

GPS 측량에 의한 방조제의 변위측정 A Study on the Measurements of Dike Displacements by GPS Survey

이창경¹, 김창우²

Chang-Kyung Lee¹, and Chang-Woo Kim²

1. 서 론

최근 들어 구조물이 대형화되고 급속히 시공되는 경향이 증가함에 따라 구조물에 대한 변위측정은 시공중인 구조물뿐만 아니라, 그 사후관리 및 안전성 여부를 파악하는데 중요한 기초자료로 활용되고 있다. 특히, 해상에서 실시되는 방조제나 안벽공사 등에서는 육상구조물에 비해 변위측정에 여러 가지 제약이 따른다. 이와 같은, 해상 토목구조물의 거동을 다각적으로 파악하기 위한 연직방향 및 평면변위 측정에 GPS를 적용하면 신속하고 정확한 변위측정 자료를 획득할 수 있다.

본 연구에서는 GPS를 이용하여 금강 남측 도류제의 기하학적인 변형을 측정하는데 목적이 있다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구는 고정점을 기준으로 임의지점의 위치를 주기적으로 측정하여 그 위치좌표에 변화가 있으면 그 좌표차이를 그 지점의 변위량으로 간주한다는 전제아래 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

관측점들의 위치는 정지 DGPS(Static Differential GPS) 측량에 의해 4개월 주기로 3번 측정하였으며, 사용된 GPS 수신기는 4쌍의 12채널 2주파 수신기이다. 각 측정에서의 관측은 GDOP(Geometric Dilution

Precision)이 8이하 일 때, 3시간 이상씩 관측하였다. 위와 같은 GPS 측량에 의한 광역 변위측정 시스템의 정확도와 효용성을 분석하기 위하여 관측망 구성에 따른 기선해석의 정확도와 좌표변환 방법별 위치정확도를 비교 분석하였다.

먼저, GPS 관측망에 포함된 관측점의 수, 망의 크기와 모양이 GPS 측위 정확도에 미치는 영향을 조사하기 위해 변위측정점 주위의 삼각점만 고정점망을 구성한 경우와 국립지리원과 천문연구원 관측점을 포함시켜 고정점망을 구성한 경우의 기선변화와 표준오차를 비교 분석하였다. 또한 변위는 WGS 84 좌표계를 기준한 값보다 평면 및 연직방향 성분으로 표현된 값이 더 유용하므로, 본 연구에서는 GPS 망조정으로 구한 고정점과 변위점의 WGS 84좌표를 우리나라 평면 직교좌표계로 변환함에 있어 몰로텐스키-바데카스 7변수 변환과 일반적인 3변수 변환을 비교 분석하였다.

아울러, 본 연구의 GPS 변위측정 신뢰성 점검을 위해 2가지 방법을 구상하였다. 첫째, 변위가 없다고 보는 삼각점을 변위점으로 선정하여 그 삼각점의 변위 유무를 근거로 관측 결과의 신뢰성을 점검하였다. 둘째, 남측 도류제상의 변위관측점 2점에 대해서 매 관측시마다 직접수준측량을 실시하여 구한 높이차와 GPS 측량으로 구한 높이차를 비교하여 GPS 관측의 정확도를 검증하였다.

¹ 군산대학교 토목환경공학부 부교수 (leeck@ks.kunsan.ac.kr)

² 군산대학교 토목공학과 석사과정 (kimcw@ks.kunsan.ac.kr)

3. 관측 및 자료처리

변위측정대상은 전북 군산시 금강 남측 도류계로 선정하여 그 서단 상면에 변위측정점 2점을 680m 간격으로 표지하고, 군산과 부안 사이의 1, 2등 삼각점 중 4점(부안 11, 부안 21, 군산 22, 군산 23)을 고정점으로 하였다. 국내 IGS 상시관측소는 대전의 한국천문대와 수원외국립지리원이며, GPS 관측 정확도 검증으로 사용된 삼각점은 군산 401 삼각점이다(그림 1).

