

GPS의 현장 Calibration과 Monitoring System을 이용한 위치결정 정확도 향상

Improvement of Positioning Accuracy using Site Calibration and Monitoring System of GPS

안원태¹⁾ · 문용현²⁾ · 최석근³⁾ · 이재기⁴⁾

Ahn, Won-Tae · Moon, Young-Hyun · Choi, Seok-Keun · Lee, Jae-Kee

¹⁾ 충북대학교 산업대학원 건설공학과(E-mail: gpsgeoid@hanmail.net) 016-265-9092

²⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: yhmoob@mocet.go.kr) 016-305-1769

³⁾ 충북대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail: skchoi@chungbuk.ac.kr) 011-512-1374

⁴⁾ 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail: leejk@chungbuk.ac.kr) 011-9899-2377

요 지

기존 해상구조물의 위치결정은 조류나 바람, 안개, 비, 눈, 일조시간 등의 기상조건으로 인한 장애요인과 지상 기준점 좌표값을 쉽게 이용하기가 곤란하기 때문에 정확한 위치결정을 할 수 있는 기법이 필요하다.

기존의 측량방법은 해상의 가설측량대 설치 및 철거에 따른 시간과 예산이 소요되고, 기상조건에 따라 시준이 불가능하여 작업 중단과 공기가 지연되며, 시준오차와 자료 오기오차 등이 발생하는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 GPS측량방법을 이용하여 현장 Calibration을 수행하여 위치정확도를 향상시키고, 해상에서의 기상 조건에 따른 문제점과 상시 Monitoring에 의한 자동제어시스템을 개발함으로써 측량 정확도 향상과 해상구조물 공사기간 단축, 공사비 절감 등의 효과를 가져 올 수 있도록 하였다.

1. 서론

해상구조물의 위치결정에 있어서는 조류나 바람, 안개, 비, 눈, 일조시간 등의 기상조건으로 인한 장애요인과 지상으로부터 멀리 떨어진 해상은 관측이 어렵고 기준점 좌표값을 쉽게 이용하기가 곤란하며, 지역에 따라 Parameter가 다르기 때문에 정확한 위치결정이 곤란하다. 특히, 해상의 조수간만의 차가 크고, 조류가 강한 지역에서는 관측하는 선박의 위치가 기후조건과 해류의 상태에 따라 허용변위 이상의 변위가 발생하기 때문에 정확한 위치결정을 위해서는 단시간에 정확한 위치를 결정하거나 관측지점을 현장에서 Monitoring 하면서 관측할 수 있는 특수기법이 필요하다.

기존의 해상 구조물의 위치결정은 해상측량대를 설치하여 삼각측량으로 관측하는 방법이 많이 이용되었고, 최근에는 GPS를 이용하여 위치결정을 할 수 있는 기법을 개발하였으나, 이는 GPS 측량에서 지역 변수를 보정하지 않았고, Data 송·수신을 On-line상에서 실시간으로 처리하지는 못하였다.

이들 방법은 지역에 따른 Parameter를 보정하지 않아 오차가 발생하고, 관측위치와 Data 기록 등의 측량결과를 작업자가 항타선에 구두(무선기)로 전달하므로 오기로 인한 개인오차가 발생하였다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 기상조건에 장애를 받지 않는 특수측량기법이 필요하고, 측량과정과 시공 중에도 상시적으로 위치를 관측 및 자동 조정할 수 있는 시스템개발이 필요하다.

따라서, 본 연구는 현장에서 GPS Calibration을 수행하여 적합한 Parameter를 보정함으로써 정확도를 향상시키고, 측정장비와 항타선을 유도할 수 있는 프로그램을 개발하여 상시 Monitoring함으로써 해상 위치결정의 정확도 및 효율성을 향상할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. GPS 측량의 원리와 방법

2.1 GPS 측량의 원리

GPS(Global Positioning System) 측량은 인공위성으로부터 발사된 전파신호를 수신하여 지표면이나 해상의 한 점에 대한 절대위치 또는 상대위치를 결정하는 것이다.

