

GPS측량기법을 이용한 교량경보시스템 개발

Development of Bridge Warning System by Using GPS Surveying Method

서동주* · 노태호* · 이종출**

Seo, Dong Ju · Roh, Tea Ho · Lee, Jong Chool

要 旨

오늘날 과학과 경제성장의 급속한 발달로 인해 많은 시설물들이 건설되어 왔다. 그중 교량은 도로의 기하구조적인 문제로 대형화되어 가는 추세이다. 그리고 현재 측량기법중 위성측량의 방법은 다양하게 실용화하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 위성측량 기법중 RTK GPS 방법을 이용하여 종래에는 계측기로만 가능했던 교량변위를 측정하고, RTK GPS 관측값의 검증에 대해 토탈스테이션으로 검증하였다. 검증후 객체지향적 언어인 Delphi를 이용 교량경보시스템을 개발하고 적용시켜 보았다. 연구결과 0.2~8.3mm정도의 검증오차가 나타나므로 장대교량인 경우에는 실용 가능하다고 판단된다.

ABSTRACT

A recently lot of facilities have been constructed from rapidly development of science and economic growth. Among them, bridges are tending to be large because of geometrical problems of the road. And then the method of satellite surveying is being practical use variously out of present surveying methods. Therefore in this study it takes a measurement of bridge displacement using the RTK GPS Mode instead of the using mechanical measurement system. The observation value was verified by using Total Station to inspect observation value of RTK GPS. And then, by using the Delphi of object intending language, developed bridge warning system and applied it.

The result of this study was found verification error of 0.2~8.3mm, therefore the measurement of bridge displacement of grand bridge can be applied by using RTK GPS.

1. 서 론

경제 성장의 급속한 발달로 많은 인프라 시설들을 건설하게 되었다. 그 중에서 주요 구조물중 하나인 교량은 토목기술의 발달과 환경친화적 건설에 따라 대형화가 가속되었다. 그러나 현재는 과거에 대형화가 되었던 교량들의 안전성 문제가 대두되고 있다. 특히 노후화된 교량은 유지관리에 많은 인력과 예산이 필요하므로, 교량의 안전상태를 손쉽게 모니터링 할 수 있는 기법의 개발은 시급하다고 할 수 있다.

교량 경보시스템은 교량을 보다 효율적으로 관리하여 교량의 사용성과 안전성을 증가시키며, 효율적인 유지관리차원을 위한 경제적, 기술적인 결정체라고 할 수 있다.

급속한 경제발전을 하는 동안 크고 작은 교량의 안전사고를 겪으면서 교량의 경보시스템에 대한 중요성이 높아진 지금에 있어서 교량의 효율적인 유지관리를 위한 객관적이고 합리적인 시스템을 구축하는 것은 무척 중요한 일이다. 특히, 외국에서는 교량경보시스템을 통해 축적된 데이터를 바탕으로 교량의 노후화 과정을 일정한 모델로 제시하고 있으며, 이를 바탕으로 교량의 잔존수명 및 상태등급을 적절히 산정할 수 있는 방안을 마련해 놓고 있다.

우리나라에서는 1980년대 후반부터 교량 유지관리 시스템에 대한 연구개발을 추진하여 왔으나, 기술적, 경제적인 어려움으로 인해 지연되어 오다가 최근에 들어서 활성화되고 있다.

1995년 P. A. Collier¹⁾는 동적GPS측량을 이용하여 변형을 측정하는 연구를 수행한 바 있으며, 같은 해 W. F. Rucker 등²⁾은 도로교량에서 연속하중과 조건을 모니터링 하는 연구를 수행하여 발표하였다.

*정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정

**정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수

1996년 H. Lan³⁾은 RTK GPS를 이용하여 구조물의 설계, 거동과 결과에 대한 연구를 한바 있고, 1997년 V. Ashkenazi 등⁴⁾은 GPS에 의한 교량의 거동을 모니터링하는 연구를 발표하였다.