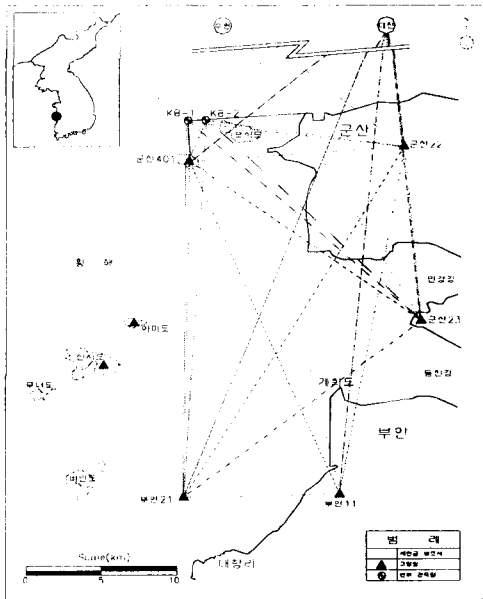


그림 1. 관측망도

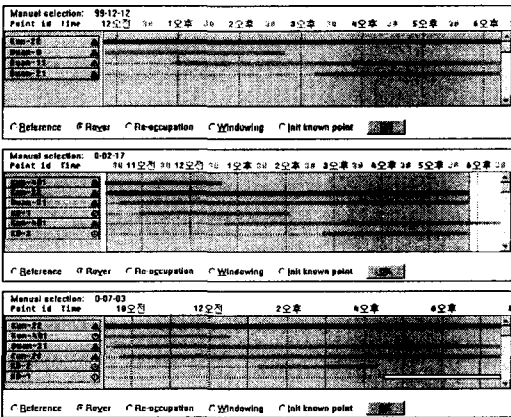


그림 2. GPS 관측지점별 수신시간

이와 같이 선정된 고정점과 변위관측점에 대해 1999년 12월 ~ 2000년 7월까지 약 4개월 주기로 3차례 GPS관측을 실시하였다.

관측점들은 IGS 센터를 기준으로 80km에서 177km 거리에 위치하며 최장기선은 수원에서 부안 21 삼각점 사이의 177km이고, 최단거리는 금강 남측 도류계 변위관측점 사이의 0.68km 이다. 그림 2는 고정점 및 변위측정점에 대한 GPS 관측시간이다.

삼각점의 GPS관측 데이터와 국내 IGS 센터의 관측데이터(RINEX 포맷)를 합성하여 GPS 관측망을 구성하였으며, 4개월 주기로 3회에 걸쳐 현장관측으로 취득한 GPS 관측 데이터들로부터 일관성있는 성과를 획득하기 위하여 데이터 취득과 처리에 동일한 과정과 변수들을 적용하였다. 위성과 측정점간의 거리해석에는 코드와 위상신호를 모두 사용하였으며 위성 궤도자료는 방송궤도력을 사용하였다. 자료처리에 사용된 소프트웨어는 Leica SKI(Ver. 2.3)이다.

표 1은 상대측위 기준점으로 사용한 IGS 상시관측소의 ITRF 97 좌표와 좌표변환시 사용한 1, 2등 국가 삼각점들의 고시성과이다.

표 1. IGS 기준점과 정밀 1차 기준점 고시성과

기준점	위치좌표(m)			좌표계
	X(East)	Y(North)	Z(Height)	
DAEJ	-3210041.779	4084614.978	3764026.991	ITRF
SUWON	-3062022.658	4055448.096	3841818.327	ITRF
부안 11	167257.043	248280.539	288.65	TM
부안 21	156942.763	248045.489	28.54	TM
군산 22	171490.408	273311.344	97.94	TM
군산 23	173991.294	261877.288	74.86	TM

4. 자료처리결과

4.1 GPS망구성에 따른 기선해석 정확도

GPS망을 구성하는 기준점을 달리함에 따른 기선거리의 변화와 표준오차를 비교 분석하기 위하여 대전과 수원 IGS 상시관측소를 기준점으로 간주한 경우와 실험지구내 군산 22 삼각점을 기준점으로 하여 기선해석한 결과를 살펴보면 아래와 같다.

대전 IGS 상시관측소를 기준점으로 하여 망조정한 각 관측점들의 표준오차(좌표성분별 표준오차 벡터크기)는 최대 $\pm 18\text{mm}$ 이고, 최소 $\pm 8\text{mm}$ 를 보이고 있으며, 평균 $\pm 14.4\text{mm}$ 이었다. 수원 IGS 상시관측소(국립지리원 구내 원점)를 기준점으로 하여 망조정한 결과도 대전을 기준으로 처리한 결과와 유사한 양상

을 나타내었다. 반면에 군산 22 삼각점을 기준으로 하여 망조정하면 관측점의 위치에 대한 표준오차가 최대 $\pm 14\text{mm}$, 최소 $\pm 8\text{mm}$ 를 보이며, 평균 $\pm 9.9\text{mm}$ 로 미소하게나마 줄어든 것을 볼 수 있다.

