

Kinematic GPS에 의한 3차원 위치결정의 정확도 분석 Analysis of the Accuracy of Kinematic GPS Positioning

강준묵* · 김홍진** · 이형석***

Kang, Joon-Mook · Kim, Hong-Jin · Lee, Hyung-Seok

要 旨

각종 건설공사와 국토종합개발계획을 위한 3차원 지형정보의 효율적인 획득에 대한 중요성이 날로 강조되고 있는 가운데, GPS를 이용한 3차원 위치결정의 정확도 분석 및 응용 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 본 연구에서는 kinematic GPS에 의한 지형정보구축의 효용성 및 응용 가능성을 입증하고자 삼각, 삼변측량 및 static GPS 측량을 수행하고 그 성과를 kinematic GPS 측량성과 비교 분석하였다. 그 결과 기선길이 1.5 km 정도의 소규모 지역에서 kinematic GPS 측량으로도 static에 대해 기선의 경우 6 mm 이하, 위도, 경도의 경우 2"/10,000-4"/10,000초, 고도의 경우 20 cm 미만의 차로 3차원 위치를 결정할 수 있었다. 또한 종래의 측량방법과 비교해 볼 때 수평위치에서 1"/1,000-3"/1,000초 정도의 접근양상을 보였다. 따라서 이를 이용한 지형도 작성 및 GIS와 연계한 데이터베이스 구축의 효용성 및 실용가능성을 기대할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Executing various constructions and national land planning, it has risen importance how to acquire 3-dimensional geographical information efficiently. In conjunction with this, the concerned parties are interested in the accuracy of GPS positioning and applications. This study suggest the efficiency and possibility to apply geographical information construction by kinematic GPS surveying as comparing kinematic GPS results with triangulation, trilateration and static GPS results. In this study, we try to compare static with kinematic and can determine 3-D positions with difference of 6 mm in distance, 2"/10,000-4"/10,000, 20 cm in latitude, longitude and height at local area. In addition, difference from conventional surveying is about 1"/1,000-3"/1,000 in horizontals. Therefore it is expected to apply kinematic GPS to make out topographic map and to construct data base associated with GIS.

1. 서 론

오늘날 인공위성을 이용한 첨단 측량시스템인 GPS는 고정밀 3차원 위치해석이 가능하고 그 응용면에서 국외적으로 측지망 구성은 물론 지도제작, 지형정보구축, 토목공사 등 각 분야에서 그 효용성이 부각되어 있어 다목적으로 GPS가 활용되고 있으며 국내에서도 static GPS 측량에 의한 3차원 위치결정의 정확성과 효용성이 입증되면서 GPS의 실용화에 대한 검토가 이루어지고 이와 관련된 기초연구와 응용연

구개발이 최근 활발히 이루어지고 있다.^{1,4)}

특히 kinematic GPS 측량은 한점 고정에 의한 상대측위방식으로 static 방법에 필적하는 높은 정밀도의 위치측정을 수분 안에 신속히 수행할 수 있기 때문에⁵⁾ 다량의 데이터를 필요로 하는 지형도 작성 또는 지형정보체계의 데이터베이스 구축 등에 유용한 기법으로 대두되고 있다.⁶⁾

Kinematic 측량은 상대적 위치가 알려진 2개의 측점에서 시작하는데, 이러한 초기기선은 static 측량 또는 안테나 교환방법(antenna swapping)에 의해 결정된다.^{7,8)} 안테나 교환방법의 경우 안테나 1은 측점 A에, 안테나 2는 측점 B에 설치하여 수초 동안 최소 4개 이상의 위성으로부터 lock을 유지하면서 위성

