

## GPS를 이용한 구조물 변위 관리 시스템 개발

# Development on Management System of Structure's Displacement Using GPS

노태호\*·이종출\*\*

Roh, Tae-Ho · Lee, Jong-Chool

### 要 旨

오늘날 과학과 경제 성장의 급속한 발달로 인해 많은 시설들이 건설되어 왔으며, 그 중에서 구조물들은 기술의 발달 및 제한적 공간의 효율적 사용으로 인하여 대형화 및 고층화가 가속되고 있는 실정으로 인해, 많은 구조물의 안전성 문제가 대두되고 있다. 특히, 과거의 노후화된 구조물은 유지 관리에 많은 인력과 예산이 필요하며, 구조물의 안전 상태를 손쉽게 모니터링 할 수 있는 기법의 개발은 시급하다고 할 수 있다. 그러므로 구조물의 유지 관리 시스템은 구조물을 보다 효율적으로 관리하여 구조물의 내구성과 안전성을 증가시키며, 구조물 거동 시스템은 효율적인 유지 관리 차원을 위한 경제적, 기술적인 결정체라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 위성을 이용한 GPS 측량방법으로 보다 경제적이고 정확한 자료를 취득하고, 구조물의 안전 상태가 자동 모니터링 되는 구조물 거동 정보 시스템을 개발하였다. 이렇게 개발된 구조물 거동 시스템은 구조물 거동의 절대 변위를 측정하여 구조적 변형, 손상 감지 등을 지속적으로 모니터링 함으로써 신뢰성과 안전성을 증진시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### Abstract

Many facilities have been constructed due to the rapid development of science and economy, and the tendency for larger sizes and higher stories in constructing are being accelerated due to the development of technologies, and the efficient use of limited spaces. The safety problems of constructions are being frequently brought up. So, a technique by which the monitoring of the safety of constructions can be easily done must be developed as soon as possible. In this research, an management system for structure's displacement using satellite survey was studied. The results of having established the management system for structure's displacement as a GPS positioning system were that data acquisition was easier than that from using normal survey equipment, and data from the satellite survey can be applied to the database of management system. The data of the GPS survey were rather large values to determine the safety of single stories, but can probably be used in establishing the management system using the structure's displacement.

## 1. 서 론

과학과 경제 성장의 급속한 발달로 인해 많은 시설물들이 건설되어 왔으며, 그 중에서 구조물들은 기술의 발달 및 제한적 공간의 효율적 사용으로 인하여 대형화 및 고층화가 가속되고 있는 실정이다.

이로 인해, 많은 구조물의 안전성 문제가 대두되고 있다.

특히, 과거의 노후화된 구조물은 유지 관리에 많은 인력과 예산이 필요하며, 구조물의 안전 상태를 손쉽게 모니터링 할 수 있는 기법의 개발은 시급하다고 할 수 있다.

이러한 구조물의 상태를 모니터링할 수 있는 연구가

많이 진행중이며, 인공위성을 이용한 범지구 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)는 초기에는 군사적인 목적으로 이용되었지만, 지금은 자동차, 비행기, 선박 등의 항법은 물론 측지 및 측량분야, 지각 및 구조물의 변위 감시, 우주, 통신, 국방 분야 등 매우 광범위한 분야에 활용되고 있으며, 그 이용도가 급속히 증가하는 추세에 있다.

특히, SA의 해제 이후, GPS를 이용하여 수 mm정도의 정밀도로 위치 및 변위 측정이 가능하므로 지각, 단층 등의 자연물은 물론 가스시설, 교량, 건축물, 댐 등 각종 구조물의 미세 변위를 관측 및 감시하여 재해를 사전에 예

\* 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수로

\*\* 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수

방하고자 하는 방재분야에서의 응용이 국내외적으로 큰 주목을 받고 있다.

이러한 GPS를 이용하여 국외에서는 1995년 P. A. Collier<sup>1)</sup>는 동적 GPS측량을 이용하여 변형을 측정하는 연구를 수행한 바 있으며, 같은 해 W. F. Rucker 등<sup>2)</sup>은 도로교량에서 연속하중과 조건을 모니터링하는 연구를 수행하여 발표하였다.

