

최적기준점 선정을 위한 GPS와 EDM의 수치계산 조합 분석

Analysis of Combined Observation of GPS and EDM for the Optimum Control Point Selection

정영동* · 박정남** · 박성규*** · 강상구****

Jung, Young Dong · Park, Jung Nam · Park, Sung Kyu · Kang, Sang Gu

要 旨

GPS 상대측위기법에 있어 고정점으로 이용되는 기준점에 과대오차가 내재되어 있다면, GPS의 우수한 성능에도 불구하고 신설점에 미치는 오차의 영향은 다양한 형태의 오차로 전파 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 신설점 선정에 기준점으로 이용될 삼각점들의 오차 분석을 위해 GPS관측을 2개의 세션으로 나누어 수행하고 기선해석과 망조정을 통해 TM 좌표를 구하고 다시 GPS관측이 이루어진 삼각망에 대해 각각의 기선을 EDM으로 관측하고 또한 현행성과를 수평거리로 환산하여 각각 거리를 비교 하였고 좌표분석은 EDM에 의해 관측된 기선을 최소제곱법의 관측방정식을 이용하기 위해 Visual Basic 6.0을 이용하여 좌표변환 프로그램을 개발하여 좌표를 산출하고 GPS 성과 및 현행삼각점 성과와 비교 분석하여 최적기준점을 선정하였다.

ABSTRACT

Control point survey by GPS can save labor and time and can obtain result of high accuracy, but if excessive error is contained to Control point that is used to GPS relative positioning, the error that has influence on new point is propagated to various configuration. therefore poor triangulation points that are caused by careless management are existed, a product of the triangulation points still are in many case. In order to select new point, this study carried out error-analysis of surrounding-control-points and performed selective process of control point. The propriety parts of control points that are used to verify precision is identified by means of comparing existing product with or GPS product about some control points after directly observe each baseline by using EDM. As the error is analyzed by static positioning the optimum control point is selected, the precision of survey data by EDM is improved than GPS data.

1. 서 론

최근에는 GPS측량기술의 발전으로 위성영상과 더불어 3차원 지형정보의 취득이 용이해지고 그 정확도

의 향상으로 여러 측량 외에도 지구물리, 구조물 변위 측정, 자동차 및 비행기, 선박의 항법, 해양측량에 이르기까지 그 이용이 확대되고 있다. 국립지리원에서도 국가 측지기준망의 정확도 향상과 함께 국제적인 기

* 조선대학교 토목과 교수

** 순천제일대학교 토목과 교수

*** 조선대학교 토목공학과 겸임교수

**** 조선대학교 토목공학과 시간강사 · E-mail:k690520@kebi.com

준에 일치하는 기준계의 실현을 위하여 국가기준점을 대상으로 1992년부터 GPS측량을 실시하고 있다.⁵⁾ 그러나 GPS 상대측위기법에 이용되는 기준점에 과대오차가 내재되어 있다면, GPS의 우수한 성능에도 불구하고 신설점에 미치는 오차의 영향은 다양한 형태의 오차로 전파 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 신설점 선정을 위한 주변 삼각점들의 오차 분석을 위해 삼각점의 좌표를 GPS로 관측하여 역 계산방식에 의해 수평거리로 환산하고 다시 각 삼각점간의 거리를 EDM으로 관측하였고 현행 삼각점 성과를 수평거리로 환산하여 각 기선별 오차분석과 좌표간 오차분석을 통해 불량한 삼각점을 선별 하여 신설점 결정에 따른 최적 기준점을 선정하고자 한다.

