GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템

문대중 / (주)이제이텍 연구소장
박지수 / (주)이제이텍 연 구 원

장대 교량의 안정성과 사용성을 합리적으로 확보하고 유지 관리하기 위해서는 구조 반응들을 주기적으로 평가할 필요가 있으며, 토목 구조물의 안정성과 사용성을 평가하기 위한 교량 거동 모니터링 기법에 관한 연구가 진행 중이다.

최근 들어 교량이 장대화되면서 기존 센서들의 한계성으로 인해 교량 모니터링이 효율적으로 운영되지 못하는 실정이다.

이러한 이유로 인공위성의 신호를 이용하여 3차원 위치를 정확하게 결정할 수 있는 광역적 위치결정체계인 GNSS(Global Navigation Satellite System)가 실시간 교량 거동 모니터링 시장에서 크게 대두되고 있다.

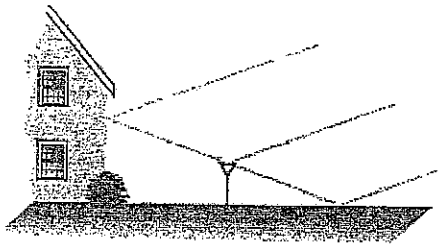

그림 1. 다중경로 오차

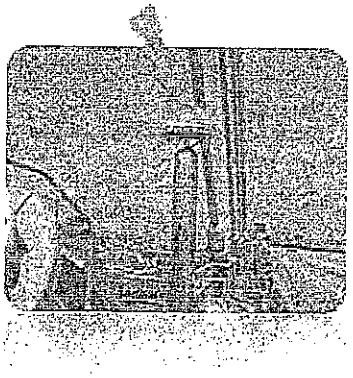

그림 2. 교량 상판에 설치된 GNSS

GNSS는 기존 모니터링 센서와는 달리 위성신호를 사용자가 원하는 위치정보나 실시간 변위 값으로 출력하기 위해 GNSS 데이터 처리 소프트웨어가 사용되며, 이러한 소프트웨어에는 위성신호 처리 기술이나 다양한 GNSS 오차 제거 기술이 포함되어 있다.

그러나 현재까지 국내 GNSS 데이터 처리 기술력은 해외 선진 기술력에 크게 뒤처지고 있는 실정이며, 교량 모니터링 시스템에 사용되는 GNSS 데이터 처리 소프트웨어는 대부분 해외 기술에 의존하고 있다.

그러므로 (주)이제이텍은 한국건설교통기술평가원에서 주관하는 '초장대 교량 사업단' 연구과제로 GNSS기반 교량 모니터링 기술의 국내 자립화를 위한 연구 개발을 수행하고 있다.

GNSS기반 교량 거동 모니터링 기술개발

교량 모니터링 시스템에서 GNSS의 발전은 최근 들어 급속히 진행되는 교량의 장대화 경향과 맞물려 진행되고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 교량이 점차 장대화되면서 기존에 교량의 변위를 계측하는 센서들이 한계가 나타나고 있다.

레이저 변위계는 측정거리가 멀어질수록 오차가 심하게 발생하고, 중앙경간 400m 이상에서는 사용이 어려우며, 안개나 기후에도 크게 영향을 받는다.