*충남대학교 토목공학과 교수
**충남대학교 토목공학과 박사과정
***충남대학교 토목공학과 석사과정

데이터를 수신한 후, 두 개의 안테나를 서로 바꾸어 실시하므로써 2점간의 기선 vector를 결정하는데, 수 초 안에 mm의 정확도로 기선결정이 가능한 것으로 알려져 있다.⁹⁾ 본 연구에서는 이들 2가지 방법에 의해 초기기선을 결정하고 kinematic 측량을 수행하였다. 또한 semi-kinematic 기법이라 할 수 있는 pseudo-static 측량을 동일측점에 대해 실시하여 kinematic 측량으로 도출된 성과의 정확도를 비교하였다. Pseudo-static 측량은 측점간을 이동하는 동안 위성에 대해 lock을 반드시 유지하지 않아도 되며 각 측점에서 10분간의 관측시간 만을 필요로 하는 반면, 각 측점을 적어도 1시간 후에 한번 더 관측해야 하는 불편한 점을 가지고 있다. 따라서 신속성을 요구하나 이동 중에 lock을 유지하기 어려운 경우에는 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다.¹⁰⁾

GPS 측량 이외에도 EDM과 Theodolite를 이용한 삼변, 삼각측량을 수행하고 관측된 각, 거리 요소를 조합처리하여 각 측점의 X, Y 좌표를 산출하였다. 여기서, 고정점으로 사용한 2점의 좌표성과는 대전·충남 일대의 11개 삼각점과 23개 수준점에서 static GPS 측량하여 산출한 7-parameter를 이용하여 얻었다.

이상과 같이 kinematic GPS 측량결과를 static, pseudo-static 측량 및 종래의 측량방법으로 각각 도출된 결과와 비교분석하므로써 kinematic GPS의 정확도를 검토하고 이를 지형도 작성 또는 GIS의 데이터베이스 구축 등에 효과적으로 적용할 수 있는지를 고찰하였다.

2. 관측 및 자료처리

연구대상 지역은 EDM 관측의 시통과 GPS의 위성신호 수신에 양호한 지역으로 EXPO 개최지 주변의 갑천 고수부지를 선정하였다. 관측망은 kinematic GPS 측량에 적합한 소규모 형태로 구성하여 10개의 측점과 2개의 kinematic GPS 기준점, 총 12개 측점을 그림 1과 같이 배치하였다.

2.1 Static GPS 측량

Static GPS 측량은 국내에서 잠정 결정된 과거대의 GPS 기준점(DAEN)을 고정으로 한 상대측위방식으로 Trimble 4000 SST 수신기 3대를 사용하여

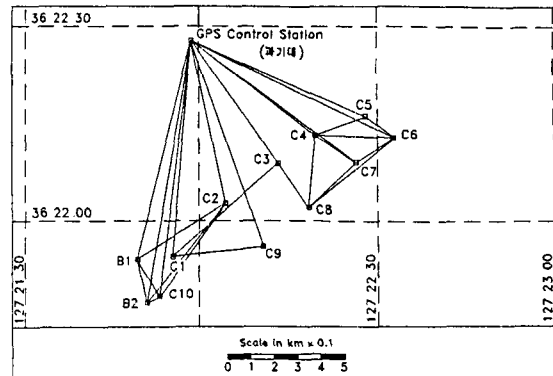


그림 1. 실험 대상 지역 GPS 관측망도

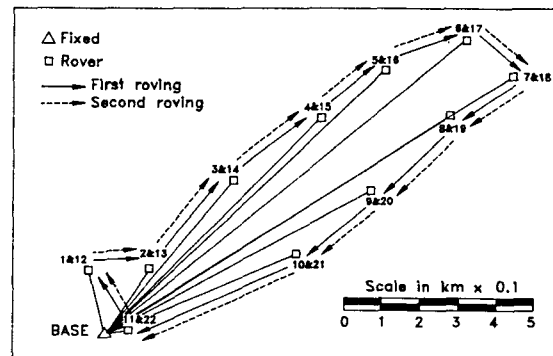


그림 2. Pseudo-static GPS 관측도

그림 1과 같이 수행하였다.

위성신호의 수신은 single frequency 방식으로 각 측점 당 120분씩 실시하였다.

Static GPS 관측자료는 기준점을 고정으로 TRIMVEC-PLUS Software의 SBP와 MBP 방식에 의해 처리하여 WGS 84 좌표계 상의 3차원 좌표, 측점간의 기선 및 정밀도 등을 산출하였다.