2. 연구방법 및 범위

GPS에 의한 측량은 상대측위로서 DGPS, RTK(Real Time Kinematic) 후처리에 의한 정적측위 등이 있지만 기준점 측량에는 정밀도가 좋은 정적측위에 의해 이루어 지고 있다. 상대측위에 적용되는 DGPS 및 RTK 측위방식은 기준점에서 보정량을 이동점에 알려 주어야 하고 후처리 정적측위는 하나의 기준점을 고정하여 망조정을 실시해야 하므로 공통적으로 정확한 기준점이 확보되어야 한다.⁶⁾

본 연구의 대상지는 전라남도 구례군 광의면 온당 경지정리 지구로서 지적 삼각 보조점을 새로 신설해야 하는 지역이다. GPS를 이용하여 보조 기준점을 신설하기 위해서는 주변 기지점인 삼각점의 활용을 위한 적합성을 검증할 필요가 있다. 따라서 신설점 주변의 4등 삼각점 7개와 3등 삼각점 1개를 이용하여 삼각망을 구성한 후 불량 삼각점이 있는지 여부를 검증하였다. 우선 1차 망구성을 하고 GPS에 의해 구해진 WGS 84(World Geodetic System 1984)좌표값을 평면 직각좌표로 변환하여 기존 성과와의 비교를 통해 양호한 삼각점을 선별하였다. 여기서 양호한 삼각점을 이용하여 2차 망구성을 하여 신설점 선정에 가장 적합한 삼각점을 최종 선별하였다.

2차 망구성에 사용된 기준 삼각점의 정확도를 검증하기 위해 광파기에 의해서 실측된 거리를 이용하였으며 삼변측량의 엄밀조정 방법인 최소제곱법으로 각각의 좌표를 산출한후 기존 성과 및 GPS 성과와 비교 분석하여 정밀도를 검증하였다.

망조정에 사용된 삼각점은 그 성과를 이용하여 3차원 좌표변환을 수행하였으며, 관측에 사용된 장비는 정밀도가 $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm})$ 인 Trimble 4700기종의 GPS 수신기와 정밀도가 $\pm(5\text{mm}+3\text{ppm})$ 인 Red-2LS기종의 광파기를 사용했으며 보조장비로서 삼변측량의 관측 방정식을 처리하기 위한 Visual Basic 6.0 컴퓨터 언어를 사용하였다. 또한 데이터의 정확도는 지적공사의 GPS측량작업지침에 준하는 값으로 관측을 실시하여 결과를 얻었다.

3. 관측 및 결과분석

3.1 1차관측 및 오차분석

STATIC측위를 하기 위해서는 기준점을 선정하는 것이 중요하므로 신설점 주위에 있는 3등 삼각점 315번 좌표와 4등 삼각점 458, 460, 463번 좌표에 대해 정밀도 검증이 필요하므로 이 기지점들을 이용하여 망을 구성한후 GPS측량을 실시하였다. 측량 일시는 2001년 3월 6일 11시 45분부터 12시 45분까지 1시간 동안 STATIC측위로 동시에 실시하여 오차분석을 하였다. GPS관측에 이용된 삼각망의 구성도는 그림 1과 같다.

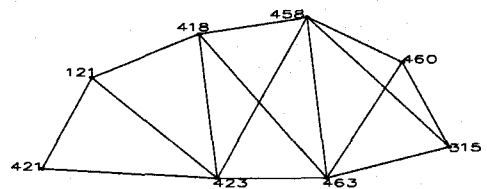


그림 1. GPS 기준점 망

표 1에서 처럼 위성의 수신상태는 각 DOP지수가 1~3정도로서 아주 좋은 상태이며 관측된 위성도 모

두 7개로 일정하였다. 15초 간격으로 수신된 GPS 데이터는 3등 삼각점인 315번을 고정점으로 하여 기선 해석을 수행하였다.

표 1. 관측조건 및 위성상태(1차 관측)

시간 조건	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45
PDOP	1.87	2.01	2.14	2.25	2.26
GDOP	2.08	2.26	2.44	2.59	2.61
HDOP	1.08	1.10	1.11	1.12	1.13
VDOP	1.53	1.68	1.84	1.95	1.96
TDOP	0.90	1.03	1.17	1.27	1.30
관측위성 수	7	7	7	7	7
cutoff angle	15°				
취득간격	15초				

우리나라의 TM직각좌표로 변환하기 위해 변환요소법을 이용하였으며, 변환계수는 4점을 이용하여 6변환계수를 구하였다. 축척을 고정치로 두어 산출된 총 7개의 변환계수는 표 2와 같다.