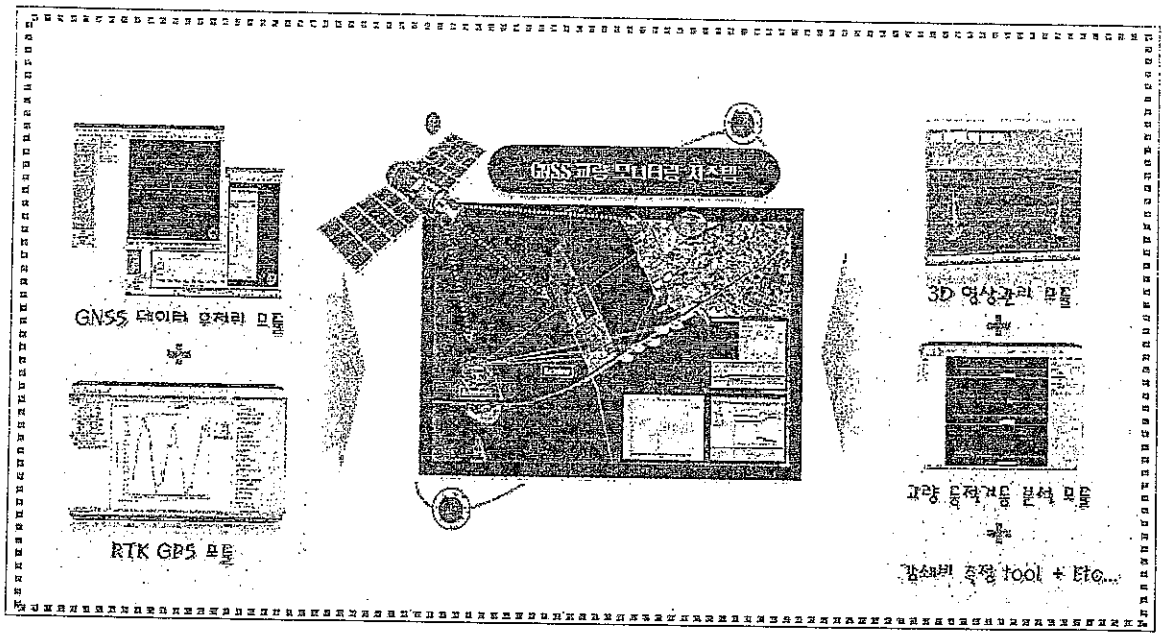

그림 3. GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템

또한, 측정점과 Reference 간의 상대 변위를 측정하기 때문에 Reference가 움직이는 경우에 측정점의 정확한 변위 측정이 어렵다. 그에 반해 GNSS의 경우 측정 거리에 영향을 받지 않으며, 기후에도 영향을 받지 않는다.

또한, 측정 지점의 3방향 절대 변위를 출력하기 때문에 특정한 산출식이 없이도 측정점의 정확한 변위 측정이 가능하여 최근 시공되는 장대 케이블 교량의 모니터링 시장에서 GNSS는 점차 선택이 아닌 필수가 되고 있다.

그러나 현재까지 GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템에 사용되는 GNSS 데이터 처리 소프트웨어는 기존에 측량에서 사용되던 범용 소프트웨어가 사용되고 있다. 범용 소프트웨어는 모든 환경에서 사용되기 때문에 어느 특정 환경에 대한 전문성이 부족한 경향이 있다.

또한, 다양한 옵션 기능이 수록되어 있어 서버에 과부하를 부를 수 있고, 가격이 상당히 고가이며 100% 해외 기술력에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 교량 환경에 전문화된 GNSS 데이터 처리 소프트웨어의 개발이 필요하며, GNSS 데이터를 활용한 교량의 동특성 분석까지 가능한 GNSS기반 교량 모니터링 시스템 개발이 요구되고 있다.

교량 전용 GNSS 데이터 처리 소프트웨어

교량 거동 모니터링 시스템에 적용되는 GNSS는 여러 오차 요인을 내포하고 있다. 이러한 오차는 추출되는 위치정보 및 변위 값의 신뢰도를 떨어뜨리게 되며 이따금 발생하는 과대 오차는 모니터링 시스템에 설정된 기준치 초과 알람 기능을 마비시킬 수 있다.

교량에 설치된 GNSS의 주된 오차 요인은 위성시계오차, 대류권지연, 트로퍼지연, 다중경로(Multipath), 신호단절(Cycle Slip) 등이 있다. 이중 앞선 시계오차, 대류권, 트로퍼지연 오차 등은 이중차분측위 방식의 조정과정을 통해 어느 정도 제거가 가능하며, 현재 통용되는 GNSS 데이터 처리 프로그램에서는 이러한 오차들을 제거하기 위하여 수많은 알고리즘이 개발되어 사용되고 있다.