2.2 Pseudo-Static GPS 측량

Pseudo-static GPS 측량은 static GPS 측량에 의해 결정된 B2 측점을 기준으로 TRIMBLE 4000SE 수신기 2대를 이용, 5초의 sync Rate로 각 측점 당 10분씩 2회 반복점유를 통하여 그림 2와 같이 진행하였다.

Pseudo-static GPS 관측자료는 Trimble 4000 program을 이용하여 수신기로부터 computer로 입력한 다음 static GPS로 결정된 측점 B2를 기준으로 TRIMVEC-PLUS 소프트웨어의 kinematic 자동처리

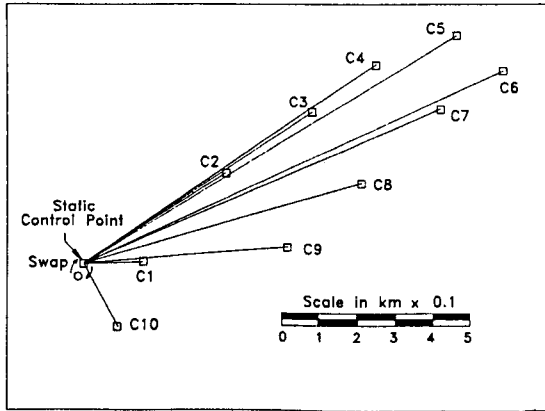


그림 3. Kinematic GPS 관측도

기인 KIN과 pseudo-static option을 실행하여 자동일괄처리하였으며 각 측정점간의 기선방위각, 길이 및 벡터성분을 계산하고 각 측정점의 WGS 84 좌표계상의 3차원 좌표 및 정밀도를 산출하였다.

2.3 Kinematic GPS 측량

Kinematic GPS 측량은 안테나 교환방법과 static GPS에 의해 사전 결정된 기지 기선을 이용하는 방법으로 TRIMBLE 4000SE 수신기 2대를 사용하여 실시하였다. 고정점의 안테나는 geodetic L1을 사용하였고 이동용 안테나로는 소형경량의 분리형인 kinematic compact dome antenna를 사용하였다. 관측

시 지평면 고도는 10°로 하고 최소 4개의 위성으로부터 5초의 sync Rate로 각 측정점 당 2분씩 그림 3과 같이 관측하였다.

2.3.1 안테나 교환방법

안테나 교환방법을 이용한 kinematic GPS은 표 1과 같이 진행하였고 관측자료는 static GPS로 결정된 B1을 기준점으로 KIN을 실행하여 antenna swapping option에 의해 처리하였으며 각 측정점간의 기선방위각, 길이 및 벡터성분을 계산하고 각 측정점의 WGS 84 좌표계상의 3차원 좌표 및 정밀도를 결정하였다.

2.3.2 기지기선 이용 방법

기지기선(B2-C2)을 이용한 kinematic GPS는 표 2와 같이 진행하였으며 관측자료는 static GPS로 결정된 B2를 기준점으로 KIN을 실행시켜 기지기선간의 벡터성분 ΔX , ΔY 및 ΔZ 를 입력, kinematic 측량 초기화 절차를 해결하고 자동일괄처리로 각 측정점에 대한 좌표요소들을 계산하였다.

관측 데이터의 양호도를 검토하는 두가지 요소로서 RMS(Root Mean Square)와 RDOP(Relative Dilution of Precision)이 있는데, kinematic의 경우 한계값이 RMS는 0.06-0.02이고 RDOP은 0.50이다.¹¹⁾ 본 연구에서 kinematic 측량시 얻어진 RMS와 RDOP 값은 표 3과 같다.

종래 측량방법에 의한 X, Y 좌표는 EDM과 1" 독 Theodolite을 이용하여 각 측정점간의 기선 및 사이각을 측정하고 최소제곱조정기법에 의하여 결정하였다. 이

표 1. 안테나 교환방법을 이용한 kinematic GPS 관측진행표(Rover Case)

Data Set	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Point ID	R1	B1	R1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
SVs	6	6	5	7	7	6	6	6	6	7	7	7	7
4SV Epochs	37	37	37	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

표 2. 기지기선 방법에 의한 kinematic GPS 관측진행표(Rover Case)

Data Set	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Point ID	C2	C1	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
SVs	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5
4SV Epochs	24	24	24	25	24	24	24	24	24	24