그후 2001년 C. Ogaja 등⁵⁾은 온라인 구조물 모니터링을 위한 동적 GPS시스템을 연구한 바 있다.

한편 국내에서도 구조물 거동 모니터링에 대한 연구가 활발히 진행되어, 1998년 이⁶⁾는 GPS관측기법별로 흙댐구조물의 변형량을 측정하여 그 이용가능성을 제시하였으며, 2001년 강 등⁷⁾은 수치근접사진측량기법을 이용, 효율적인 교량의 하중변화에 따른 3차원 변위 데이터 도출을 모색함으로써, 구조물의 안전진단은 물론 순간 변형 및 거동해석, 정밀 측정을 요하는 각종 산업분야에의 폭넓은 응용가능성을 제시하였다.

본 논문에서는 교량정보시스템의 자료 구축에서 GPS측량을 이용하여 보다 경제적이고, 정확한 자료정보를 제공하고자 한다. 이를 위해서는 실시간 동적 GPS 방법을 사용하여 실시간 교량의 변형을 모니터링하고, 검증에 위해 대상 교량에 GPS와 함께 토탈스테이션을 이용하였다. 실험대상지역은 부산광역시에 위치하고 있는 교량 2개소를 선정하였고, 교량의 거동상태를 측정하여 변위자료를 취득하였다. 측정된 변위자료를 이용하여 부경대학교 측량 및 지형 공간 정보 연구실에서 개발한 경보 시스템에 적용하여 교량의 변형을 모니터링을 하였다.

2. GPS이론 및 유지관리차원의 경보시스템

2.1 GPS 이론

실시간 동적측위방법은 짧은 시간에 연속적으로 많은 자료취득이 가능하다. 그리고 일반적으로 실시간 GPS 동적측위법에서는 수신기 및 모뎀의 성능이 정밀도에 큰 영향을 주는데, 본 연구에서는 초기화 시간을 길게 하여 지형 여건에 따른 신호단절현상을 보완하였다.

GPS 상대측위에서 관측값은 기본적으로 의사거리, 반송파, 연속적 도플러 측정등 세가지 형태로 관측된다. 의사거리는 GPS위성의 전송신호와 수신기의 수신신호에 대한 시간차로서 구해진다. 그러나 수신기시계와 GPS시계의 정밀도가 다르므로 관측거리는 시계 오차의 영향을 받는다. 반송파는 수신기로 인입되는 반송파 위상과 수신기 내부에서 복제된 반송파간 위상차이가 발생하며, mm수준의 정확도로 거리를 관측할 수있다. 연속적 도플러 측정은 인

입되는 반송파의 연속적인 도플러 편의로 만들어지며, 이러한 편이는 수신기와 위성의 상대적 운동으로 발생한다. 주로 이동대상의 속도측정에 사용 될 수 있고, 본 연구에서 사용한 GPS 수신기는 5mm/sec 정확도의 연속적 도플러 주파수를 측정할 수 있다. 따라서, GPS 관측값은 시계 오차, 수신기 잡음, 위성궤도 등의 오차와 지구 대기권의 전리층과 대류권 지연, 수신기의 환경적 요인인 다중경로와 같은 오차를 포함한다. GPS 상대측위는 이들 오차를 소거하거나 상당부분 감소시킨다.

본 연구에서는 동적인 상대측위기법에서 발생하는 우연 오차를 소거하는 후처리 프로그램을 사용하였다.

