

위성측량을 이용한 교량 경보 시스템 구축

Construction for Bridge Warning System By Using GPS Surveying

이종출*, 차성렬**, 서동주***, 노태호***

Lee, Jong Chool · Cha, Sung Yeal · Seo, Dong Ju · No, Tea Ho

1. 서론

경제 성장의 급속한 발달로 많은 인프라 시설들을 건설하게 되었다. 그 중에서 교량은 토목기술의 발달과 환경친화적 건설에 따라 대형화가 가속되었다. 현재 와서 과거에 건설되었던 교량들의 안전성 문제가 대두되고 있다. 특히 노후화된 교량은 유지관리에 많은 인력과 예산이 필요하며, 교량의 안전상태를 손쉽게 모니터링 할 수 있는 기법의 개발은 시급하다고 할 수 있다.

그래서 교량 유지관리 시스템은 교량을 보다 효율적으로 관리하여 교량의 사용성과 안전성을 증가시키며, 효율적인 유지관리차원을 위한 경제적, 기술적인 결정체가 경보시스템이라고 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 모델을 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 어려움에 지연되어 오다가 최근에 들어서 활성화되고 있다.

따라서 본 논문에서는 교량경보시스템의 자료 구축에서 GPS측량을 이용하여 보다 경제적이고, 정확한 자료 정보 제공하고자 한다. 또 본 연구에서는 위성 측량 중에서 실시간 동적 GPS Mode를 사용하여 실시간 교량의 변형을 모니터링하고, 검증하기 위하여 대상 교량에 GPS와 동시에 Total Station을 이용하였다. 본 연구의 실험 대상지는 부산광역시에 위치하고 있는 교량2개소를 선정하였고 교량의 거동상태를 측정하여 Data를 취득하였다. 이를 이용하여 부경대학교 측량 및 지형 공간 정보 연구실에서 개발한 경보 시스템에 적용하여 교량의 변형을 모니터링을 하였다. 이 경보 시스템은 교량의 변형이 위험 변형까지 도달하면 경보음과 동시에 반복 횟수를 나타나게 하므로써 교량 경보시스템이 유지 관리 체계와 재해 예방 차원에서 실용성 있을 것으로 판단되며, 위성측량의 자료가 경보시스템의 적용이 가능하다고 판단된다.

2. GPS이론 및 유지 관리 차원의 경보 시스템

2.1 GPS 이론

일반적으로 GPS 관측방법에는 절대관측방법과 상대관측방법이 있다. 그중 상대관측방법은 간섭계측위로서 2점간에 도달하는 전파의 시간적지연을 측정하고, 2점간의 거리를 정확히 측정하여 관측하는 방법으로 Static 측량과 Kinematic측량, DGPS, IDGPS(Inverse DGPS)등등이 있다. 본 연구에서는 RTK(Real Time Kinematic) 방법으로 사용하였다. 그리고 좌표 변환은 GPS측량의 실용화하는데 매우중요한 요소이다. 좌표 변환에는 크게 변환요소법(7 Parameter 방법), MRE 방법, Molodensky방법이 있다.

* 정희원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수 · 공학박사 · 051-620-1449 (E-mail: jcleee@pine.pknu.ac.kr)
 ** 정희원 · 양산대학 토목과 · 부교수 · 공학박사 · 055-370-8174 (E-mail: sycha@mail.yangsan.ac.kr)
 *** 정희원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · 051-622-1662 (E-mail: dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)
 *** 정희원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · 051-622-1662 (E-mail: dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)

변환요소방법은 측지좌표계의 변환관계를 나타내는 7 Parameter를 최소제곱법으로 산출하여 좌표변환하는 방법으로 직각좌표계에서만 사용하고, MRE방법은 Tokyo Datum을 WGS84로 변환하는 식이며, 좌표보정량을 구하여 Tokyo Datum에 기준한 값에 가감하여 WGS84좌표계를 취득하는 것이다.