GPS 시스템은 여러 기술이 고도로 집약된 시스템이므로 많은 구성 요소로 이루어져 있지만 크게 위치 계산을 위해 필요한 항법 메시지를 사용자에게 반송파를 통하여 연속적으로 전송하는 GPS 위성으로 구성되어 있는 우주부분(Space segment), 세계 각지에 널리 분포해 있는 여러 관제국(control station)을 통해 GPS 위성을 추적하고 감시함으로써 가능한 한 정확하게 위성의 위치를 추정하며 여러 가지 보정 정보를 위성에게 송신하는 관제부분(Control segment), 그리고 GPS 위성 신호를 수신하여 위치를 계산하는 GPS 수신기 및 이를 응용하여 각각의 특정한 목적을 달성하기 위해 개발된 다양한 장치(equipment)로 구성되는 사용자부분(User segment)으로 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

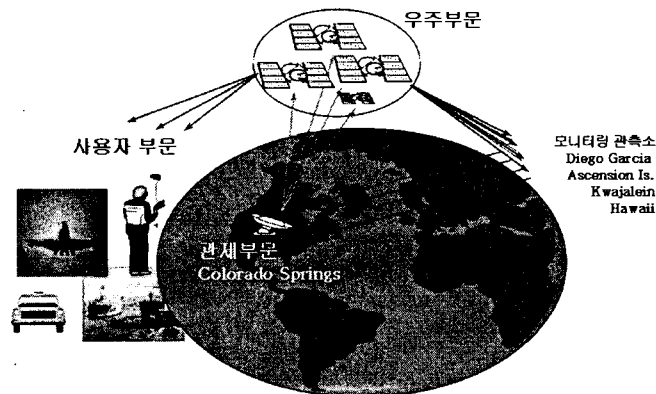


그림 1. GPS의 구성체계

2.2 GPS 관측방법

GPS측량의 현장 관측은 크게 정적측량과 동적측량방법으로 구분된다. 정적측량방법은 어느 관측지점에 수신기를 고정하여 원하는 시간동안 측량을 수행하며, 동적측량은 수신기를 이동해가면서 여러 지점을 관측하는 기법이다. 이러한 현장관측은 사용하는 수신기의 성능과 측량의 목적에 따라 달라지며, 일반적인 현장관측법은 정적관측, 신속정적관측, 동적관측, 의사동적관측, 실시간 동적관측 등이 있다.

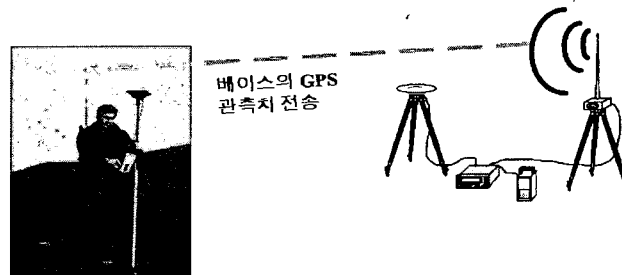


그림 2. RTK-GPS 측량의 원리

3. GPS 현장 Calibration에 의한 보정계수 결정

3.1 GPS 기준점측량

지상기준점은 인접 지역 내에 설치된 삼각점 총 9점에 대하여 GPS의 Static Survey 방식으로 관측하였으며, 수신기는 5700 rover, 무전기는 TrimMark 3를 사용하였다. 기준좌표는 TM좌표로 No. 13번을 입력하여 TSCe 컨트롤러를 이용하였고, 이동국형 5700rover 수신기를 이용하여 인천대교를 둘러싸는 형태로 기준점 및 기계점을 측정하였으며, 이 때는 WGS 84좌표계에서 고정된 좌표를 측정하였다.

기선해석에 사용된 S/W는 Trimble사에서 제공된 Trimble Geomatic Office를 사용하여 기선해석 후 기선삼각점 세 점(수원 405, 성동 461, 서울 478)과 수준점 1점(BM12)을 이용하여 망조정을 실시하였다. GPS 측량방법은 Static 방법을 이용하였고, 사용장비는 1급 GPS 수신기를 이용하였다. 본 연구에 이용된 GPS 기준점 측량망도는 그림 3과 같고, 측량 결과는 표 1과 같다.