1996년 H. Lan<sup>3)</sup>은 RTK GPS를 이용하여 구조물의 설계, 거동과 결과에 대한 개발을 연구한 바 있고, 1997년 V. Ashkenazi 등<sup>4)</sup>은 GPS에 의한 교량의 거동을 모니터링하는 연구를 발표하였다.

그 후 2001년 C. Ogaja 등<sup>5)</sup>은 온라인 구조물 모니터링을 위한 동적 GPS시스템을 연구한 바 있다.

한편 국내에서도 구조물거동 모니터링에 대한 연구가 활발히 진행되어, 1998년 이<sup>6)</sup>는 GPS관측기법별로 흙댐 구조물의 변형량을 측정하여 그 이용 가능성을 제시하였으며, 2000년 배<sup>7)</sup>는 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.

또한, 2001년 이 등<sup>8)</sup>은 위성측량을 이용하여 교량경보 시스템 구축을 연구하여 교량경보시스템 구축에 GPS측량기법의 활용가능성을 제시한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 연구 대상 구조물을 GPS에 의해 측정하며, 이렇게 취득된 GPS의 자료를 이용하여 구조물의 거동을 모니터링 할 수 있는 시스템 구축의 기초적인 연구를 하였다.

취득된 GPS 자료는 부경대학교 측량 및 지형공간정보 연구실에서 보유하고 있는 객체지향 파스칼 언어인 델파이를 이용하여 버턴식 이미지 핸들러에 의한 구조물 거동 정보 시스템을 개발하였다.

개발된 구조물 거동 정보 시스템은 대상 구조물의 임

의 거동 한계치를 설정하여, 위험 범위에 도달하면 경보음과 동시에 반복 횟수를 나타내게 하였다.

## 2. NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS(NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System)는 1973년부터 미국방부에 의해서 제작된 위성이 발사하는 Radio파를 매체로 한 정밀 항법 및 3차원 측위결정의 체계이다. 시스템의 구성은 6개의 궤도에 4개의 위성인 우주부문, 제어국과 추적국으로 구성되는 제어부문, 그리고 수신기 등을 포함하는 사용자 부문으로 나눌 수 있다.

### 2.1 Real Time Kinematic

RTK(Real Time Kinematic) GPS의 측정원리는 기지국을 중심으로 변조장치를 이용하여 이동국에 오차량을 전송함으로써 이동국의 위치 정확도를 향상시키는 것이 실시간 동적 GPS 측위 방식이다. 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

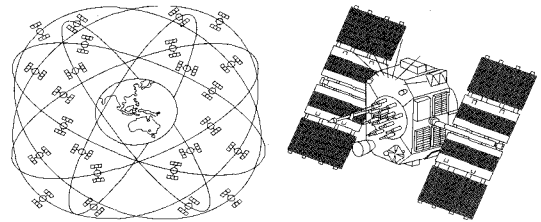


그림 1. GPS의 궤도 및 위성

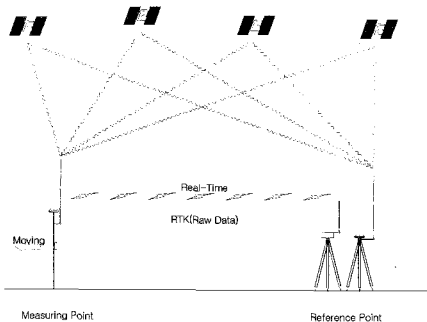


그림 2. RTK GPS 측위방법의 구성

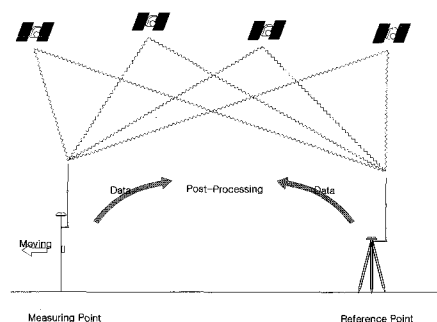


그림 3. DGPS 측위방법의 구성

안테나와 위성신호를 수신할 수 있는 안테나, 그리고 관측점에 대한 자료입력을 위한 자료제어기로 구성되어 있다<sup>9)</sup>.