실시간 GPS 동적측위방법은 기지국을 중심으로 변조장치(Modem)를 이용하여 이동국에 오차량을 전송함으로써 이동국의 위치 정확도를 향상시키는 방식이다. 실시간 동적 측위는 오차보정량을 전송하는 신호 형식에 따라 코드만을 사용하는 RTCM(Radio Technical Commission for Marintime Service), NMEA (National Marine Electronics Association)과 반송파 방식의 CPD(Carrier Phase Differential)로 나눌 수 있다. 실시간 동적 측위의 구성은 기지국과 이동국으로 구성되어 있으며, 기지국은 위성신호를 수신하는 위성 안테나와 기지 좌표성과와의 차이를 발견하고 그 차이값을 변조하는 변조장치, 이를 통하여 이동국으로 전송하기 위해 신호를 증폭시키기 위한 증폭기로 구성되어 있다. 이동국은 기지국에서 발송되는 전파를 수신할 수 있는 안테나와 위성신호를 수신할 수 있는 안테나, 그리고 관측점에 대한 자료입력을 위한 자료제어기로 구성되어 있다. 아래 그림 1에서 측정 시스템모습은 나타내었다.

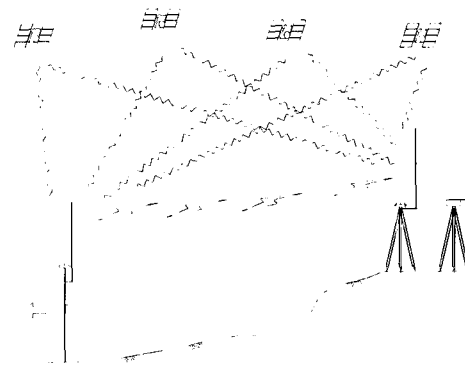


그림 1. 실시간 GPS 동적측위 모습

2.2 유지관리차원에서의 경보시스템

현재 교량구조물의 장대화와 복잡화가 가중되면서 교량의 유지관리차원에서의 경보시스템구축은 불가피한 실정이다. 교량구조물의 경보시스템의 3가지 목적은 다음과 같다.⁹⁾

첫째, 구조물의 유지관리 정보를 제공하는 경보 시스템의 각종 자료들은 교량 내하력 평가의 중요자료로 사용된다. 즉 현재 교량의 사용성 및 안전성 평가에 매우 중요한 정보가 된다. 둘째, 통행의 안전성 확보 및 교통관리 원활화이다. 현재 공용중인 교량의 대부분은 날로 증가하는 교통량과 통행차량의 대형화 등으로 인하여 설계당시 목표로 했던 하중조건에 비해 더 큰 하중을 부담하고 있는 경우가 많다. 지난날의 교량 붕괴 사고에서 볼 수 있듯이 교량 붕괴사고는 대형사고로 이어질 뿐 만 아니라 교통흐름에 막대한 지장을 초래하여 경제적, 시간적 손실을 가져오게 한다. 그러므로 교량에 초과하중이나 이상변형이 발생했을 때, 또는 바람, 지진과 같은 자연적 재해로 인하여 붕괴 상태에 가까워 졌을 때, 또는 교량 본래의 제구실을 하지 못하는 사태가 발생할 경우 경보시스템의 작동으로 차량 및 보행자의 안전을 확보하고자 한다. 셋째, 기술개발을 위한 유용한 정보제공 및 자료축적, 특수한 환경하에서는 보다 실질적이고 정밀한 측정이 요구되면 문서 및 기록이 병행되고 이에 부합되는 구체적인 관리방안이 제시될 수 있다. 특히 과재 하중, 가속도, 모멘트 등과 같은 부분은 연구 및 보고되어야 하는 중요한 사항이며 차량이나 지진, 바람 등의 하중에 의한 교량거동을 측정함으로써 특수교량 해석 및 설계에 중요한 자료를 축적할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 유지관리차원의 경보시스템을 실시간 동적 GPS에 연계하여 경제적이고 편리한 방법으로 교량 구조물의 경보시스템을 개발하고자 한다.