표 3. Kinematic GPS 관측결과의 평균 RMS 및 RDOP

Kinematic GPS 방법	RMS	RDOP(m/cycle)
Known baesline method	0.027	0.364
Antenna swap method	0.020	0.228

때 고정점의 좌표는 대전·충남 지역내의 삼각점 및 수준점으로부터 도출한 좌표변환 parameter을 이용하여 산출하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 GPS 관측성과의 정밀도

대상지역내 12개 측점의 static, pseudo-static 및 kinematic GPS 측량방법에 대한 기선측정 정밀도는 단거리에 적합한 SBP 방식의 double difference fixed solution 결과(FIX)를 이용하여 비교하였다.

각 기법 별 기선측정의 정밀도는 그림 4와 같으며, 1.5 km 미만의 기선에 대한 static기법의 경우 1 mm + 3 ppm, kinematic기법의 경우는 각 방법별로 동일하게 5 mm + 2 ppm의 정밀도로 나타나고 있으며 pseudo-static의 경우에서도 kinematic과 동일한 정밀도를 보여준다. 따라서 1.5 km 이내의 측량지역에서 kinematic GPS에 의해 mm 단위의 정밀한 기선측정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.2 GPS 측량방법 별 기선 및 좌표결과의 비교

Base 측점(B2)으로부터 5개 측점에 대한 기선을 SBP 방식으로 처리하여 산출한 static, pseudo-static,

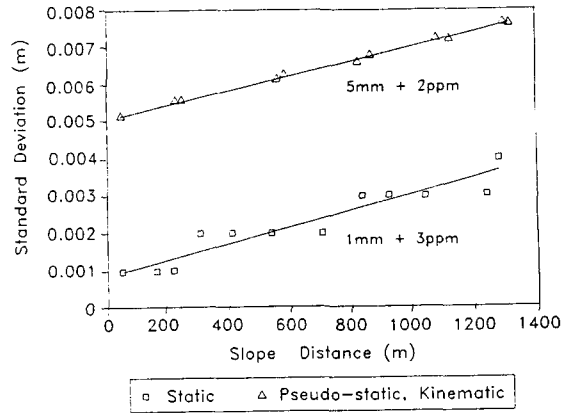


그림 4. GPS 측량방법 별 기선측정 정밀도

kinematic 측량방법의 경사거리는 표 4와 같다. Static GPS 기선결과를 기준으로 한 pseudo-static GPS, 안테나 교환방법에 의한 kinematic GPS 및 기지 기선방법을 이용한 kinematic GPS의 평균 기선길이는 각각 ± 0.2782 m, ± 0.0056 m 및 ± 0.0043 m를 보이고 있다. Kinematic과 static 방법이 기선측량에서 평균 6 mm 미만의 미소한 차를 보이고 있어 kinematic이 신속하게 다량의 3차원 좌표를 획득하는데 효율적인 방법이 될 수 있음을 알 수 있다.

10개의 측점에 대하여 수행된 static, pseudo-static, kinematic GPS 측량결과를 TRIMNET-PLUS로 조정된 3차원 좌표를 각 방법 별로 비교하면 표 5와 같다. 그리고 과대오차를 포함한 측점 C6(경도, 고도), C7(고도), C9(위도)을 제외한 ϕ , λ 및 h차로 도시하면 그림 5와 같다. Static GPS 성과를 기준으로 한 위도, 경도 및 고도성분의 평균편차가 pseudo-static의 경우

표 4. 동일 기선에 대한 GPS 기법 별 경사거리 (m)

Baseline	Static (1)	Pseudo-static (2)	Kinematic (Antenna Swap) (3)	Kinematic (Known Baseline) (4)	(1)-(2)	(1)-(3)	(1)-(4)
B2~C6	1315.0352	1314.6460	1315.0305	1315.0295	0.3892	0.0047	0.0057
B2~C7	1118.2045	1118.1850	1118.2034	1118.2117	0.0195	0.0011	-0.0072
B2~C8	823.0251	823.9003	823.0351	823.0170	-0.8752	-0.0100	0.0081
B2~C9	557.9928	557.9278	557.9865	557.9924	0.0650	0.0063	0.0004
B2~C10	52.1620	52.1953	52.1562	52.1623	-0.0333	-0.0058	0.0003
Average					± 0.2782	± 0.0056	± 0.0043