그림 3. GPS 기준점측량망도

표 1. GPS 기준점 측량 성과

점의명칭	X좌표	Y좌표	표고	비고
수원 405	443,172.715	203,856.579	95.720	기지점
성동 461	449,494.065	202,564.015	94.850	"
서울 478	444,846.022	198,805.717	20.170	"
BM12	-	-	30.9404	"
DW01	444,810.492	202,333.461	57.457	신설점
DW02	444,816.336	202,331.327	60.790	"
DW03	444,824.170	202,337.523	60.775	"

본 연구는 인천대교 현장의 서울~천안간 RTK-GPS 측량을 수행하였고, 논현동 사옥에 GPS 기지국을 설치한 후 CDMA 휴대폰을 통하여 위치보정데이터를 GPS 이동국으로 연속 전송하면서 천안까지 이동한 결과, 수평성분의 RMSE가 약 2cm, 수직성분의 RMSE는 약 5cm 범위에서 관측되었다. 논현동 사옥에서 기지국까지 약 40Km 떨어진 4개 기준점에 대한 RTK 관측성과는 표 2와 같다.

표 2. 기준점에 대한 RTK-GPS 측량성과

측점	좌표	기준점	calibration 관측좌표		calibration 차이		비고
			전	후	전	후	
W12	X좌표	436,830.251	436,830.318	436,830.270	-0.067	-0.019	HRMS = 0.015 VRMS = 0.038
	Y좌표	165,644.464	165,644.865	165,644.485	-0.401	-0.021	
	Z좌표	6.100	5.981	6.063	0.119	0.037	
W13	X좌표	434,215.333	434,215.171	434,215.309	0.162	0.024	HRMS = 0.014 VRMS = 0.035
	Y좌표	167,546.092	167,546.503	167,546.108	-0.411	-0.016	
	Z좌표	5.483	5.352	5.494	0.131	-0.011	
W14	X좌표	434,115.906	434,115.814	434,115.924	0.092	-0.018	HRMS = 0.017 VRMS = 0.043
	Y좌표	168,371.602	168,371.945	168,371.617	-0.343	-0.015	
	Z좌표	10.944	10.816	10.935	0.128	0.009	
W18	X좌표	429,842.031	429,842.124	429,842.045	-0.093	-0.014	HRMS = 0.011 VRMS = 0.029
	Y좌표	167,300.426	167,300.816	167,300.434	-0.390	-0.008	
	Z좌표	7.631	7.608	7.629	0.023	0.002	

3.2 GPS Calibration Parameter 결정

GPS 현장 Calibration에서 결정되는 7 파라미터 값은 지역에 따라 모두 상이하므로 측량 전 반드시 현장 Calibration을 수행하여야 높은 정확도의 측량성과를 얻을 수 있다. 본 실험에서는 논현동 사옥에 설치한 기준점에 기지국 GPS를 설치하고 인천대교 현장의 현장기준점 4점을 관측한 결과, 현장 Calibration을 하지 않은 상태에서는 X축으로 16cm, Y축으로 41cm, Z축으로 13cm의 오차가 발생하였으나, 현장 Calibration을 실시한 상태에서는 X, Y, Z 축으로 공히 2cm 이내의 오차가 발생하여 매우 높은 정확도를 확인할 수 있었다.

이러한 결과값을 가지고 현장에서의 정확한 해상 Pile 위치결정을 위하여 Calibration을 수행하였고, RTK-GPS 측량은 정지측량방식으로 5mm+ 0.5ppm의 정밀도로 관측되었으며, 이 관측값을 TM좌표로

변환한 결과값은 표 3과 같다.