표 2. 변환 계수

원점이동량			회전계수			축척
ΔX	ΔY	ΔZ	R_X	R_Y	R_Z	
140.945	-578.550	-532.522	3.197	4.184	13.207	-6.662

사용된 삼각점의 경위도 좌표 및 X, Y좌표는 다음 표 3과 같다.

표 3. BESSEL(현행) 성과

측점	BESSEL 위도	BESSEL 경도	X(m)	Y(m)	H(m)
315	35° 17' 13.2876"	127° 27' 48.9154"	19008.78	242166.90	73.40
458	35° 15' 49.3504"	127° 24' 32.8504"	19640.67	237223.60	126.61
460	35° 16' 44.2433"	127° 25' 51.8538"	19810.38	239212.86	255.29
463	35° 15' 18.4704"	127° 29' 18.2182"	195539.68	244026.21	555.42

표 4. 기선해석 성과 (단위:m)

삼각점	GPS경사거리	GPS평면거리	현성과거리	기선오차
315-458	5622.569	5589.943	5589.138	0.805
315-460	3121.153	3090.794	3090.499	0.295
315-463	3993.461	3989.424	3988.933	0.491
458-460	2622.650	2617.133	2616.649	0.484
458-463	6878.695	6865.015	6864.674	0.341
460-463	5487.233	5480.793	5480.645	0.148

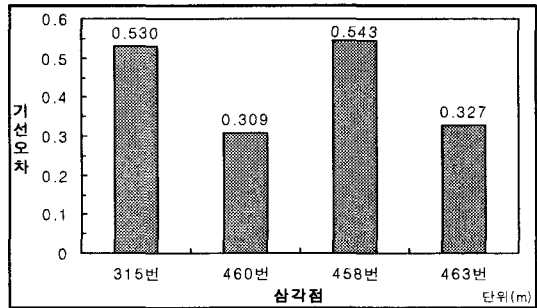


그림 2. 관련 기선의 평균오차 I

수신된 GPS데이터는 기선해석을 하여 표 4와 그림 2와 같은 성과를 얻을 수 있었다. 표 4에서 기선오차는 GPS 평면거리와 기존 성과거리와의 오차로서 315번 458번과 관련된 망에서 오차들이 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 2에서는 각 삼각점과 관련된 기선의 평균오차를 나타낸 것으로서 고정점으로 사용된 315번과 관련된 기선오차가 약 50cm의 과대오차가 발생함을 알 수 있었다. 위와 같이 기선해석후 망 조정하여 산출된 WGS 84좌표와 우리나라의 평면직각좌표로 변환된 값은 다음과 같다.

표 5. GPS 관측 성과

삼각점	WGS 84 위도	WGS 84 경도	X(m)	Y(m)	표고(m)
315	35° 17' 24.3021"	127° 27' 51.6622"	19009.213	242167.114	73.330
458	35° 16' 0.36131"	127° 24' 35.5868"	19640.406	237223.311	130.990
460	35° 16' 55.25852"	127° 25' 54.6002"	19810.656	239212.913	300.390
463	35° 15' 29.4261"	127° 29' 45.6265"	195539.435	244026.232	550.940

표 6. 수평위치 오차

삼각점	현 성과와의 차(m)		수평거리오차(m)
	ΔX	ΔY	
315	0.433	0.214	0.483
458	-0.264	-0.289	0.391
460	0.076	0.053	0.093
463	-0.245	0.022	0.246