3. 교량 변위관측 및 검증

3.1 교량변위측정

본 연구에서는 대상교량을 두 개소(A,B) 선정하였다. A 교량은 비교적 노후화된 구조물이며, 큰 값의 변위량을 취득하기 위하여 부산광역시에도 도심에 있는 교량을 선정하였고 제원은 표 2와 같다. 특히 A 교량은 차량의 통행이 빈번하고, 대형차량 혼입율이 다소 높은 도심지의 교량이다. 그리고 B교량은 남해고속도로 상에 위치하고있으며, 이 교량을 주행하는 차량은 고속으로 통행을 하고, 교통량이 많은 교량이며, 제원은 표 3에 나타내었다.

본 연구에서는 관측시 연구 대상 교량에서 변형이 가장 많다고 생각되는 부분인 교량의 지간 중앙부에 국한하여 GPS를 설치하여 측정하였다. 그리고 측정간격시간은 1초로 자료를 전송 받았고, 특히 자료의 신뢰성을 높이기 위하여

표 1. A교량 제원

구분	내용	구분	내용
준공년	1988년	차선수	왕복4차로
형식(상부)	PSC Beam	설계하중	DB-24
교폭	26.8 m	교장	170m
경간장	25 m	유효폭	22.8m
허용치집식	L/1000	허용치집량	25mm

표 2. B교량 제원

구분	내용	구분	내용
준공년월일	1973년	차선수	면도 2차로
형식(상부)	P.C	설계하중	DB-18
교폭	11.3 m	교장	1336.1m
경간장	76 m	유효폭	10.8m
허용치집식	L/800	허용치집량	95mm

표 3. 관측장비 제원

Modes	Trimble 4600LS		TRIMTALK 450S	
	Channels	L1/12	Range	10km
Specification (Kinematic -mode)	Accuracy	Horizontal	±1cm +1ppm	Frequency single 10MHz band per unit
		Vertical	±2cm +1ppm	
	Transmit Power		0.5W	

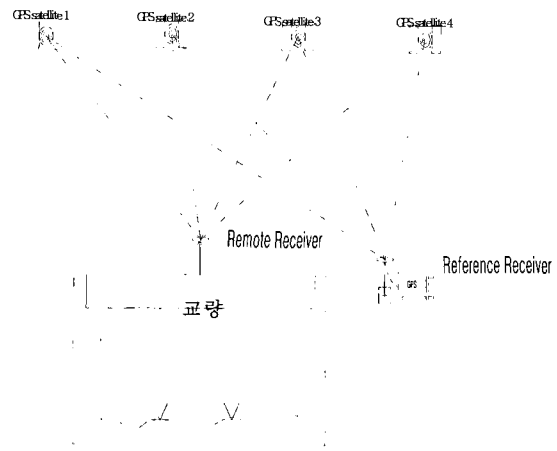


그림 2. 교량변위검증 측정 모습

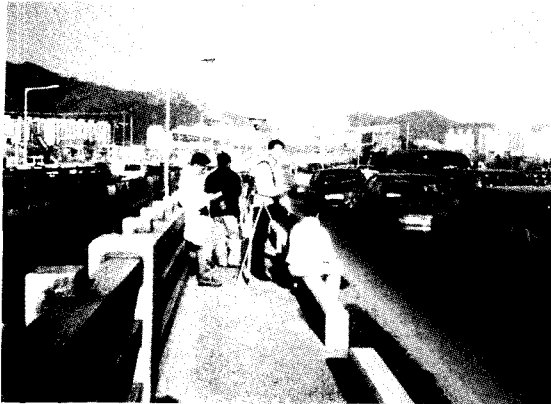


그림 3. 교량변위측정 모습

여 위성수신기의 초기시간을 길게 하였다. 본 연구에서 사용한 장비의 제원은 표 3과 같고, 실시간 위성측량 시스템 모습은 그림 2와 같다. 이 연구대상교량인 A교량의 변위 측정모습은 그림 3과 같다. 대상교량 중 A교량은 1746개 Data를 취득하였고, B교량은 1257개 Data를 취득하였다.