## 2.2 Differential GPS

DGPS(Differential GPS)는 이미 알고 있는 기지점 좌표를 이용하여 오차를 최대한 줄여서 이용하기 위한 위치결정 방식으로, 기지점에서 기준국용 GPS수신기를 설치, 위성을 관측하여 각 위성의 의사거리 보정값을 구하고 이 보정값을 이용하여 이동국용 GPS 수신기의 위치 결정오차를 개선하는 위치 결정방식이다.

## 3. 유지 관리 차원의 변위 관리시스템

건물 및 부대시설의 크기는 점점 더 대규모화될수록 그에 대한 위협도는 증가하므로 이에 대한 보다 나은 유지관리시스템의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 대규모 구조물의 변위 관리시스템의 목적은 다음과 같다.

첫째, 구조물의 미세 변위를 관측 및 감시하여 발생할 수 있는 재해에 대해 사전에 방지하고, 발생시 피해량을 최소화시키기 위함이다. 고층건물의 붕괴사고는 많은 인명사고를 가져올 뿐만 아니라 사회 직·간접적으로 막대한 피해를 가져온다. 변위시스템으로 건물의 제구실을 못할 것을 발견하여 미리 인명 및 재산을 대피하여 피해를 최소화하고자 한다.

둘째, 구조물의 유지 관리 변위 시스템에서 나온 자료는 구조물의 설계 및 유지관리에 유용한 자료로 이용될 수가 있다. 건물이 고층화 대형화가 될수록 그 건물의 구조 및 형태에 따라 내진 및 풍속에 대한 영향이 달라지고 있다. 이런 한 자료는 모형실험에 의한 자료보다 더욱 현실적인 자료가 될 수 있을 것이다.

셋째, 이러한 유지관리 시스템은 구조물의 사소한 결함이 보다 큰 결함을 이루어지는 것을 사전에 감지하여

해결함으로써 경제성에서 보다 나은 해결방법을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

넷째, 이러한 유지관리시스템의 개발과 발전은 대규모 구조물에 국한되지 않고, 수 mm까지 측정할 수 있는 것을 이용하여 위험물 관리, 즉 가스 및 관로에 대한 위험을 측정할 수 있고, 사전 예방 및 유지관리 할 수 있는 시스템 발전의 연계로 이어질 수 있을 것이다.

## 4. 구조물 관측 및 분석

### 4.1 구조물의 선정

본 연구에서의 구조물 선정은 부산광역시 소재 교량 1개소(A교량)와 경상남도 소재 교량 1개소(B교량)를 선정하여 RTK GPS 측위방법으로 관측하였고, 부산광역시에 위치한 고층건물(C건물)을 선정하여 DGPS 측위방법으로 관측하였다.

이렇게 선정된 구조물들의 관측 시스템은 연구 대상 구조물의 인근에 기지국을 설치하고, 구조물내의 한 지점에 이동국을 설치하여 구조물의 거동상태를 측정하였다. 취득된 GPS자료는 WGS84 좌표계의 X, Y, Z 방향의 자료이고, GPS 관측시의 부가적인 측정오차는 본 연구에서 고려되지 않았으므로, 측정된 X, Y, Z 방향 자료의 측정값은 GPS의 측정오차를 포함한 변형량으로 판단되었다. 이 자료는 부경대학교 측량 및 지형공간 정보 연구실에서 개발한 구조물 변위 시스템에 적용하였다.

### 4.2 관측장비의 제원

관측에 사용된 GPS 장비의 수신기는 L1/L2, C/A-code와 P-code 및 반송파를 수신할 수 있는 20개 채널의 JAVAD 제품이고, 안테나는 외부형 타입의 Legant 제품을 사용하였으며, data의 processing에 대한 software는 TOPCON사의 Pinnacle을 사용하였다.