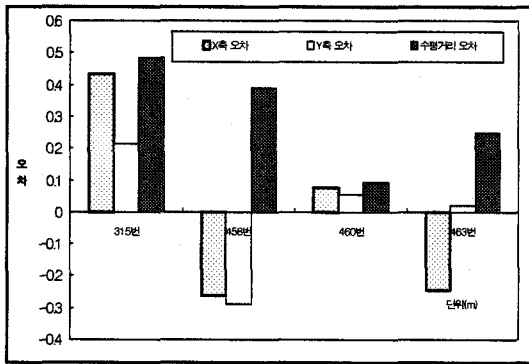


그림 3. 각 삼각점의 수평위치오차 1

지적공사의 GPS측량 작업지침 13조에 의하면 현행 성과와의 차는 수평위치 20cm 이내를 허용오차로 하고 있으나 위의 표 6과 그림 3에서 각 삼각점의 수평 위치오차를 분석한 결과 허용 기준 범위보다 과도한 오차를 수반하므로 관측성과의 사용성에 문제가 있음을 알 수 있다. 특히 망 조정시 고정점으로 사용했던 315번 삼각점은 가장 큰 수평위치오차를 만들어 기선 오차를 유발했음을 알 수 있었으며, 관련기선오차와 수평위치오차가 상당히 커서 기준점으로서의 활용에 부적합함을 알 수 있었다. 오차를 많이 수반한 삼각점을 고정점으로 하여 GPS 기선해석 및 망 조정을 실시하였으므로 나머지 삼각점들에 대한 성과의 재 검증을 통해 기준점을 선정할 필요가 있음을 알 수 있었다.

3.2 2차 관측 및 오차분석

2차 관측에서는 315번 삼각점을 제외하고 주변의 양호한 삼각점과 망을 재구성하여 나머지 삼각점에 대한 정확도 및 활용여부를 판단하였다. 주변의 삼각점들은 모두 4등 삼각점으로서 GPS측량에 의해 정밀

도 검증과 광파기에 의해 실거리를 관측하여 관측방정식에 의한 최소제곱법으로 만들어진 좌표성과로 비교 분석 하였다. 두 개 session으로 나누어서 관측하였는데 1session은 458번, 463번, 418번, 423번으로 하였고, 2session은 421번, 418번, 121번, 423번으로 구성해서 1차 관측했던 망과는 458번, 463번을 공통점으로 두어 연결이 되도록 하였다.

1session은 2001년 3월 23일 11시 45분부터 12시 45분까지 1시간 동안 실시하였으며, 관측조건 및 위성상태는 표 7과 같다.

표 7. 관측조건 및 위성상태(1session)

조건 \ 시간	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45
PDOP	1.91	2.05	2.18	2.27	2.63
GDOP	2.13	2.31	2.49	2.61	3.05
HDOP	1.09	1.10	1.11	1.12	1.36
VDOP	1.57	1.72	1.88	1.97	2.25
TDOP	0.94	1.07	1.20	1.29	1.55
관측위성 수	7	7	7	7	6
cutoff angle	15°				
취득 간격	15초				

2session은 3월 24일 13시 30분부터 14시 30분까지 관측하였는데 1session 위성의 조건들이 1차 관측과 거의 유사했으나 2session은 표 8에서 처럼 관측된 위성수의 불규칙과 각 DOP지수가 약간 차이가 있었다.

그러나 측량에 필요한 최소의 위성수 4대 이상과 DOP지수 1~4정도 좋은 조건으로서 관측에 필요한 조건으로 충분하다.

표 8. 관측조건 및 위성상태(2session)

조건 \ 시간	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
PDOP	2.43	2.23	1.96	2.88	3.22
GDOP	2.80	2.55	2.20	3.35	3.75
HDOP	1.21	1.10	0.97	1.46	1.61
VDOP	2.10	1.93	1.70	2.48	2.79
TDOP	1.40	1.25	1.00	1.70	1.91
관측위성 수	6	6	7	6	5
cutoff angle	15°				
취득 간격	15초				

수신된 GPS데이터는 421번 삼각점을 고정점으로 두고 기선해석 및 망 조정을 하여 현행성과와 비교한 결과는 다음과 같다.