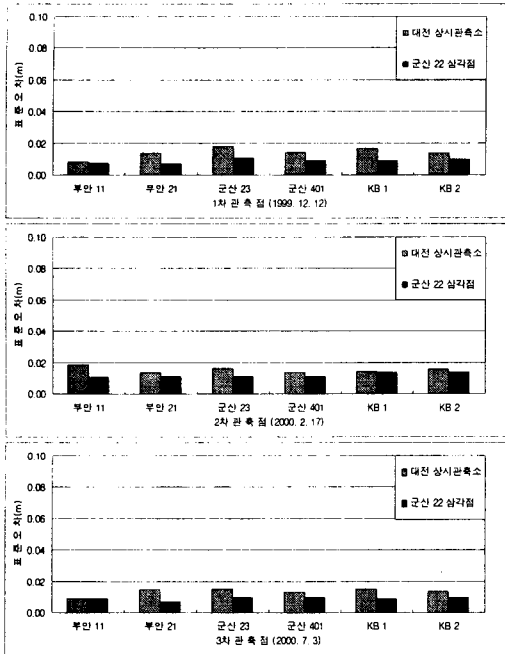


그림 3. 관측시기에 따른 기준점별 표준오차

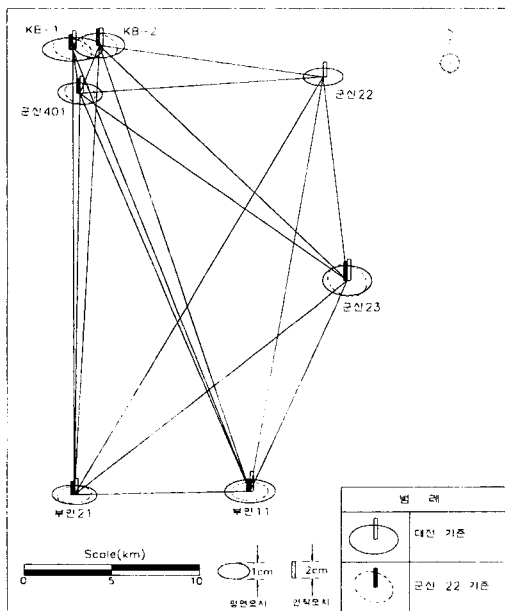


그림 4. 기준점별 오차타원

즉, IGS 상시관측소를 기준으로 하였을 때 보다 군산 22 삼각점을 기준으로 했을 때 정확도가 향상됨을 알 수 있었으며, 이로부터 GPS를 이용한 위치측정의 경우 단기선이 되도록 망을 구성하면 장기선 망보다 우수한 정확도를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 3은 관측시기에 따른 고정점별 표준오차를 나타내고 있으며, 그림 4는 관측시기별 관측점의 평면오차 타원과 표고오차이다.

4.2 좌표변환에 따른 정확도 분석

GPS 관측 데이터를 처리하여 구한 측점의 위치좌표는 WGS 84를 기준으로 처리된 성과들이므로 좌표 변환과정에서 생기는 오차가 포함되어 있지 않다. 이러한 장점에도 불구하고 WGS 84 좌표 변위 성과들은 실제 사용하고 있는 좌표계에서 변위 발생의 크기와 방향을 파악하기 난해하다. 본 연구에서는 부안 11, 부안 21, 군산 22, 군산 23 삼각점들을 이용하여 군산 401 삼각점과 변위관측점 두 점의 좌표를 우리나라 평면직교좌표계로 변환하였다. 우리나라는 아직 GPS 측량에서 사용하는 WGS 84 좌표계와 현행 사용하고 있는 측지기준점 좌표계간의 변환계수가 확정되어 있지 않다지만, 일반적인 7변수와 3변수 변환법 모두 3점 이상의 지역좌표만 있으면 좌표변환이 가능하므로 현장의 1, 2등 삼각점을 고정점으로 사용하여 좌표변환 계수를 구해 비교 하였다.

표 2에서 보는 바와 같이 몰로덴스카-바데카스 7변수 모델과 3변수 모델의 변환계수는 Z축의 원점 이동량이 33mm의 차이를 보일뿐 X 및 Y축의 원점 이동량의 차이는 거의 없었다. 다만, 7변수 변환계수의 평균제곱오차가 3변수 변환계수의 그것보다 작아 이후의 변위계산에서는 7변수 좌표변환을 채택하였다.

표 2. 변환 계수(군산 22 삼각점)

구분	3변수 변환방법		7변수 변환방법	
	계수(mean)	R.M.S	계수(mean)	R.M.S
Shift(X)	324.560	0.682	324.563	0.022
Shift(Y)	-310.208	0.682	-310.208	0.022
Shift(Z)	-651.797	0.682	-651.764	0.022
Rotation X	*	*	39.581	0.022
Rotation Y	*	*	-40.297	0.022
Rotation Z	*	*	83.022	0.022
Scale	*	*	1.000	0.022

4.3 자료처리 결과의 신뢰성

본 연구에서 측정점의 변위는 일정시간간격을 두고 GPS측량으로 구한 측정점의 좌표차로 전제하였고 이 좌표차가 실제의 변위인지를 2가지 방법을 통하여 검증하였다.