표 3. GPS 기준점 좌표(TM) 관측 결과

측점	관측값			비고
	X축	Y축	Z축(m)	
11	437785.013	164776.140	7.174	
12	436830.251	165644.464	6.100	
14	434115.906	168371.602	10.944	
18	429842.031	167300.476	7.631	
21	429806.005	167347.022	7.631	
31	439434.975	155087.609	7.224	
32	440119.794	155782.174	6.712	
33	441128.498	157779.889	6.546	
34	441589.552	158626.542	7.129	
36	442968.858	162442.951	5.093	

GPS Calibration을 위한 Parameter는 X, Y, Z 축의 회전요소와 각 축을 따라 평행 이동하여야 할 량, 축척계수 등 7개의 Parameter이다. 이들 값을 결정하기 위하여 Trimble사에서 제공하는 Site Calibration 기능을 이용하여 그림 4와 같이 수행하였고, TSCe(total survey controller)와 TGO(trimble geodimetic office) 등 두 가지 Calibration 방법을 이용하였다. Trimble사에서 제공하는 Calibration 방법을 이용하여 지역의 7 Parameter를 구하고자 할 경우에는 수평은 최소 4포인트, 수직은 최소 5포인트의 기준점이 필요하며, 이와 같이 결정된 데이터 변환 매개변수는 표 4와 같다.

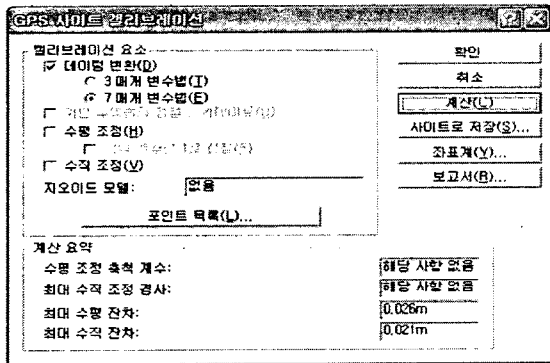


그림 4. GPS 현장 Calibration 시스템

표 4. 데이터 매개변수 변환 결과

변환법	결과
X축 회전	0° 0.016865'
Y축 회전	0° 0.190720'
Z축 회전	0° 0.171422'
X축 평행이동	607.108m
Y축 평행이동	-434.599m
Z축 평행이동	-555.616m
축척계수(ppm)	14.667

4. GPS에 의한 해상 Pile 위치결정

4.1 GPS에 의한 해상 Pile 측량

본 연구대상지역인 서해안 지역은 하루 4회씩 조위가 시간당 1.7m, 최대 10.4m까지 변화하는 조위차가 심한 지역으로 시공 시 단시간에 항타위치를 결정해야 한다. 본 측량기법은 항타선 리더를 직항 및 사향의 두부 점에 일치 시키는 방법이므로 GPS와 리더와의 상호 위치관계를 실시간으로 연속 계산하여 항타선을 유도한다. 입력된 데이터는 프로그램에서 3 차원 좌표로 자동 환산되어 이용되며, 단 한번의 셋팅과 입력으로 공사 종료까지 작업을 수행된다.

개발 프로그램은 이동국에서 연속으로 송신되는 데이터를 처리하여 항타선이 정지할 위치좌표를 계산하고, 직항 및 사향의 두부 레벨값과 리더의 힌지 부분에 대한 레벨값 차이 계산하며, 현재 항타선 위치 및 항타 위치 까지의 이동해야 할 거리 계산한다. 본 연구의 대상지역에 대한 현황도는 그림 5와 같다.