구체적인 장비의 제원은 다음 표 1과 같다.



사진 1. A교량의 관측 모습

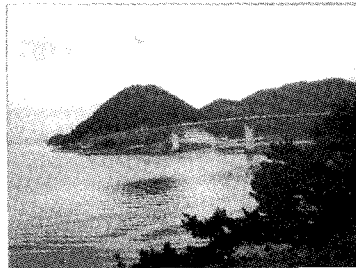


사진 2. B교량의 전경

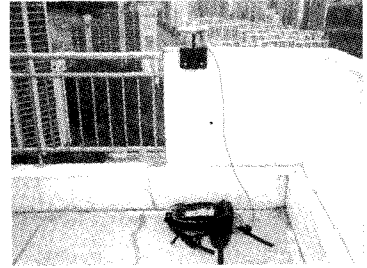


사진 3. C건물의 관측 모습

표 1. 관측장비의 제원

Specification	GPS	
Corporation	TOPCON	
Model	Legacy	
Accuracy	For Dual Frequency Measurement	Horizontal 3mm ± 1ppm (for dual frequency)
		Vertical 5mm ± 1ppm (for dual frequency)
Accuracy	RTK/Kinematic Measurement	Horizontal 10mm ± 1.5ppm (for dual frequency)
		Vertical 20mm ± 1.5ppm (for dual frequency)
Measurement Mode	Static/Rapid Static / Kinematic RTK / DGPS	

4.3 교량 구조물의 관측결과

본 연구 대상 교량(A교량, B교량)에서는 RTK GPS 측위방법을 이용하여 자료를 취득하였으며, 이에 관측결과를 요약하여 정리하면 표 2와 같으며, 관측된 자료를 그림으로 나타내면 그림 4~그림 7과 같이 나타났다.

표 2. 교량 구조물 Z방향 변형량의 결과

Time (sec)	GPS 측정값(m)		Time (sec)	GPS 측정값(m)	
	A교량	B교량		A교량	B교량
1	0.002	-0.011	630	0.004	-0.004
30	0.004	-0.012	660	-0.002	-0.002
60	0.007	0.002	690	0.001	0.002
90	-0.006	0.007	720	-0.008	0.001
120	-0.004	0.009	750	-0.007	-0.004
150	-0.011	-0.004	780	0.004	-0.006
180	0.007	-0.008	810	0.004	-0.009
210	0.009	0.001	840	0.007	0.006
240	0.008	0.007	870	0.006	0.004
270	0.014	-0.009	900	-0.006	-0.002
300	-0.009	-0.006	930	-0.007	0.004
330	0.013	-0.009	960	0.008	0.010
360	-0.008	-0.013	990	0.014	-0.003
390	-0.005	0.004	1020	0.005	-0.007
420	0.006	-0.001	1050	0.003	-0.010
450	0.007	0.005	1080	-0.006	0.006
480	0.005	0.007	1110	-0.004	0.007
510	-0.002	0.008	1140	0.011	-0.011
540	0.004	-0.004	1170	0.011	-0.008
570	0.007	-0.005	1200	0.007	0.014
600	-0.006	0.009	-	-	-