GNSS기반 교량 모니터링 시스템에서 가장 주된 오차는 교량의 케이블과 주탑 및 이동차량에 의한 다중경로와 신호단절이며, 특히 이들은 결과 값의

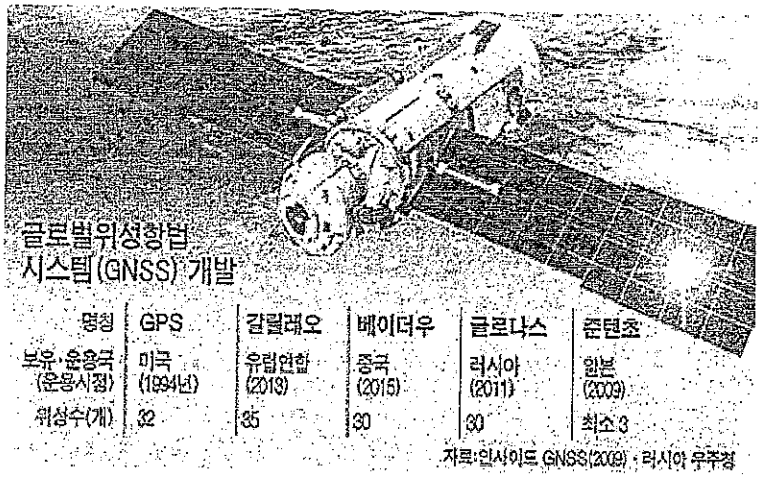

그림 4. 글로벌 위성항법 시스템(GNSS) 개발동향

과대 오차를 유발할 수 있기 때문에 더욱 중요하다. 그러나 현재 교량 건전성 모니터링 시스템에 사용되는 GNSS 데이터 처리 프로그램은 다중경로와 신호 단절 등으로 인한 Random 과대 오차를 줄이는 방법으로 칼만필터와 같은 Data Filtering 기법에만 의존하고 있는 실정이다.

그러나 교량에 설치되는 GNSS의 경우 관측지점에 반영구적으로 설치되고 관리되기 때문에 항상 어느 정도 일정한 주변 환경하에 존재한다 할 수 있다. 이는 달리 말하면 과대 오차에 대한 모델링이 가능할 수 있다는 것을 뜻하며, 실제로 500m 이상의 장경간 케이블 교량은 30분을 주기로 다중경로로 의심되는 과대 오차가 관측된다는 연구결과도 있다.

이러한 선행 연구 결과를 토대로 (주)이제이텍은 교량 환경에 특화된 GNSS 데이터 처리 소프트웨어를 개발하여 교량 환경에서 가장 주가 되는 다중경로 오차 및 기타 과대 오차를 소거하는 기술을 중점적으로 개발하고 있다.

GNSS기반교량 모니터링 시스템

GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템은 GNSS 데이터 처리 소프트웨어에서 출력되는 결과값을 이용하여 교량의 거동 형상을 관리하고 구조적 검토까지 이루어지는 시스템이다.

최근 들어 GNSS를 이용한 교량의 동특성 분석에 대한 검토가 활발히 진행되었고 그 가능성을 확보하였다. 이러한 연구를 통해 GNSS의 적용 범위가 점차 넓어지고 있으며, 추후 변위계뿐만 아니라 가속도계 및 경사계를 대체할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

(주)이제이텍은 '초장대교량 사업단' 연구 과업을 통해 GNSS 데이터를 이용한 교량의 동특성 분석 및 3D 형상관리까지 가능한 GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템을 개발 중이다.