표 9. 기선해석 성과

삼각점	①기존거리	②평면거리	①-②(m)
418-421	7173.903	7173.666	-0.237
-423	5682.639	5682.442	-0.197
-458	4018.595	4018.716	0.121
-121	4390.762	4390.512	-0.250
421-423	4321.944	4321.862	-0.082
-121	2822.554	2822.540	-0.014
423-121	3794.150	3793.957	-0.193
418-460	5581.047	5581.476	-0.429
418-463	6292.174	6292.347	-0.173
421-458	10680.001	10679.924	0.077
-460	10967.254	10967.302	-0.048
421-463	7123.343	7123.242	-0.101
423-460	7316.830	7316.811	-0.019
-463	2801.443	2801.422	-0.021
-458	7842.656	7842.618	-0.038
458-460	2616.648	2617.127	0.479
-463	6864.672	6864.985	0.313
-121	8093.598	8093.477	-0.121
460-463	5480.644	5480.775	-0.131
-121	8776.067	8776.123	-0.056
463-121	6198.346	6198.272	0.074

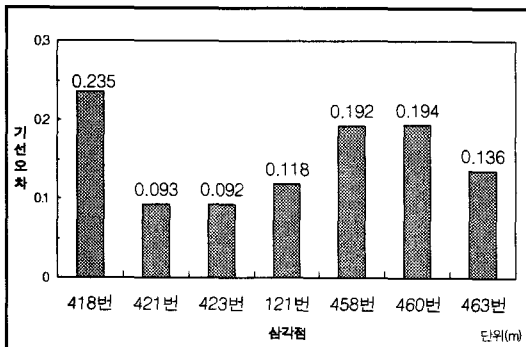


그림 4. 관련 기선의 평균오차 II

위와 같이 실시된 기선해석에서는 새로 추가된 삼각점중 418번 삼각점이 기선오차가 가장 많이 발생하였으며, 기존 1차 관측된 망에서 사용하였던 삼각점에서는 458번과 460번에서 큰 오차가 발생함을 알 수 있다.

1차 관측에서 처럼 망 조정 후에 GPS데이터를 TM 직각 좌표로 변환하여 표 10과 같이 오차분석을 실시하였다.

표 10. 수평위치오차 비교

삼각점	현 성과(m)		GPS 성과(m)		ΔX (m)	ΔY (m)	수평 거리 오차	최소 수평 거리 오차
	X	Y	X	Y				
418	192632.48	238445.92	192632.293	238445.962	-0.187	0.042	0.192	
421	188419.94	244252.76	188419.988	244252.724	0.048	-0.036	0.060	
423	192740.07	244127.54	192740.040	244127.403	-0.030	-0.137	0.140	
121	189765.86	241771.77	189765.964	241771.770	0.104	0.000	0.104	
458	196460.67	237223.60	196460.521	237223.431	-0.149	-0.169	0.225	0.391
460	198160.58	239212.86	198160.807	239213.005	0.227	0.145	0.269	0.093
463	195539.68	244026.21	195539.667	244026.365	-0.013	0.155	0.156	0.246

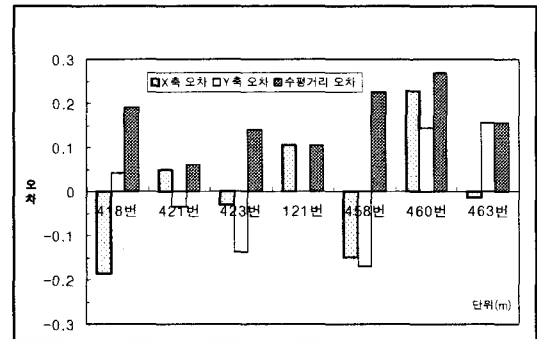


그림 5. 각 삼각점의 수평위치오차 II

표 10과 그림 5을 통해 기선해석에서 다소 오차를 유발했던 418번 삼각점은 허용오차 20cm 이내임을 알 수 있었고 460번 삼각점을 제외한 나머지 삼각점은 모두 허용범위내에 있음을 알 수 있었다.