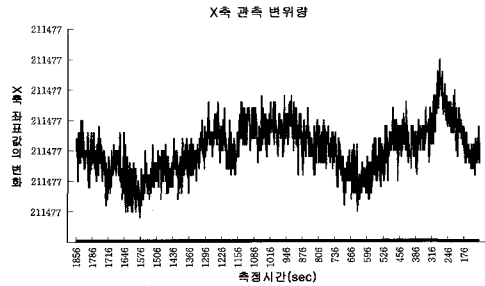


그림 4. A교량 구조물의 X방향 변위

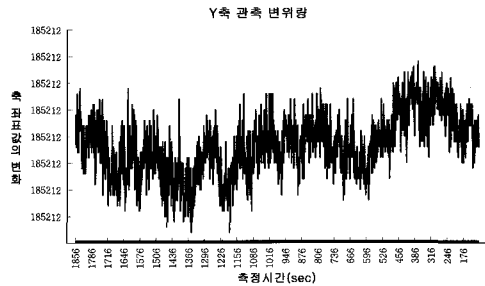


그림 5. A교량 구조물의 Y방향 변위

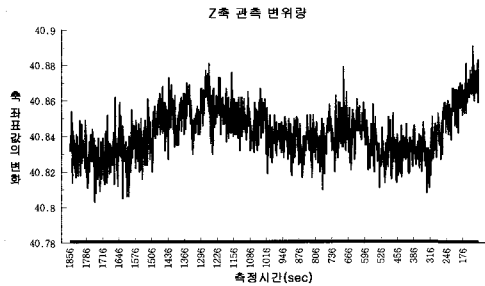


그림 6. A교량 구조물의 Z방향 변위

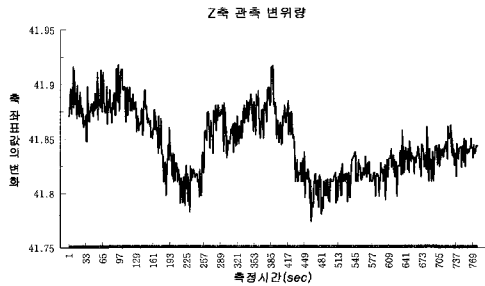


그림 7. B교량 구조물의 Z방향 변위

4.4 교량 구조물의 자료 검증

RTK GPS의 자료를 검증하기 위하여 Total Station의 3차원 좌표 측정모드를 사용하여 검증하였다. 검증 교량은 A교량을 선정하였으며, GPS 측량자료와 Total Station

표 3. A교량 변형량의 검증(Z방향)

횟수	GPS (m)	TS (m)	차이 (mm)	횟수	GPS (m)	TS (m)	차이 (mm)
1	0.639	0.6452	-6.2	16	0.637	0.6452	-8.2
2	0.648	0.6452	2.8	17	0.641	0.6452	-4.2
3	0.645	0.6452	-0.2	18	0.637	0.6452	-8.2
4	0.642	0.6452	-3.2	19	0.648	0.6448	1.2
5	0.645	0.6452	-0.2	20	0.648	0.6449	3.1
6	0.644	0.6452	-1.2	21	0.645	0.6448	0.2
7	0.643	0.6452	-2.2	22	0.640	0.6449	-4.9
8	0.641	0.6452	-4.2	23	0.652	0.6449	7.1
9	0.650	0.6452	4.8	24	0.641	0.6447	-3.7
10	0.642	0.6452	-3.2	25	0.647	0.6447	2.3
11	0.641	0.6452	-4.2	26	0.653	0.6447	8.3
12	0.647	0.6452	1.8	27	0.639	0.6448	-5.8
13	0.640	0.6452	-5.2	28	0.640	0.6447	-4.7
14	0.645	0.6452	-0.2	29	0.643	0.6447	-1.7
15	0.643	0.6452	-2.2	30	0.642	0.6446	-2.6

표 4. 고층구조물의 변위량

Time (sec)	GPS 측정값(mm)		Time (sec)	GPS 측정값(mm)	
	X방향	Y방향		X방향	Y방향
1	2.447	-1.393	1800	4.788	-3.019
100	4.714	-6.436	1900	5.130	-2.416
200	-3.109	0.995	2000	-1.334	0.099
300	3.561	-4.534	2100	-3.173	6.570
400	0.506	-0.494	2200	-7.004	7.368
500	-1.917	2.620	2300	0.099	0.003
600	1.057	-0.090	2400	10.495	-2.589
700	5.791	-6.359	2500	-0.240	-1.910
800	-1.205	1.488	2600	-17.331	23.955
900	-1.833	-5.533	2700	-7.739	21.813
1000	-1.898	11.179	2800	-2.045	0.854
1100	-0.379	-4.288	2900	5.994	-8.761
1200	2.418	0.238	3000	-2.144	4.831
1300	0.097	0.371	3100	4.679	-1.250
1400	-7.381	13.130	3200	1.256	0.700
1500	-1.016	1.141	3300	13.148	-8.475
1600	-7.918	9.145	3400	-7.236	1.740
1700	1.157	0.334	3500	2.552	1.287