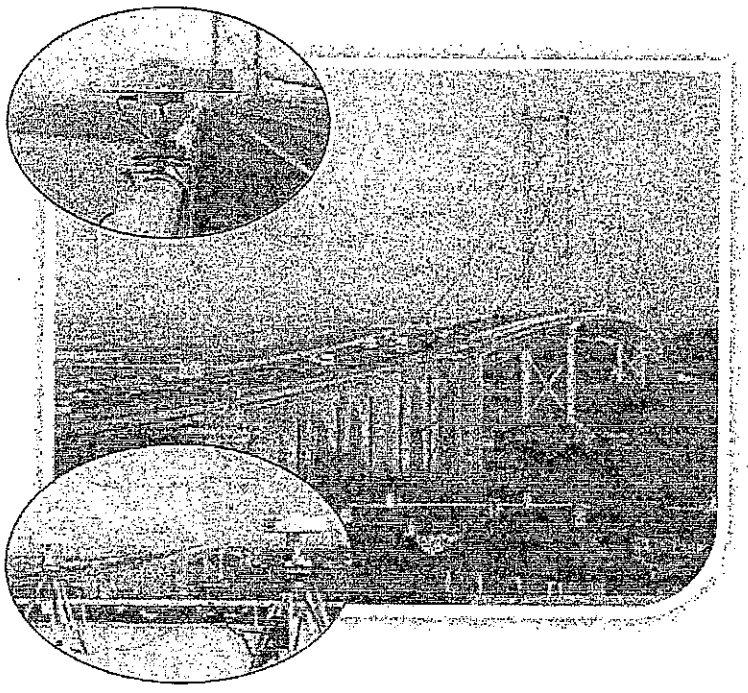

그림 5. IESSG의 GNSS Research

그림 6. 이제이텍-IESSG 기술교류 협정

이렇게 개발되는 GNSS기반 교량 모니터링 시스템은 기존 시스템의 단점 중 하나인 시스템의 과부하를 최소화할 수 있는 시스템이며, 교량 환경에 가장 적합한 데이터 처리 기술과 구조적 검토 및 3D 형상관리까지 가능한 신개념 모니터링 시스템이다.

또한, 기존에 해외 기술력에만 의존하던 GNSS 기술의 국내기술 자립화를 통해 얻는 경제적인 효과와 우주 항공산업 분야의 국가 경쟁력 확보까지 기대할 수 있는 기술이라 할 수 있다.

향후 전망

EU가 GALILEO Project를 2013년 정상운영할 것임을 발표함에 따라 GNSS시장을 둘러싼 경쟁이 세계적으로 뜨거워지고 있다.

한 예로 중국은 2015년까지 30기 이상의 위성을 궤도에 올릴 계획을 하고 있으며 자국의 GNSS 시장 매출을 500억 달러(약 69조 원)로 예상하고 있다. 이렇듯 세계 각국은 GALILEO가 정상운영을 하고 시스템을 정상적으로 이용하게 되는 2015년 이후를 기점으로 GNSS 시장이 급속도로 성장할 것으로 예측하고 있다.

EU의 GALILEO Project 개발에 따라 (주)이제이텍은 2010년부터 EU의 대표적 국가인 영국의 노팅엄 대학과 기술교류 협정을 맺어 GNSS기반 교량거동 모니터링 시스템 개발을 위한 공동 연구를 하고 있다.

노팅엄 대학의 IESSG group은 미국 텍사스 오스틴대학의 'ARL '과 더불어 세계 최고의 GNSS 신호처리 기술을 보유한 연구단이며, GNSS기반 교량거동 모니터링에 대한 수많은 연구를 진행 중이다. 최근에는 여러 가지 신호처리 기법을 통해 GNSS의 오차를 제거하고 데이터의 품질을 높이는 연구를 수행하고 있다.

앞으로 개발되는 GNSS기반 교량 거동 모니터링 시스템은 GALILEO Project의 진행에 발맞추어 GALILEO 위성 신호를 수신할 수 있는 최신 리시버와 안테나를 사용하여 기존의 GPS 및 GLONASS 신호뿐만 아니라 GALILEO 위성 신호까지 처리할 수 있는 시스템이다.

이러한 신호처리 프로그램 개발은 앞으로 일어날 GNSS 시장의 큰 변화를 대비하고, 앞선 기술력을 바탕으로 GNSS기반 교량 거동 모니터링 시장을 선도할 수 있게 될 것이다.