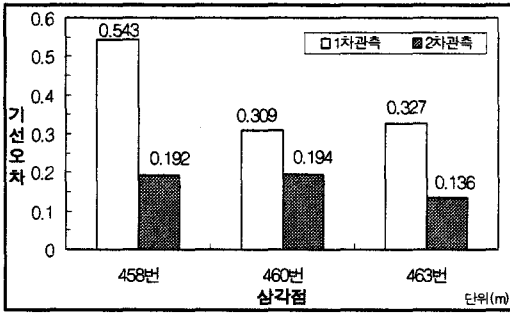


그림 6. 기선오차의 변화

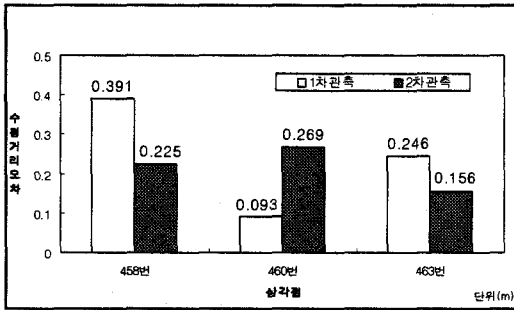


그림 7. 수평거리 오차의 변화

그림 6과 7은 동일점에 대한 1, 2차 관측값의 오차 변화이다. 위와 같이 신설점을 만들 주변 삼각점에 대한 기선오차와 수평거리오차 변화를 분석한 결과, 2차 관측에서 많은 정확도의 향상됨을 알 수 있었으나, 460번에서 수평거리오차가 더욱 증가되어 사용성에 문제가 있는 것으로 판단되었으며, 오차가 가장 적은 463번을 신설점을 만들 기준점으로 사용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

위와 같은 분석으로 2차 관측된 성과에서 최종 기준점을 확정할 수 있었던 것은 1차 관측시에는 불량 삼각점인 315번을 고정으로 망조정된 값이나 2차 관측된 값은 허용오차 범위에 있는 양호한 삼각점을 고정점으로 사용하여 신뢰성이 더 높다고 할 수 있기 때문이다.

3.3 실측된 기선에 따른 검증

1, 2차 관측을 통해 GPS의 망조정에 기지점의 선택에 따라 정밀도의 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 따라서 2차 관측에 사용된 새로운 삼각점들의 성과에

대해 문제성이 없는지 정밀도 검증을 위해 광파기를 이용해 각 기선을 실측해보았다. 실측된 기선은 삼변 측량의 엄밀조정법인 관측방식의 최소제곱법으로 성과를 만들었으며, 광파기로 실측된 거리의 성과는 표 11과 같다.

표 11. 실측된 기선의 거리 비교 (단위:m)

삼각점	①기존거리	②평면거리	③광파거리	①-②	②-③	①-③
418-421	7173.903	7173.666	7174.023	-0.237	-0.357	-0.120
-423	5682.639	5682.442	5682.697	-0.197	-0.376	-0.058
-458	4018.595	4018.716	4018.678	0.121	0.038	-0.083
-121	4390.762	4390.512	4390.890	-0.250	-0.378	-0.128
421-423	4321.944	4321.862	4321.859	-0.082	0.003	0.085
-121	2822.554	2822.540	2822.498	-0.014	0.042	0.066
423-121	3794.150	3793.957	3794.078	-0.193	-0.121	0.072

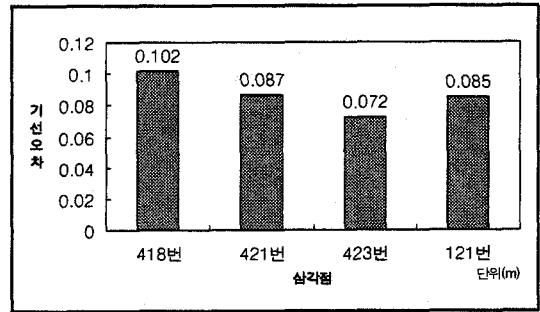


그림 8. 관련 기선의 평균오차(실측)

그림 8은 관측된 기선거리를 현 성과 거리와 비교하여 기선오차를 구한 것으로서 모두 10cm 내외로 양호한 결과가 나옴을 알 수 있었다. 관측된 기선을 이용하여 TM직각 좌표를 구하여 현행 성과 및 GPS성과와 비교를 실시한 결과는 표 12와 그림 9 ~ 그림 10과 같다.