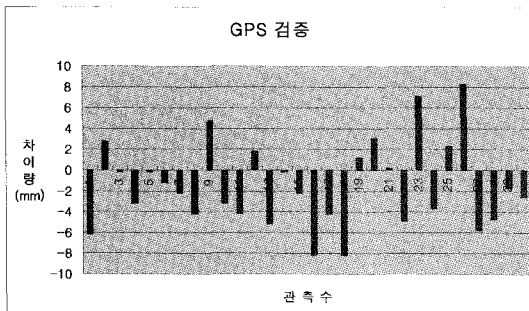


그림 8. A교량 변형량의 검증(Z방향)

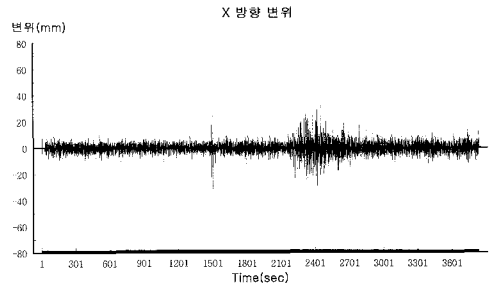


그림 9. 고층구조물의 X방향 변위

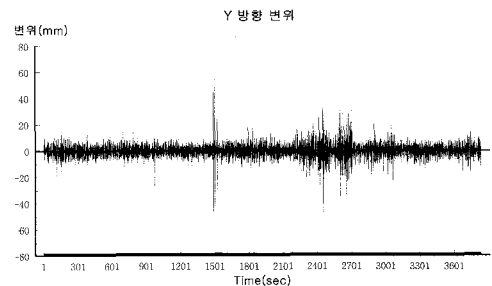


그림 10. 고층구조물의 Y방향 변위

측량 자료를 비교한 차이량을 요약하여 표 3에 나타내었다. 검증해 본 결과 0.2mm~8.3mm 정도로 나타났으며, 그 차이량은 그림 8에서 보여지는 바와 같다.

#### 4.5 고층 구조물 관측 결과

본 연구에서의 고층 구조물은 DGPS의 측위방법을 이용하여 자료를 취득하였으며, 고층건물의 네 모서리에 각각의 수신기를 같은 시간대에 측정하였다. 4개의 수신기에서 약 3600 여개의 자료가 관측되었으며, 4개의 수신기에서 관측된 결과를 평균하여 표 4와 같고, X방향과 Y방향의 수평변위를 나타내면 그림 9~10과 같다.