표 5. GPS 측량방법 별 3차원 좌표 비교

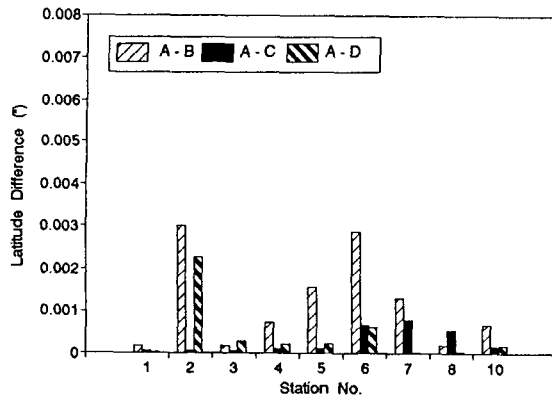
측 점	성 분	㉑	㉑-㉒	㉑-㉓	㉑-㉔
C1	φ	36° 21' 54.494924"	0.000164	0.000038	0.000008
	λ	127° 21' 55.034189"	0.000251	0.000400	0.000165
	h	63.4071 m	-0.1834	-0.1723	-0.165
C2	φ	36° 22' 02.761326"	-0.003009	-0.000060	-0.002274
	λ	127° 22' 03.764708"	0.006332	0.000359	-0.000575
	h	66.6864 m	-0.0564	-0.1699	0.0582
C3	φ	36° 22' 08.753798"	-0.000154	-0.000053	0.000278
	λ	127° 22' 12.799088"	0.000626	0.000338	0.00012
	h	67.0223 m	-0.1611	-0.183	-0.1901
C4	φ	36° 22' 13.191409"	0.000729	-0.000106	-0.000224
	λ	127° 22' 19.406473"	0.005979	0.000475	-0.00029
	h	66.5845 m	-0.2891	-0.1619	-0.1917
C5	φ	36° 22' 16.280005"	0.001568	-0.000101	0.000227
	λ	127° 22' 28.062861"	-0.004212	-0.000029	-0.00004
	h	62.2517 m	-0.2503	-0.1724	-0.2013
C6	φ	36° 22' 12.778202"	0.002876	-0.000662	0.000613
	λ	127° 22' 32.803444"	0.017204	-0.000398	-0.000194
	h	66.2000 m	-0.4942	-0.1817	-0.1549
C7	φ	36° 22' 09.061778"	0.001303	-0.000784	-0.000009
	λ	127° 22' 26.378885"	-0.00001	-0.000467	-0.00035
	h	66.4938 m	-0.5491	-0.1513	-0.1466
C8	φ	36° 22' 01.977471"	-0.000197	-0.000541	-0.000028
	λ	127° 22' 18.091955"	0.006107	0.000053	0.000131
	h	67.2942 m	-0.2995	-0.1698	-0.1847
C9	φ	36° 21' 55.855268"	-0.00604	-0.000109	0.000521
	λ	127° 22' 10.269304"	0.007132	-0.00049	-0.000396
	h	66.8291 m	-0.1386	-0.1744	-0.152
C10	φ	36° 21' 48.102317"	0.000664	-0.00014	0.000196
	λ	127° 21' 52.363912"	-0.00226	-0.000219	-0.000192
	h	63.7208 m	-0.1121	-0.1646	-0.171
평 균	φ		± 0.00118"	± 0.00026"	± 0.000438"
	λ		± 0.00366"	± 0.000323"	± 0.000219"
	h		± 0.1863 m	± 0.1701 m	± 0.1616 m

㉑ Static ㉒ Pseudo-static ㉓ Kinematic (Antenna Swap) ㉔ Kinematic (Known Baseline Method)