표 12 실측된 기선에 대한 성과

삼각점	X(m)	Y(m)	현 성과와 비교(m)			GPS와 비교(m)		
			ΔX	ΔY	수평거리오차	ΔX	ΔY	수평거리오차
418	192632.604	23845.860	-0.124	0.060	0.138	-0.311	0.102	0.327
421	188420.013	244252.839	-0.073	-0.079	0.108	-0.025	-0.115	0.118
423	192739.969	244127.566	0.101	-0.046	0.111	0.101	-0.183	0.209
121	189765.854	241771.879	0.006	-0.109	0.109	0.11	-0.109	0.155

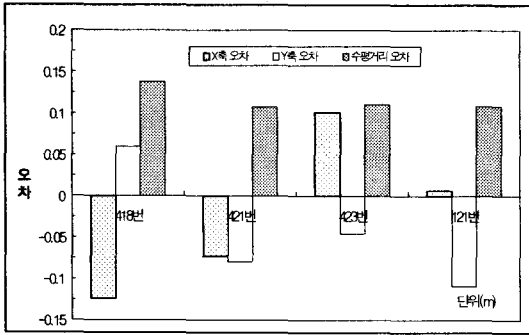


그림 9. 현 성과와 비교

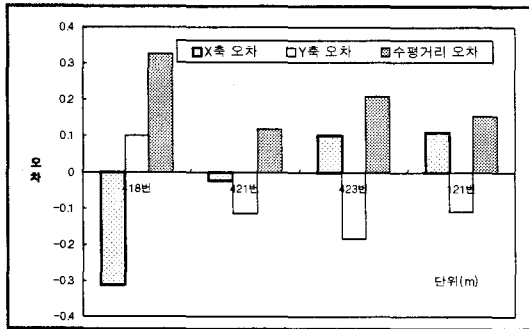


그림 10. GPS와 비교

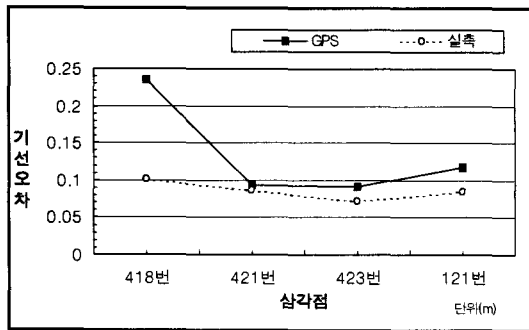


그림 11. 기선오차의 현 성과에 대한 비교

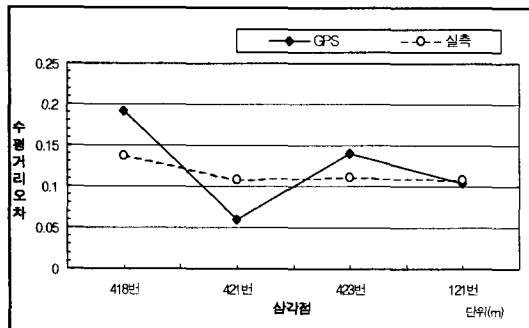


그림 12. GPS와 실측된 값의 현 성과에 대한 비교

그림 9와 10에서처럼 실측된 기선을 관측방정식에 의한 최소제곱법으로 성과를 만들어 분석한 결과 GPS관측에서 다소 높게 나왔던 418번 삼각점이 현행 성과와 어느 정도 잘 맞는 것을 알 수 있었으며 나머지 측점들도 모두 약 10cm내외의 수평오차만 나올 뿐 양호한 삼각점들임을 알 수 있었다. 다만 GPS성과와 비교하면 418번 삼각점의 X축에서 많은 차이가 나타남을 알 수 있다.

그림 11과 12에서는 GPS의 관측값과 실측값을 현 성과와 비교하여 나타낸 것으로서 실측된 기선의 오차는 GPS 관측값에 비해 일정하게 나타나며 수평위치오차는 실측값의 오차 분포가 10~15cm의 범위에 모두 들어오나 GPS관측값의 오차분포는 5~20cm의 분포를 나타냄으로써 실측값의 정밀도가 더 양호하게 나타남을 알 수 있었다.

그러나 수평위치의 평균관측오차가 GPS의 관측에서는 약 12.4cm, 실측값에서는 약 11.6cm로서 정확도는 서로 비슷함을 알 수 있었다. 이는 5km 내외의 단 기선에서는 광파거리측량기(EDM)의 정밀도가 더 좋기 때문인 것으로 판단된다.