### 5. 구조물 변위 관리시스템 개발

#### 5.1 구조물 변위 관리시스템

본 연구에서는 객체지향 파스칼 언어인 델파이를 이용

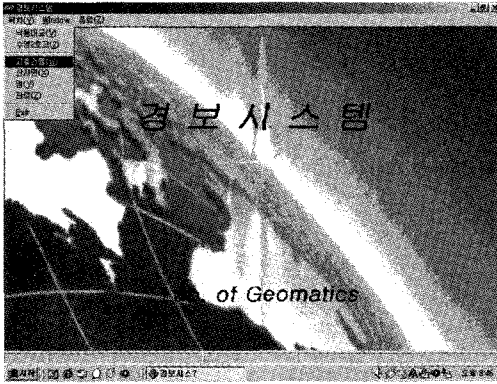


그림 11. 구조물 변위시스템의 초기화면

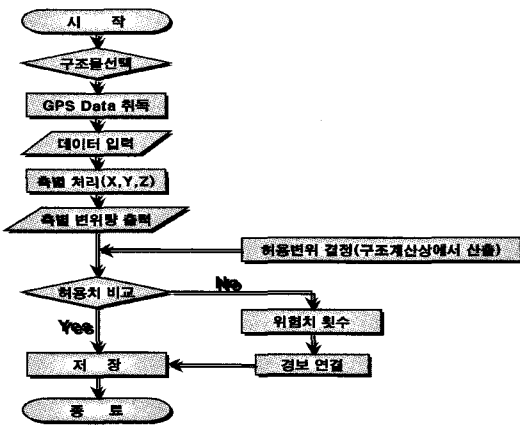


그림 12. 구조물 변위 관리시스템의 순서도

하여 버턴식 이미지 핸들러에 의한 구조물 변위 시스템을 개발하였다. 우선, GPS에 의해 취득된 자료들은 대상 고층건물, X, Y, Z좌표로 분류하며, 분류된 항목들을 입력값으로 해서 각각의 버턴에 이미지 핸들러를 주었다. 그리고, 대상 구조물마다 위험 변위를 대략적으로 가정하고, 이러한 위험 변위에 도달하면 경보음과 함께 누적 횟수를 카운터하는 기능을 부여하였다. 프로그램의 Main화면은 그림 11과 같고, 순서도는 그림 12와 같다.

### 5.2 GPS 자료의 적용

본 연구에서는 구조물 변위 시스템의 자료구축용으로 RTK GPS와 DGPS 측위방법을 이용하였다. 대상 구조물을 관측한 결과 구조물의 상·하한계치의 범위는 임의로 설정하였고, 이러한 결과치는 개발된 구조물 변위 시스템에 의해서 자동적으로 추출된 값으로써, 그림 13~그림 18에서 보여지는 바와 같다. 이렇게 취득된 자료들은 계속 장비에 비해 다소 자료의 양은 부족하였으나, 경제적이고 합리적인 방법으로 결과를 얻을 수 있었다.