3.2 교량변위 측정값의 검증

본 논문에서는 실시간 동적 GPS의 측정한 자료를 검증하기 위하여 교량재하시험을 통한 측정값을 이용하거나, 기존의 자료를 수집후 검증하여야 한다. 그러나 교량재하시험은 경제적면과 교통통제에 따른 제반적인 문제로 인

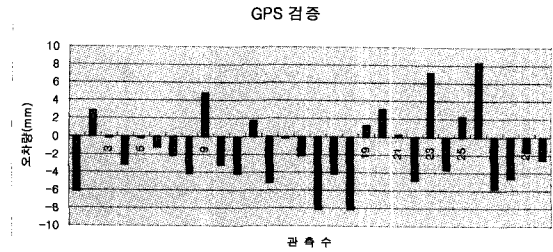


그림 4. A교량변형량 검증(Z좌표)

하여 실시하지못하였고, 기존자료는 보수, 보강전에 자료만 있어 검증자료를 활용하기가 어려운 상태였다.

그래서 본 연구에서는 검증방법을 토탈스테이션의 3차원좌표측정중 Coarse 방법을 사용하였으며, 측정은 프리즘의 흔들리는 관계로 측정시 추적을 하면서 검측 하였다. 검측 교량은 A교량의 주변에는 약 5m 떨어진 부근에 구교량이 있고, 대상교량은 주변 여건상 약5m정도에 구교량이 있고, 그 교량에는 차량이 거의 통행하지 않는 상태이고, 실험시간동안은 차량통행이 없었다. 본 연구에서는 구교량에서 토탈스테이션을 설치하고 스톱워치를 사용하여 측정시마다 시간을 기록하였다.

표 4는 측정후 GPS 측량자료와 토탈스테이션측량자료의 시간대별 편차량을 나타낸 것이다. 본 연구에서 검증해 본 결과 Z좌표에서 0.2mm~8.3mm의 편차가 나타났으며,

표 4. A교량 변형량의 검증(Z좌표)

횟수	GPS 좌표(m)	T/S 좌표(m)	편차(mm)	횟수	GPS 좌표(m)	T/S 좌표(m)	편차(mm)
1	0.6390	0.6452	-6.2	16	0.6370	0.6452	-8.2
2	0.6480	0.6452	2.8	17	0.6410	0.6452	-4.2
3	0.6450	0.6452	-0.2	18	0.6370	0.6452	-8.2
4	0.6420	0.6452	-3.2	19	0.6480	0.6448	1.2
5	0.6450	0.6452	-0.2	20	0.6480	0.6449	3.1
6	0.6440	0.6452	-1.2	21	0.6450	0.6448	0.2
7	0.6430	0.6452	-2.2	22	0.6400	0.6449	-4.9
8	0.6410	0.6452	-4.2	23	0.6520	0.6449	7.1
9	0.6500	0.6452	4.8	24	0.6410	0.6447	-3.7
10	0.6420	0.6452	-3.2	25	0.6470	0.6447	2.3
11	0.6410	0.6452	-4.2	26	0.6530	0.6447	8.3
12	0.6470	0.6452	1.8	27	0.6390	0.6448	-5.8
13	0.6400	0.6452	-5.2	28	0.6400	0.6447	-4.7
14	0.6450	0.6452	-0.2	29	0.6430	0.6447	-1.7
15	0.6430	0.6452	-2.2	30	0.6420	0.6446	-2.6

편차량을 그림 4에서 나타내었다. 본 연구의 실시간 동적 GPS측량을 이용한 교량변위 측정값은 검증한 결과 A교량의 편차가 허용치집량 95mm의 약 9%정도 나타났다. 이를 토대로 고찰할 때 장대시간교량의 경우 교량정보시스템구축을 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 교량 경보시스템 개발 및 적용

4.1 교량 경보시스템 개발

본 연구에서는 부경대학교 측량 및 지형공간정보연구실에서 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 교량경보시스템을 개발하였다.

개발된 시스템을 보면 먼저 실시간 동적GPS측량의 자료를 저장하여, RINEX(Receiver INdependent EXchange Format) 자료를 시스템에 입력할 수 있는 File로 변환, 처리한다.