위에서 구한 성과는 삼변측량의 엄밀조정 계산의 편리성을 위해 그림 13과 같이 Visual Basic 6.0 언어로 만든 프로그램을 활용했다.

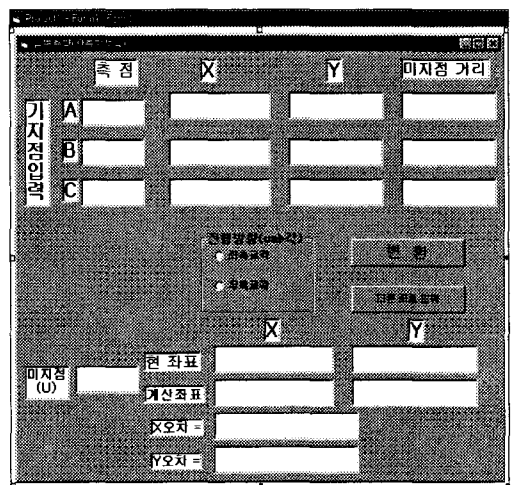


그림 13. 관측방정식 처리 초기화면

4. 결 론

본 연구는 신설점 결정에 이용되는 기준점의 오차분석에 관한 연구로서 GPS성과 현행성과 삼변측량 성과를 종합적으로 분석하여 최적기준점을 선정 할 수 있었고 분석에 따른 세부사항은 다음과 같다.

첫째, GPS 관측 결과, EDM 관측 성과 및 현행성과에 대해 평면 역거리 산정 및 각 기선 비교, 각각의 평면 좌표를 비교 분석 하여 기준점에 내재된 과대오차를 추출 하므로써 신설점 결정에 이용될 수 있는 최적 기준점을 선별할 수 있었다.

둘째, 정밀도 검증을 위하여 망을 구성하여 GPS측량을 실시한 결과 과대오차가 내재된 삼각점을 제외하고 재구성된 망에서는 삼각점의 수평거리오차가 17cm, 9cm등으로 사용된 기준점의 성과에 따라 정밀도의 차가 나타남을 알 수 있었다.

셋째, 현행 성과를 참값으로 가정할 때 관측방정식에 의한 최소제곱법으로 처리된 실측값의 수평위치의 오차폭은 약 3cm정도 였으나 GPS에 의한 성과의 오차폭은 약 13cm로서 단기선에서는 EDM에 의한 삼변측량 성과가 상대적으로 더 양호하게 나타났다.

5. 최 윤수(1998), "정밀 1차 기준점의 실용성과 결정", 국립지리원.
6. 대한지적공사(1997), GPS 측량의 실용화 연구보고서, pp. 31-39, 51-87.
7. 대한지적공사(1998), 좌표변환, 평면거리계산 S/W 개발, pp. 57-86.
8. Alfred Leick(1995), "GPS satellite Surveying", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 317-380.
9. Chris Rizos(1997), "Principles and practice of GPS surveying", UNSW.
10. Talbot, N. C.(1993). "Centimeters in the field : A users perspective of real time kinematic positioning in a production environment", Proc. ION-GPS-93, 2 : 589-598.

(2002년 2월 14일 원고접수)

참 고 문 헌

1. 강 준목, 정 용식, 최 종현(1996), "GPS 반송파 위상을 이용한 측지학적 절대위치 결정", 한국측지학회지, 제 14권, 제 2호, pp. 181-188.
2. 광 재하, 윤 홍식, 최 재화(1995), "GPS 측량에 의한 안정된 기준점의 이용에 관한 연구", 대한 토목학회 논문집, 제 20권, 제 2-D호, pp.181-189.
3. 박 필호, 한 인우, 김 천휘, 강 준목(1991), "GPS 측지 기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 9권, 제 1호, pp. 37-45.
4. 조 흥목(1998), "GPS에 의한 국가 정밀측지망의 정밀도 제고 방안", 석사학위논문, 안성산업대 대학원.