첫째, 자료처리시 사실상 고정점으로 볼 수 있는 군산 401 삼각점을 변위관측점으로 간주하고 망조정하여 이 삼각점의 변위여부를 조사하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이 군산 401 삼각점은 3차례 자료처리 결과 거의 움직임이 없는 반면에 금강 남측 도류제상의 변위관측점인 KB-1과 KB-2는 1차 관측과 비교하였을 때 수평변위와 침하가 최대 5cm까지 관측된점으로 미루어 보아 GPS 측량으로 구한 변위를 신뢰할 수 있었다.

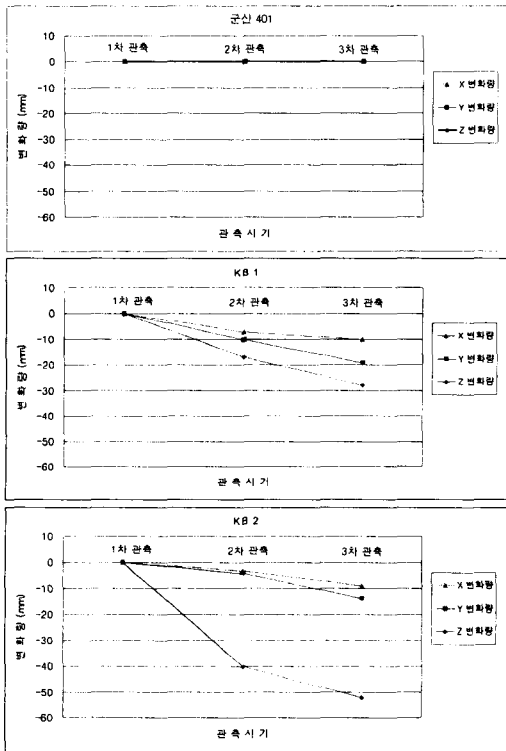


그림 5. 변위관측점의 관측시기별 변화량

둘째는 금강 남측 도류제상의 변위관측점 2점간의 높이를 관측시기마다 직접수준측량하여 GPS 관측 결과와 비교해 보는 것이다. 일반적으로 GPS는 상대 측위일 때, 평면위치의 경우 5mm ±1ppm, 높이 성분에 대해서는 10mm ±1ppm의 정확도로 측정점들의 3차원 위치를 결정한다. 삼각점간 평균 기선이 20km 정도인 본 시험에서 680m 정도 떨어진 변위관측점들의

높이차를 직접수준측량하여 GPS 측량과 그 차이를 비교해 GPS 측량의 정확도를 검증하였다.

표 3은 직접수준측량과 GPS 관측에 의한 높이차이를 비교한 것으로 GPS 측량성과와 직접수준측량성과가 1cm 정도의 차이가 있음을 보여주고 있다. 또한 매 관측 때마다 두 변위관측점 사이의 높이차가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 즉, GPS에 의해 방조제와 같은 해안구조물의 변위측정시스템을 신뢰할 수 있는 근거로 충분하다고 사료된다.

표 3. 측량방법별 변위관측점간 높이차(m)

구분	GPS 측량	직접수준측량	차이
1차 관측	0.177	0.172	0.005
2차 관측	0.154	0.166	0.012
3차 관측	0.144	0.156	0.011

5. 결 론

정지 GPS 측량을 이용한 해안 구조물의 변위측정 목적에 있는 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 3차례의 GPS관측자료의 처리결과 최대 표준오차는 ±0.018m를 보인 반면, 변위관측점의 변위는 평면상에서 0.03m, 연직선상에서 0.05m 이상의 차이를 보였다. 또한 변위관측점간 직접수준측량 높이차는 GPS 측량으로 구한 높이차와 0.01m 이내의 차이만을 보였다. 따라서, 30km 범위 내에서 변위측정시 GPS 측량기법을 적용하면 0.01m 이상의 변위에 대한 3차원 측정이 가능하다고 사료된다.
- 2) GPS를 이용한 변위측정의 경우 장기선이 단기선의 결과에 비해 변위측정 정밀도가 약간 떨어지므로, 고정점을 측정 지점에서 가까운 기준점을 사용하여 자료처리 해야 보다 정확한 변위를 측정할 수 있을 것으로 사료된다.