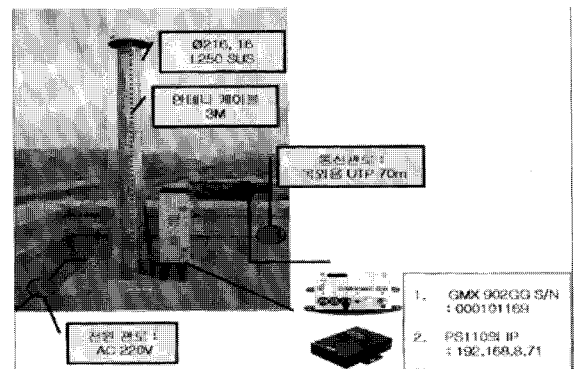


그림 3 GPS 설치(Reference, Robe)

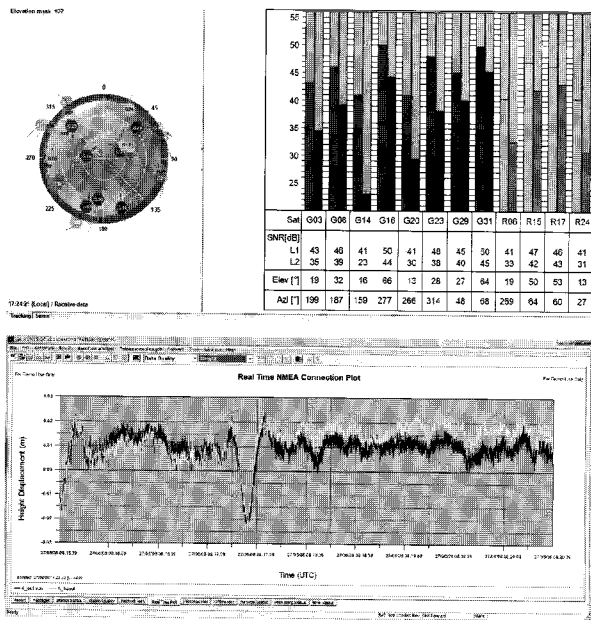


그림 4 실시간 위성분포 분석결과 및 보강형 중앙부 수직처짐(철도 통과시, 20Hz)

#### 4.2 Validation Testing 결과

GPS 데이터를 평가하기 위하여 유지관리를 이용하고 있는 고정밀 레이저처짐계의 결과와 비교하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 임의 지점에서 위성은 12개로서 상당히 양호하게 분포하고 있었으며, 6량 편성된 공항 철도 1대가 통과할 때 중앙부의 수직처짐의 변화를 비교·분석하였다. 철도 1대 통과시 GPS에 의한 보강형 수직처짐은 38mm~40mm로 나타났다. 또한 GPS데이터의 신뢰성을 확인하기 위하여 공항철도 2대가 교차 진행할 때 측정된 RTK GPS 와 기존에 운영중인 레이저처짐계와 비교하였으며(그림 5), 그 결과는 잘 일치하는 것으로 분석되었다.

### 5. 결 론

2007년 10월부터 진행 중인 영종대교 현수교의 구조전도 모니터링시스템 구축 중 RTK GPS 운영전략 및 진행과정을 소개하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 현재까지 시험운영 결과, 적용된 GPS기법은 해상의 대형 케이블교량의 형상관리 및 주요 위치에 대한 실시간 모니터링을 위한 매우 주요한 수단이라고 판단된다.
2. RTK GPS에 대한 Validation시험을 위하여 동일한 철도 차량이 교차 통과하였을 때 발생된 보강형 수직처짐을 레이저처짐계와 RTK GPS로 측정하였으며 그 결과 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

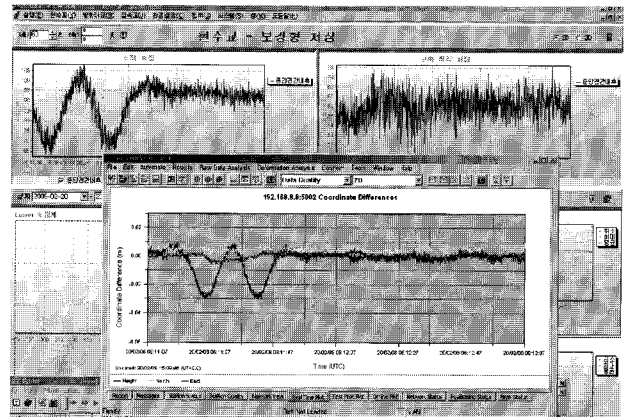


그림 5 Validation testing (상단:레이저처짐계, 하단:RTK GPS)

### 참 고 문 헌

1. I.H.Bae, et al., "A Study on the Self-Anchored Suspension Bridge Behavior Using GPS," The 4th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Seoul Korea, July 13-17, 2008
2. Gethin Roberts, et al., "Using GPS to Monitor the Forth Road Bridge", Shaping the Change XXIII FIG Congress, Germany, October 8-13, 2006

[ 담당 : 백종균, 편집위원 ]