자료처리가 끝나면 상위메뉴에서 대상교량을 선택하여 선택된 교량의 자료도 함께 선택한다. 여기서 그림 6에 보

는바와 같이 측정된 자료는 X, Y, Z축을 선택할 수 있도록 하였으며, 변위측정이라는 메뉴를 선택하면 축별 변위모습이 시간에 흐름에 따라 보여진다.

특히, 교량의 변위는 Z축의 값들이 중요하므로, 대상교량에서 GPS측량한 변위량을 상한치 하한치를 설정하여 상하한계치의 변위량이 발생되면 경보음을 울리게 하였고, 그 상하한치에 벗어나는 것을 카운터하여 반복한 횟수로서 보고서에 기록하게 하였다. 본 연구에서 개발한 경보시스템의 순서도는 그림 5와 같다.

4.2 시스템 적용

본 연구에서는 일반적으로 교량경보시스템의 변위 측정용으로 사용하고 있는 계측장비의 비경제적이고 비효율적인 측면을 고려하여, 위성측량방법중 실시간측위기법을 이용하여 교량의 변위를 측정하였다.

먼저, 구조공학적인 측면에서의 교량의 X축은 교축방향이며, 교축의 직각방향을 Y축으로하고 있다. 그러나 본 연구의 시스템적용에서는 측량공학적인 측면에서의 평면직

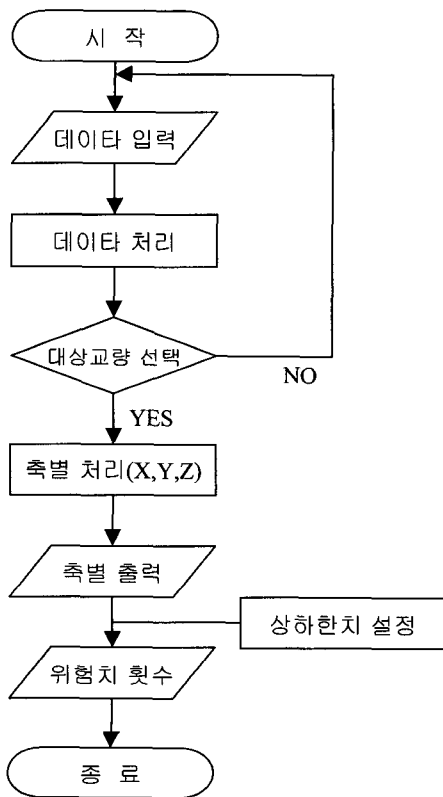


그림 5. 경보시스템 순서도

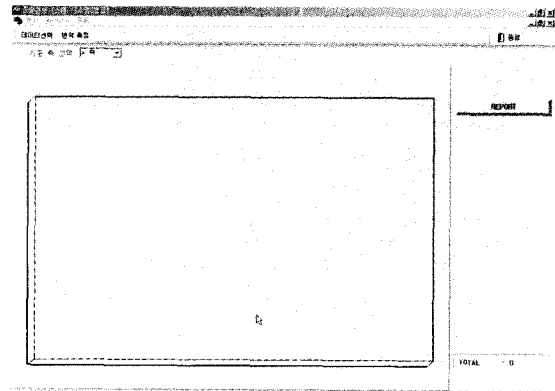


그림 6. 개발한 경보시스템 초기화 화면

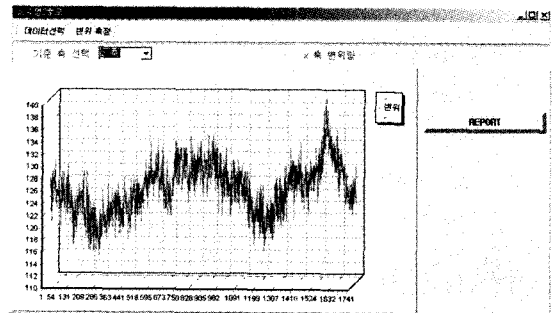


그림 7. A교량 X축 변위량 모습

교좌표계의 X축, Y축으로 간주하여 개발하였다.