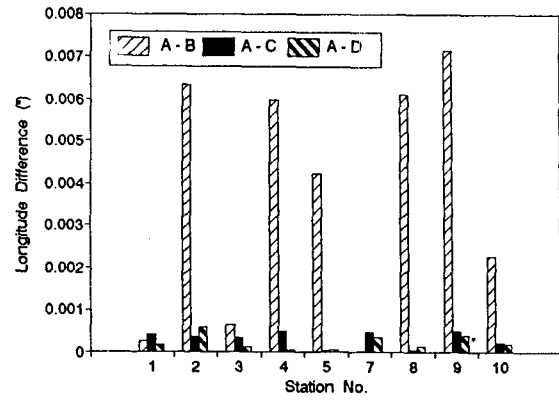
φ: 위도, λ: 경도, h: 고도

± 0.00118", ± 0.00366", ± 0.1863 m, 안테나 교환방법은 ± 0.00026", ± 0.000323", ± 0.1701 m, 기지 기선에 의한 방법은 ± 0.000438", ± 0.000219", ± 0.1616 m 정도의 차를 보이고 있다. 따라서 1.5 km 미만의

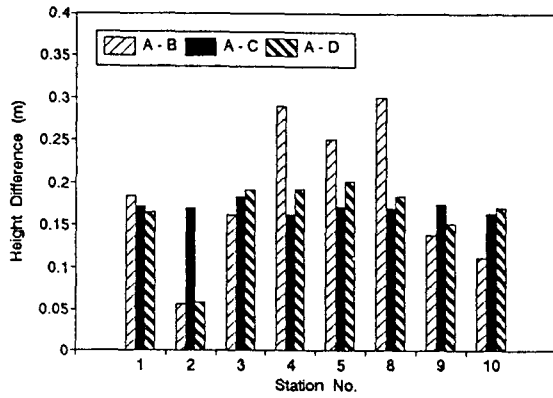
소규모 지역에서 kinematic GPS 측량은 static GPS에 비해 위도 및 경도에서 2/10,000~4/10,000초, 고도의 경우 20 cm 미만의 차로 좌표결정이 가능함을 알 수 있다.



(a) 위도



(b) 경도



(c) 고도

그림 5. Static, pseudo-static 및 kinematic 좌표값간의 차

3.3 종래의 측량방법과 GPS 측량방법들간의 수평 위치 결과비교

Static GPS에 의해 관측 처리된 10개 측점을 대전·충남 지역에 분포된 11개 삼각점과 23개의 수준점을 이용하여 도출된 표 6의 좌표변환 parameter를 적용, Bessel성으로 변환한 다음, TM 투영에 의해 X, Y 좌표를 산출하였다.

변환된 성과 C1, C10 측점을 고정점으로 EDM 및 Theodolite의 관측자료를 조합한 최소제곱조정을 수행하여 X, Y 좌표를 산출하고, 10개 측점의 static GPS 측량성결과를 TM 투영변환하여 얻어진 좌표를 비교한 것은 표 7과 같다. 여기서 C1, C10을 제외한 각 측점의 ΔX 및 ΔY 는 평균 ± 0.044 m, ± 0.084 m을 나타내고

표 6. 변환요소 방법에 의해 산출된 7개 좌표변환 요소(WGS 84→Bessel)

Global 7P	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\kappa(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	S
산출값	119.444	-472.500	-651.437	-2.537	-2.732	2.246	0.999997171

표 7. GPS 측량과 종래 측량방법의 T.M. 투영결과 비교

측 점	WGS 84→TM		GENER+LSAQ (C1, C10 고정)		Difference	
	X	Y	X	Y	δX	δY
C1	-181682.922	32971.149	-181682.922	32971.149	0.000	0.000
C2	-181427.335	33187.842	-181427.345	33187.790	0.010	0.052
C3	-181241.762	33412.345	-181241.874	33412.306	0.112	0.039
C4	-181104.343	33576.528	-181104.312	33576.411	0.031	0.117