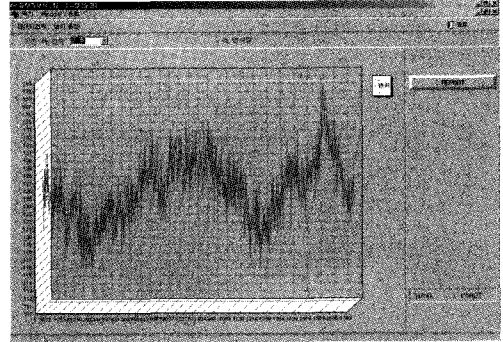


그림 13. A교량 구조물의 X방향 변위

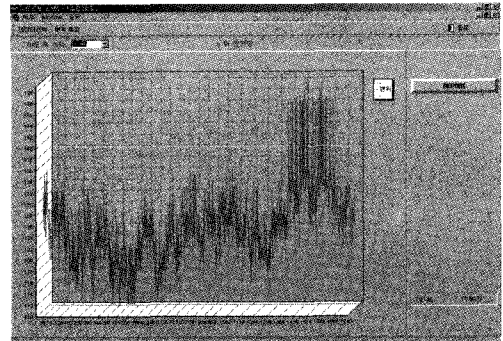


그림 14. A교량 구조물의 Y방향 변위

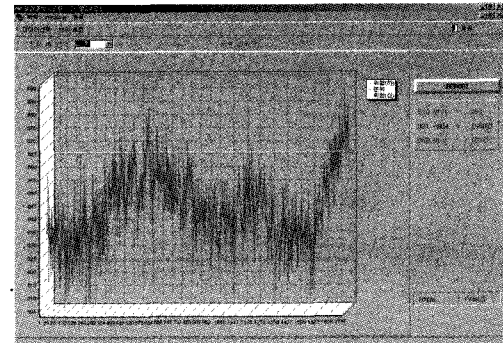


그림 15. A교량 구조물의 Z방향 변위

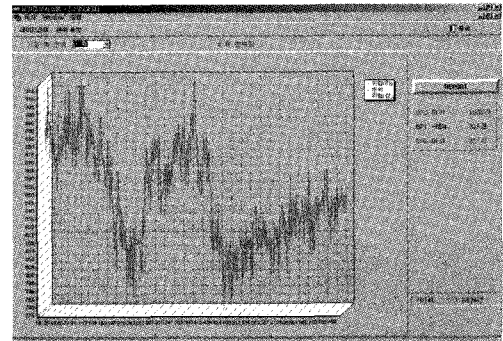


그림 16. B교량 구조물의 Z방향 변위

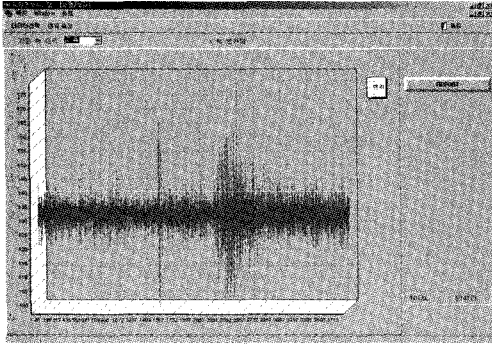


그림 17. 고층구조물의 X방향 변위

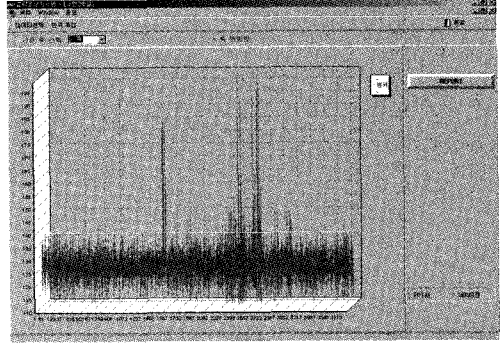


그림 18. 고층구조물의 Y방향 변위

## 6. 결 론

인공위성을 이용한 구조물 변위 관리시스템 개발에 대해서 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구조물의 유지 관리 및 재해 예방 차원에서의 구조물 변위 관리시스템을 RTK GPS 측위방법 및 DGPS 측위방법으로 구축한 결과, 종래의 계측 장비 보다 비교적 경제적이고 신속하게 자료를 취득할 수 있었고, 연속으로 측정되므로 구조물의 거동 정보 시스템의 자료 구축에 자료를 적용하여 효과적으로 관리할 수 있다.
2. GPS 측량의 자료를 분석하여 보면, 외력에 의하여 변위가 적은 구조물의 안전 여부를 판정하기는 다소 어려움이 있으나, 장대 구조물 등의 변위를 이용한 거동 정보 시스템 구축에는 이용 가능한 것으로 판단된다.
3. 현재 구조물의 변위측정 장비들은 변위를 직접측정하기 보다는 처짐각을 측정하여 변위량으로 환산하거나, 연직변위각을 측정하여 변위량으로 환산하는 등 2차원적으로 변위를 구하는 시스템이 많으나, 위성측량을 이용하면 직접변위량이 측정되므로, 신뢰성이 있으며, Z방향에 대한 오차가 다소 크므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. P. A. Collier, 1995, "Deformation Surveys by Kinematic GPS", 3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys, pp. 9-19.
2. Rucker W. F, Sai, Rohrmann R. G. and Schmid W., 1995, "Continuous load and condition monitoring of a highway bridge", IABSE Symposium San Francisco, Vol. 73/2, 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. 이진덕, 1998, "Kinematic GPS 측량기법에 의한 구조물의 변형 모니터링", 한국측지학회지, 제16권, 제1호, pp. 27-40.
7. 배상호, 2000, "구조물 변위해석을 위한 수치사진측량의 컴포넌트 개발", 충남대학교 대학원 박사학위 논문.
8. 이종출, 차성렬, 서동주, 노태호, 2001년 "위성측량을 이용한 교량 정보 시스템 구축", 2001년 한국측량학회 국제세미나 및 추계학술발표회 논문집, pp. 91-95.

(접수일 2003. 4. 21, 심사 완료일 2003. 5. 30)