본 연구에서는 A교량인 경우 1초간격으로 1746개의 자료를 취득하였으며, 그 자료는 X, Y, Z축 으로 자료를 변환

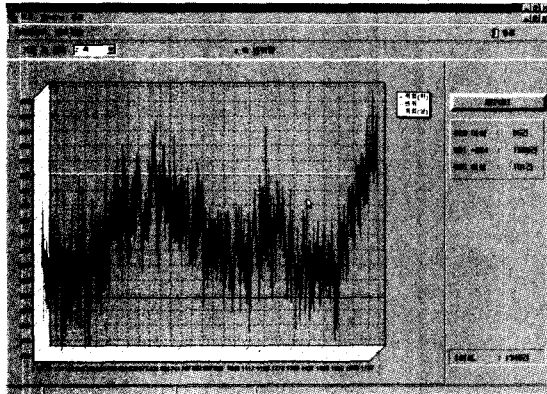


그림 8. A교량 Z축 변위량 모습

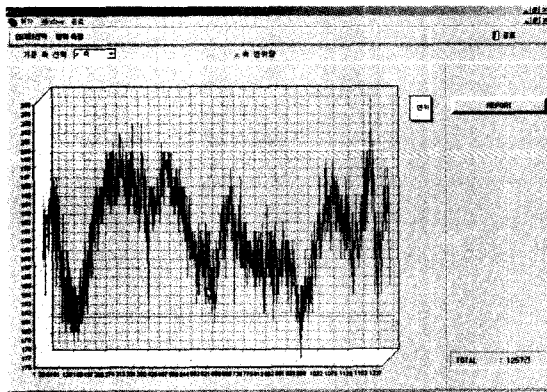


그림 9. B교량 X축 변위량 모습

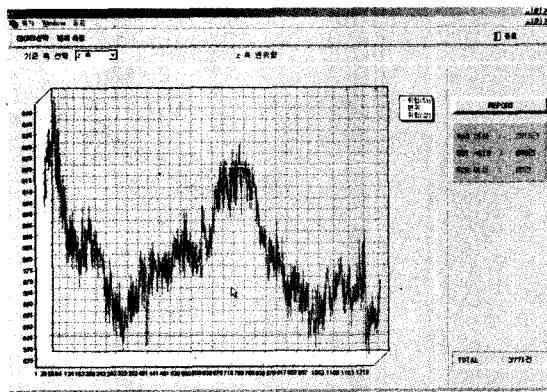


그림 10. B교량 Z축 변위량 모습

시켜 개발한 시스템에 적용하였다. 그림 7에서 와 같이 X, Y축의 적용하여 나타난 모습은 가로축은 1초간격의 취득한 자료수이며, 세로축은 변위량을 나타내었으며, 그 변위의 상하한계치를 설정하였다.

교량 변위중에서 위험을 줄 수 있는 Z축 변위량은 교량의 처짐량이므로, 도로교시방서에서 규정하는 허용처짐량을 하한계치로 설정하였다.

A교량인 경우 PC교이고, 경간이 25m이므로 허용처짐량이 25mm로 규정되어 있다. 그러나 본 경보시스템에 과다 처짐의 경보음과 위험횟수를 나타내기 위하여 하한계치는 22.5mm로 설정하여, 상하한계치를 45mm로 설정하였다. 그리고 취득된 자료를 시스템에 적용해본 결과 1746개 자료중 85건의 하한계치를 벗어나는 것으로 나타났다. 그림 8은 A교량의 Z축 변위량을 보여주는데 X,Y축이 시스템에서 보여주는 것과 같으며, 특히 상하한계치를 벗어나는 횟수를 기록하게하고 경보음도 울리게 하였다.