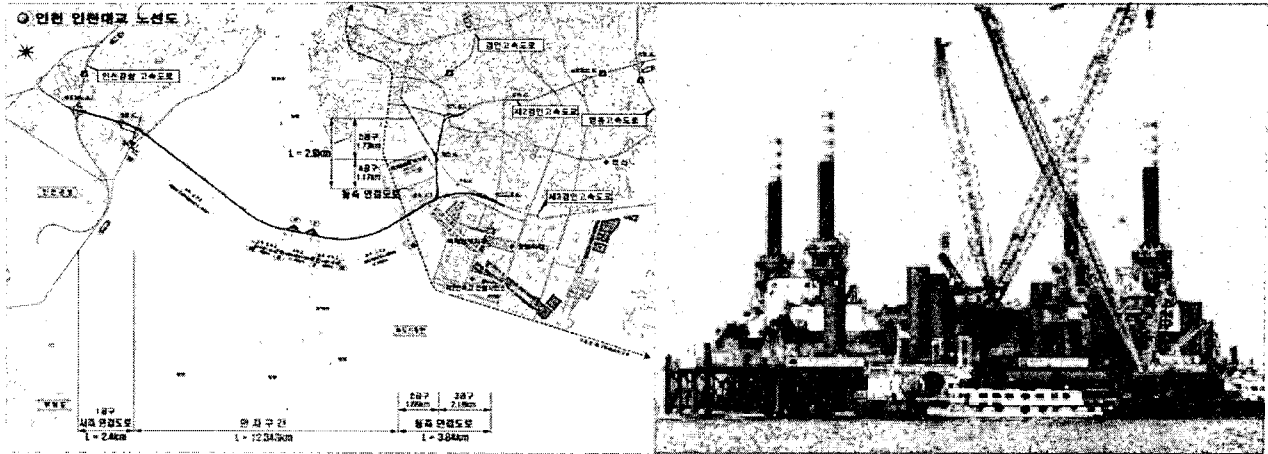


그림 5. 연구대상지역의 현황도

4.2 GPS 정확도 분석

육상의 고정점에 GPS 기지국을 설치하고, 항타선에 2개의 GPS 이동국을 설치하여 이동하는 항타선의 위치를 Telemetry 장비를 이용하여 Notebook PC에 1초단위로 전송되도록 하였다. 항타선 운항시에 설치된 Notebook에서 수집된 위치정보의 계산과 분석에 의해 Monitor에 Display되는 DS-Pile 항타 전용 프로그램의 항타선 형상을 따라 시공자가 직접 유도하여 항타선의 유도시간을 단축시킨다.

이동국형 5700 rover 수신기를 이용하여 인천대교 부근의 기준점을 측정하였으며, WGS 84좌표계에서 고정된 좌표를 관측하였다. 이 관측값은 GPS 관측값을 절대값으로 하고, Calibration 값을 보정하여 관측한 값과 보정전의 값을 비교함으로써 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 5. GPS Calibration에 의한 정확도 비교

Point No.	좌표축	기준값(m)	보정값(m)	관측값(m)	보정값 잔차(cm)	관측값 잔차(cm)
W11	X	437,785.013	437,785.001	437,784.966	1.200	5.600
	Y	164,776.140	164,776.155	164,776.208	-1.500	-6.800
	표고	7.174	7.194	7.245	-2.000	-7.100
W12	X	436,830.251	436,830.240	436,830.184	1.100	6.700
	Y	165,644.464	165,644.473	165,644.534	-0.900	-7.000
	표고	6.100	6.106	6.176	-0.600	-7.600
W14	X	434,115.906	434,115.911	434,115.938	-0.500	-3.000
	Y	168,371.602	168,371.582	168,371.497	2.000	10.500
	표고	10.944	10.926	10.859	1.800	8.500
W18	X	429,842.031	429,842.056	429,842.108	-2.500	-7.700
	Y	167,300.476	167,300.483	167,300.513	-0.700	-3.700
	표고	7.631	7.634	7.688	-0.300	-5.700
W31	X	439,434.975	439,434.976	439,434.945	-0.100	3.000
	Y	155,087.609	155,087.590	155,087.561	1.900	4.800
	표고	7.204	7.224	7.283	2.000	5.900
W32	X	440,119.801	440,119.794	440,119.756	-0.700	-4.500
	Y	155,782.152	155,782.174	155,782.202	2.200	5.000
	표고	6.733	6.712	6.658	-2.100	-7.500
W34	X	441,589.541	441,589.552	441,589.605	1.100	6.400
	Y	158,626.548	158,626.542	158,626.475	-0.600	-7.300
	표고	7.125	7.129	7.265	0.400	14.000
W36	X	442,968.855	442,968.858	442,968.911	0.300	5.600
	Y	162,442.975	162,442.951	162,442.882	-2.400	-9.300
	표고	5.085	5.093	5.195	0.800	11.000

위의 결과에서 나타난 바와 같이 GPS의 현장 Calibration에 의한 GPS 평균 관측오차는 X축이

0.94cm, Y축은 1.53cm, Z축은 8.4cm 등으로 나타났다.