그리고 일반적으로 3차원 좌표변환방법은 2개의 서로 다른 기준좌표계에 의한 각 측정점의 3차원 성과로부터 2개의 기준좌표계간의 이동, 회전, 축척요소를 구하고 이를 다른점에 적용시키는 것으로 사용공식에 따라 Bursa-Wolf식과 Molodensky-Badekas식이 사용된다.

Bursa-Wolf의 변환모델은,

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta) \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \phi \\ \alpha & 1 & -\omega \\ -\phi & \omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} \quad \text{식(1)}$$

여기서, X_w, Y_w, Z_w : 위성 좌표계상의 좌표 (WGS84) X_k, Y_k, Z_k : 국지 좌표계상의 좌표

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 두 좌표계 중심간의 이동거리 ω, ϕ, α : 좌표계 축들간의 회전량, $1 + \Delta$: 축척치

Bursa-Wolf의 변환모델은 지구전체로 볼 때 극히 부분적인 지역에만 국한되므로 변환요소간의 상관계수가 커지게 된다. 이러한 문제점을 개선하여 측정점들의 무게 중심 또는 측지원점에서 회전토록하는 Molodensky-Badekas 모델이 고안되었다.

Molodensky-Badekas 변환모델은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1 + \Delta) & \kappa & \varphi \\ \kappa & (1 + \Delta) & -\omega \\ -\varphi & \omega & (1 + \Delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k - X_m \\ Y_k - Y_m \\ Z_k - Z_m \end{bmatrix} \quad \text{식(2)}$$

식(2)에서 X_m, Y_m, Z_m 은 변환하고자 하는 두 좌표계에 공통적으로 존재하는 지점들의 좌표에 대한 평균값이다. 이 변환 모델은 이동량 매개변수를 기준원점에 대해 적용하므로써 매개 변수들간에 높은 상관관계를 가지는 Bursa-Wolf 방법의 문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 측지원점에서 회전하도록 하는 Molodensky-Badekas방법으로 좌표변환하였다.

2.2 유지 관리 차원의 경보 시스템

현재 교량구조물의 장대화와 복잡화가 가중되면서 교량의 유지관리차원에서의 경보시스템은 불가필한 상태이다. 그래서 교량구조물의 경보시스템의 3가지 목적은 다음과 같다.

첫째로는 구조물의 유지관리 정보를 제공하는 경보 시스템의 각종 자료들은 교량 내하력 평가의 중요자료로 사용된다. 즉 현재 교량의 사용성 및 안전성 평가에 매우 중요한 정보가 된다. 둘째로는 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. 교량의 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 붕괴로 인한 안전사고 발생, 교량 본래의 제구실을 하지 못하는 사태가 발생할 경우 경보시스템의 작동으로 차량 및 보행자의 안전한 통과를 확보하고자 한다 또한 다음 사항에 대해서는 지속적인 활동이 뒤따라야만 한다. 세 번째로는 기술개발을 위한 유용한 정보제공 및 자료축적 특수한 환경하에서는 보다 실질적이고 정밀한 측정이 요구되던 문서 및 기록이 병행되고 이에 부합되는 구체적인 관리방안이 제시되어야 한다. 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 축적하도록 해야 한다.

따라서 본 연구에서는 유지관리차원의 경보시스템을 실시간 동적 GPS를 접목하여 경제적 측면에서 교량구조물의 경보시스템을 개발하고자 한다.

3. 교량 변형관측 및 검증

3.1 교량 변형관측

본 연구에서의 대상 교량은 부산광역시에 소재하고 차량의 통행이 빈번하고, 대형차량 혼입율이 다소 높은 곳이다. 대상 교량에서 지간 중앙부에 GPS를 설치하여 변형이 많은 곳을 선정하였고 1초 간격으로 Data를 전송받으므로써 자료의 신뢰성을 높이고자 했다. 본 연구의 GPS 측량 시스템 모습은 그림 1과 같고 대상 교량에서 첫 번째 교량의 측정모습은 그림 2과 같다. 대상교량 중 첫 번째 교량은 1746개 Data를 취득하였고, 두 번째 교량은 1257개 Data를 취득하였다.