B교량인 경우 1초간격으로 1257개의 자료를 취득하였으며, 그 자료는 X, Y, Z축 으로 자료를 변환시켜 개발한 시스템에 적용하였다. 그림 9에서와 같이 X, Y축의 적용하여 나타난 모습은 가로축은 1초간격의 취득한 자료수이며, 세로축은 변위량을 나타내었으며, 그 변위의 상하한계치를 설정하였다.

교량의 Z축 변위량은 교량에 처짐이므로, 도로교시방서에서 규정하는 허용처짐량을 하한계치로 설정하였다.

B교량은 고속도로상에있는PC교이고, 경간이 76m이므로 허용처짐량이 95mm로 규정되어 있다. 그리고 A교량의 경우처럼 경보시스템에 과다 처짐의 경보음과 위험횟수를 나타내기위하여 하한계치는 40mm로 설정하여, 상하한계치를 80mm로 설정하였다. 그리고 취득된 자료를 시스템에 적용해본 결과 1257개 자료중 301건의 하한계치를 벗어나는 것으로 나타났다. 그림 9는 A교량의 Z축 변위량을 보여주는데 X,Y축이 시스템에서 보여주는 것과 같으며, 특히 상하한계치를 벗어나는 횟수를 기록하게하고 경보음도 울리게 하였다.

본 연구에서 일반적인 계측장비에 비해 다소 자료의 양은 부족하였으나, 경제적이고 합리적인 방법으로 결과를 얻을수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서 GPS측량기법을 이용한 교량경보시스템 개발에 대해서 연구해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 교량의 유지관리 및 재해예방차원에서의 교량정보 시스템을 실시간 동적 GPS측량 이용하여 구축해 본 결과, 정보시스템의 자료구축에 위성측량 자료를 적용할 수 있었다.

둘째, 실시간 동적GPS의 자료를 토달스테이션으로 검증한 결과 0.2~8.3mm 정도의 오차가 나타나 교량의 안전 여부를 판정하기는 다소 큰 값이나, 시간이 긴 장대교량경우에 변위측정을 이용한 정보 시스템 구축에는 이용 가능한 것으로 사료된다.

셋째, 앞으로 GPS 측위방법으로 교량의 변위측정에 적용을 위해서 GPS수신기에서 측정된 자료를 On-line을 통하여 원활하게 시스템에 전송하고 분석할 수 있는 보완적인 연구가 요망된다.

참고문헌

1. P. A. Collier, "Deformation Surveys by Kinematic GPS", 3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys, 1995, pp. 9-19.

2. Rücker W. F, Sai S, Rohrmann R. G. and Schmid W., "Continuous load and condition monitoring of a highway bridge", IABSE Symposium San Francisco, Vol. 73/2, 1995, pp. 1105-1110.

3. Hubiao Lan, "Development of a Real -Time Kinematic GPS System : Design, Performance and Result", Depart. of Geomatics Engineering, the University of Calgary, Canada, 1996, pp. 14-17.

4. V Ashkenazi, A H Dodson, T Moore and G W Roberts, "Monitoring the Movements of Bridges by GPS", ION GPS-97 PART 2 OF 2.

5. Clement Ogaja, Chris Rizos, Jinling Wang, "A Dynamic GPS System for on-line Structural Monitoring", The University of New South Walse, 2001.

6. 이진택, "Kinematic GPS 측량기법에 의한 구조물의 변형 모니터링", 한국측지학회지, 제16권 제1호, 1998, pp. 27-40.

7. 강준목, 주영은, 엄대용, 김위현, "교량의 안전진단을 위한 3차원 변위해석", 한국측량학회지, 제19권 제1호, 2001, pp. 47-53

8. 이종출, "동적GPS 관측에 의한 도로의 평면선형분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호, 2001, pp. 39-46.

9. 최철식, 2층 트러스교량의 계측관리시스템구축에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교, 1997.

(2002년 11월 16일 원고접수)