해상 Pile 항타 시 Pile 항장이 수십 m이고, Pile 자체의 무게와 항타방법에 따라 항타선의 무게중심이 이동하게 된다. 시방서 기준은 Pile의 허용경사각이 3°이내이고, Pile의 허용 변위량은 10cm 이다.

해상 Pile 항타 공사를 위한 자동제어 기술을 이용하여 현장의 해상 Pile 총 425본을 시공한 결과 기존에 사용하고 있던 방법은 시방서 기준에 비하여 약 50% 정확도가 떨어졌고, 일본 D사에서 개발한 시스템은 약 30%의 오차가 감소되었으며, 본 연구에서 개발한 GPS에 의한 자동제어 시스템은 시방기준의 시공오차를 64% 감소시키는 시공정밀도를 달성할 수 있었다. 또한, 기존 공법에 비해 해상공사 기간이 32% 단축되었고, 비용은 약 37% 절감하였으므로 막대한 원가절감과 공사기간을 단축할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 GPS 측량을 이용하여 해상 Pile 항타공사의 정확도 및 효율성 향상을 위하여 GPS Calibration과 항타선을 유도할 수 있는 프로그램을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 해상 공사의 정확도 향상을 위하여 GPS의 현장 Calibration을 실시함으로써 GPS 평균 관측오차는 X축이 0.94cm, Y축은 1.53cm, Z축은 8.4cm 등의 정확도를 나타냈다.
2. 본 시스템을 이용하여 Pile 총 425본을 시공한 결과 기존 방법에 비해 공사기간이 약 32% 단축하였고, 공사비용도 약 37%를 절감할 수 있었다.
3. GPS 시스템과 본 연구에서 개발한 프로그램을 이용함으로써 안개나, 비, 눈 등의 기상으로 인한 작업중단의 문제점을 해결할 수 있었고, 시공 결과도 별도의 내업 없이 시공과 동시에 Computer에 저장함으로써 효율적인 공사 및 품질관리, 인력관리 등을 할 수 있었다.

참고문헌

1. Beser, J. and B. W. Parkinson. (1982), The application of NAVIGATION Differential GPS in the Civilian Community, NAVIGATION : Journal of the Institute of Navigation, Vol. 29, No. 2, pp. 107~136.
2. Kalafus, R. M., J. Vilcans N. Knable. (1983), Differential Operation of NAVSTAR GPS, NAVIGATION : Journal of the Institute of Navigation, Vol. 30, No. 3, pp. 187~204.
3. Loomis, P., G. Kremer and J. Ryenolds. (1989), Correction Algorithms for Differential GPS Reference Stations, NAVIGATION : Journal of the Institute of Navigation, Vol. 36, No. 2, pp. 1797~194.
4. Hubiao Lan, (1996), "Development of a Real-Time Kinematic GPS System; Design, Performance and Results", Ph. D. Thesis, Dep. of Geomatics Engineering, The Univ. of Calgary, Canada, pp. 14~23.
5. V. Ashkenazi, A. H. Dodson, T. Moore and G. W. Roberts, (1997), "Monitoring the Movements of Bridges by GPS", ION GPS-07 Pat 2 of 2, pp. 1165~1172.
6. <http://www.dwsc.co.kr> / 동원측량 컨설턴트
7. 이재기, 최석근, 박경식, (2004), "측량학Ⅱ", 형설출판사, pp. 287~319.
8. 박운용, 신동수, 김천영, 김용보, (2002), "RTK-GPS와 Echo-Sounder에 의한 지형측량 정밀도 향상", 대한토목학회 학술발표집, pp. 178~181.