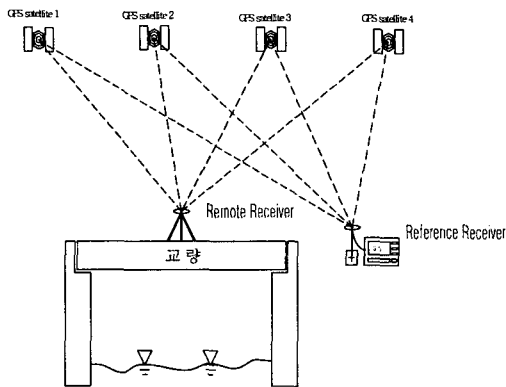


그림 1. GPS측량시스템 모습



그림 2. 교량 변형 측정 모습

3.2 검증

본 논문에서는 실시간 동적 GPS의 Data를 검증하기 위하여 Total Station의 3차원좌표측정 Mode를 사용하여 검증을 하였다. 검증 교량은 본 연구의 첫 번째 대상교량을 선정하였으며, GPS 측량자료와 Total Station측량자료를 비교한 오차량 표 1에 나타내었다. 본 연구에서 검증해본 결과 Z좌표 0.2mm ~ 8.3mm 나타났으며, 그 오차량을 그림 3에서 나타내었다. 본 연구에서의 실시간 동적 GPS측량을 이용한 교량변형량측정은 실용성 있다고 판단된다.

표 1. 교량 변형량의 검증(Z좌표)

횟수	GPS 좌표(m)	T/S 좌표(m)	오차 (mm)	횟수	GPS 좌표(m)	T/S 좌표(m)	오차 (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	0.65	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	0.64	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

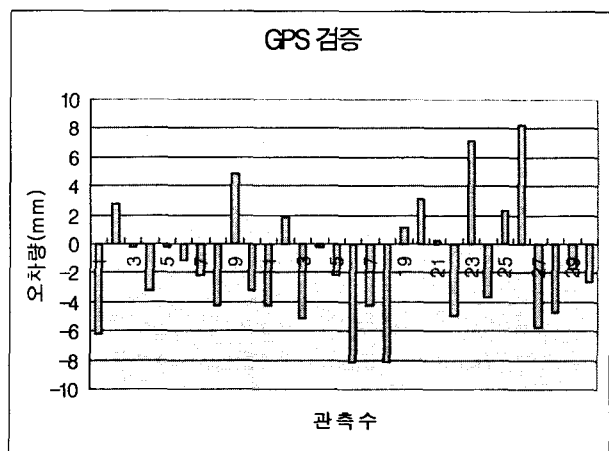


그림3. 교량변형량 검증(Z좌표)

4. 교량 경보시스템 개발 과 GPS측량의 적용

4.1 교량 경보시스템

본 연구에서는 부경대학교 측량 및 지형공간정보연구실에서 Delphi 4.0을 이용하여 개발한 교량경보시스템 프로그램으로 교량의 유지관리차원의 정보를 체계화하였다. 본 프로그램을 실시간 동적 GPS측량에서 취득한 자료를 DataBase화 하고, 임의의 변형량의 한계치를 설정하여 상하 변형량의 한계치를 벗어나면 경보음을 울리게하였고, 그 횟수를 반복한 횟수로서 Report에 기록하게 하였다. 그림 4는 개발된 시스템의 초기 화면이며 그림 5 순서도이다.