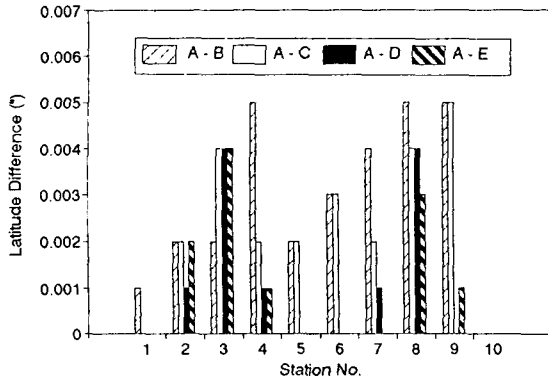
표 7. Continued

측 점	WGS 84→TM		GENER+LSAQ (C1, C10 고정)		Difference	
	X	Y	X	Y	δX	δY
C5	-181008.299	33791.941	-181008.297	33791.894	0.002	0.047
C6	-181115.772	33910.536	-181115.814	33910.455	0.042	0.081
C7	-181230.958	33750.833	-181230.947	33750.737	0.011	0.096
C8	-181450.125	33545.088	-181450.244	33544.973	0.119	0.115
C9	-181639.592	33350.810	-181639.567	33350.686	0.025	0.124
C10	-181880.281	32905.340	-181880.281	32905.340	0.000	0.000

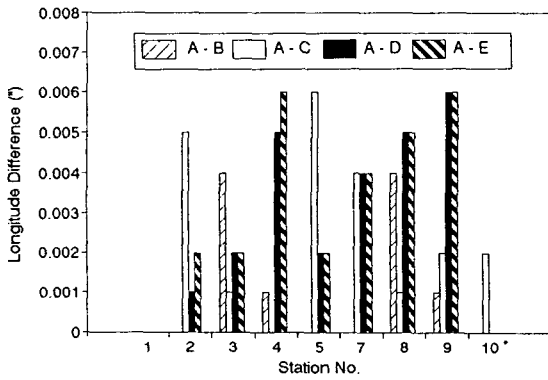
표 8. 종래의 측량방법에 대한 GPS 기법들의 위치측정결과 비교

측 점	성 분	㉑	㉑-㉒	㉑-㉓	㉑-㉔	㉑-㉕
C1	φ	36° 21' 54.495"	-0.001	0.000	0.000	0.000
	λ	127° 21' 55.034"	0.001	0.000	0.000	0.000
C2	φ	36° 22' 2.762"	-0.002	-0.002	0.001	-0.002
	λ	127° 22' 3.763"	0.001	0.005	-0.001	-0.002
C3	φ	36° 22' 8.750"	-0.002	-0.004	-0.004	-0.004
	λ	127° 22' 12.797"	-0.004	-0.001	-0.002	-0.002
C4	φ	36° 22' 13.193"	-0.005	0.002	0.001	0.001
	λ	127° 22' 19.401"	0.001	0.000	-0.005	0.006
C5	φ	36° 22' 16.280"	-0.002	0.002	0.000	0.000
	λ	127° 22' 28.061"	0.000	-0.006	-0.002	-0.002
C6	φ	36° 22' 12.778"	-0.003	0.003	0.000	0.000
	λ	127° 22' 32.800"	-0.001	0.014	-0.004	-0.004
C7	φ	36° 22' 9.062"	-0.004	0.002	-0.001	0.000
	λ	127° 22' 26.375"	0.000	-0.004	-0.004	-0.004
C8	φ	36° 22' 1.974"	-0.005	-0.004	-0.004	-0.003
	λ	127° 22' 18.087"	-0.004	0.001	-0.005	-0.005
C9	φ	36° 21' 55.856"	-0.005	-0.005	0.001	0.001
	λ	127° 22' 10.264"	0.001	0.002	-0.006	-0.006
C10	φ	36° 21' 48.102"	0.000	0.000	-0.000	0.000
	λ	127° 21' 52.364"	0.000	-0.000	-0.000	0.000
평 균	φ		± 0.003"	± 0.002"	± 0.001"	± 0.001"
	λ		± 0.001"	± 0.002"	± 0.003"	± 0.003"

㉑ Conventional Method ㉒ Static ㉓ Pseudo-static ㉔ Kinematic (Antenna Swap) ㉕ Kinematic (Known Baseline Method)



(a) 위도차



(b) 경도차

그림 6. WGS 84 좌표로 변환된 종래측량방법 좌표값과 static, pseudo-static, kinematic 좌표값간의 차

있으므로 소규모 지역에서의 수평위치결정에 두 측량기법을 조합적용할 수 있음을 시사한다.

종래의 측량방법으로 얻어진 성과의 T.M. 투영결과를 역변환하여 WGS 84 좌표값으로 변환하고 이를 GPS 측량기법들의 WGS 84 좌표성과 간의 차는 표 8과 같다. 과대오차로 간주되는 측정점 C6(경도)을 제외하고 위도 및 경도차를 도시하면 그림 6과 같이 나타난다.

종래 측량방법으로 산출된 위도, 경도를 기준으로 한 static 성과의 차는 평균 $\pm 0.003''$, $\pm 0.001''$, pseudo-static과는 $\pm 0.002''$, $\pm 0.004''$, kinematic과는 $\pm 0.001''$, $\pm 0.003''$ 정도로 접근되고 있어 대상지역의 양호한 좌표변환요소가 있다면, 소규모지역에서 kinematic 측량으로도 static에 근접하는 결과를 얻을 수 있다.

4. 결 론

Kinematic GPS의 효용성을 제시하고자 이상의 연구로부터 다음의 결론을 얻었다.

1) 소규모 지역의 기선 결정에서 kinematic 방법으로도 static 성과에 6 mm 이하의 정확도로 근접시킬 수 있었다.

2) Static GPS에 대해 kinematic GPS의 좌표성과의 경우 위도와 경도에서 2/10,000~4/10,000초, 고도에서 20 cm 미만의 편차를 나타내고 있다. 따라서 지형도 작성과 같은 높은 정확도를 요하지 않는 측량에 kinematic GPS 측량방법을 적용한다면 다량의 3차원 좌표를 효율적으로 획득할 수 있을 것이다.

3) 종래의 측량방법과 GPS기법들간의 수평위치 편차가 평균 0.001"~0.003" 정도로 접근되므로 대상 지역의 좌표변환 parameter를 도출할 수 있다면, kinematic GPS 측량방법을 일반측량에 효율적으로 적용할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 93년도 한국과학재단 연구비 지원(과제번호 93-08-00-05)에 의한 연구의 일부로서 과학재단에 감사드리며 본 연구를 위해 적극 협조해 주신 천문대와 SOKKIA KOREA에도 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목, "GPS 기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권 1호, 1991, pp. 37-44.
2. 박필호, 이용창, 한인우, 강준목, "GPS에 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(I)", 한국측지학회지, 제10권 1호, 1992, pp. 41-50.
3. 강준목, 이용창, 박필호, 전재홍, "GPS의 실용화를 위한 3차원 좌표 변환에 관한 연구(II)", 대한토목학회지 학술발표회 개요집(II), 1992, pp. 383-386.
4. 강준목, "GPS에 의한 Geoid Height 결정"에 관한 연구보고서, 한국학술진흥재단, 1991.
5. Logan, K.P, "A Comparison: Static and Future Kinematic GPS Surveys". J. Surveying Engrg., ASCE, Vol. 114, No. 4, 1988, pp. 195-201.
6. Thapa, Khagendra and Burtch, Robert C, "Issues fo Data Collection in GIS/LIS" Technical Papers

- of the 1990 ASPRS-ACSM Annual Convention, GIS/LIS, Vol. 3, 1990, pp. 271-283.
7. Goad, C.C, "On the Move With GPS." P.O.B., Vol. 14, No. 4, P.O.B. Publishing Company, Canton, Michigan, 1989, pp. 36-44.
 8. Mooyman, Ken and Quirion, C.A, "Kinematic GPS: A Guide to a Surveying Revolution", 1989, p4.
 9. Remondi, B.W, "Performing Centimeter-Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase: Initial Results." Proceedings of the Fourth International Geodetic symposium on Satellite Positioning, Austin TX USA, April 28-May 2, Volume 2. 1986, pp. 1229-1249.
 10. Remondi, B.W, "Kinematic and Pseudo-Kinematic GPS" ION GPS-88 in Colorado Springs, Colorado, 1988, pp. 115-121.
 11. "A Field Guidebook for Dynamic surveying" GPS Surveyor's Field guide, TRIMBLE NAVIGATION LIMITED, 1992, pp. 71.