그림 4. 경보시스템 초기화면 모습

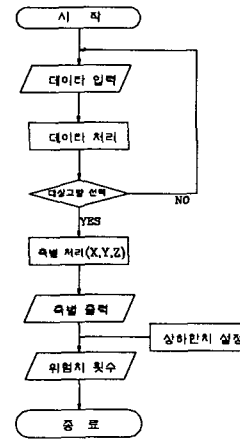


그림 5. 경보시스템 순서도

4.2 GPS 측량의 적용

본 연구에서의 일반적으로 교량경보시스템의 자료구축용으로 사용하고 있는 계측장비의 비경제적이고 비효율적인 측면을 고려하여 교량경보시스템의 자료구축용으로 위성측량중 실시간 동적측위법을 이용하였다. 대상교량을 관측한 결과 첫 번째 교량의 상하한계치의 범위는 45mm로 설정하였고, 1746개 Data중에서 상한계치의 누적횟수는 85건으로 나타났으며, 하한계치의 누적횟수는 101건으로 나타났다. 두 번째 실험 대상 교량은 상하한계치의 범위는 80mm로 설정하였고, 1257개 Data중에서 상한계치의 누적횟수는 301건으로 나타났으며, 하한계치의 누적횟수는 60건으로 나타났다. 본 연구에서 일반적인 계측장비에 비해 다소 Data의 양은 부족하였으나, 경제적이고 합리적인 방법으로 결과를 얻었수있었다. 그리고 본 연구에서 사용한 자체 개발한 프로그램은 그림 6에서 나타내었다.

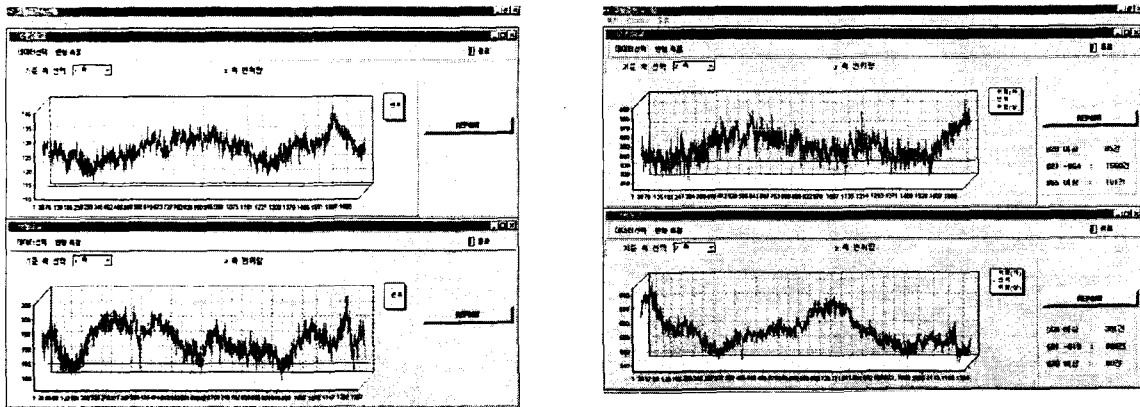


그림 6. 개발한 교량경보시스템의 교량변형 모습

5. 결 론

본 논문에서는 위성측량을 이용한 경보시스템 적용에 대해서 연구해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 교량의 유지관리 및 재해예방차원에서의 교량경보시스템을 실시간 동적 GPS측량 이용하여 구축해 본 결과, 종래의 계측장비 보다 비교적 경제적이고 신속하게 Data를 취득할 수 있었고, 경보시스템의 자료구축에 위성측량 Data를 적용할 수 있었다.
2. 실시간 동적GPS의 Data를 Total Station으로 검증한 결과 0.2 ~ 8.3mm 정도의 오차가 나타나 교량의 안전 여부를 판정하기는 다소 큰 값이나, 장대교량등의 변위를 이용한 경보 시스템 구축에는 이용 가능한 것으로 생각된다.
3. 현재 구조물의 계측장비들과 GPS장비는 Data 측정시간에서 많은 차이를 보이고 있는 실정으므로 앞으로 이러한 측면의 연구가 계속되어 1초에 많은 Data를 측정할 수 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Rücker W.F, Sai S, 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
2. P. A. Collier,(1995) "Deformation Surveys by Kinematic GPS", 3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys, pp.9~19.
3. 이종출, 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석, 한국측량학회지, 제19권 제1호, 2001, pp39-45
4. 최철식, 2층 트러스교량의 계측관리시스템구축에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교