

지적측량을 위한 GPS 측위정확도 분석

Accuracy Analysis of GPS Positioning for Cadastral Surveying

강 준 묵* · 김 홍 진**
Kang, Joon-Mook · Kim, Hong-Jin

요 지

본 연구에서는 지적측량에서 GPS를 도입하여 지적측량기준점의 복구와 신설 그리고 재조사를 위한 측량을 실시할 때 GPS를 효과적으로 정확히 사용할 수 있도록 하는데 목적을 두고 GPS측량 정확도와 좌표변환을 통한 기존성과와의 접근도 등을 분석 검토하였다.

그 결과, GPS측량성과의 고정밀성과 균일성을 입증할 수 있었으며, 기존 지적측량기준점망의 점검에 효과적임을 알 수 있었다.

또한, 지적도근점 위치결정과 같은 소규모 지역에서 행하는 측량에는 신속정지측량 또는 이동측량만으로도 높은 정확도의 경제적인 위치해석이 가능하였으며, 앞으로 WGS84좌표성과를 국내의 좌표체계에서 좀더 정확히 변환시킬 수 있는 심도있는 연구가 진행된다면, 지적분야에서 GPS의 활용을 크게 기대할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This study is aim to use GPS correctly and efficiently when we try to restore, establish and resurvey of cadastral control station applying the GPS. For this, the accuracy of GPS surveying results is examined and transformed and traditional coordinates are compared.

As a result of this study, it is verifiable that GPS surveying results are very precise and homogeneous, and GPS is efficient to check the existing cadastral control network.

Also, conducting the surveying in small area such as cadastral supplementary control positioning, only rapid-static and stop and go kinematic surveying is able to obtain high aueracry and efficiency. From now on, if we study techniques to transform WGS84 coordinates into Toko datum more accurately, it is expected to use GPS for cadastral field efficiently.

* 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 경일대학교 공과대학 측지공학과 강사

1. 서 론

우리나라는 1910년대 삼각측량에 의해 일본의 1 등 삼각점에 연결되는 대삼각망을 구성하고 점차 소규모 망을 구축하여 도근측량과 일필지측량의 기초점을 제공하였다.

그러나 해방과 더불어 6.25전쟁을 겪으면서 많은 삼각점들이 망실되거나 파괴되어 보강, 보수, 재설 및 신설작업으로 복구, 사용하고 있으나 계속되는 각종 국토개발사업에 의해 특히, 도심가까이에 설치되어 있는 지적삼각점과 도근점들은 대다수 망실되고 있는 실정이다.

망실된 지적측량기준점들은 설치 당시의 측량방법과 정확도로 복구 또는 신설하고 있어 건설교통부에서 삼변측량방식에 의해 실시한 정밀 1.2차 기준점측량의 정확도와 상이한 문제가 발생되고 있다. 또한, 기초점들이 지역별로 유지, 관리됨에 따라 지적불부합의 원인이 되고 있을뿐만 아니라 과거 도해지적의 한계성과 측량원점의 통일성 결여, 도면관리상의 신속과 훼손 등도 지적세부측량에서 불부합의 원인이 되고 있다.

따라서, 토지정보시스템(Land Information System: LIS) 구축을 위한 지적의 전자화와 수치지적측량에 의한 성과의 갱신과 재측비를 위해서는 지적측량기준점의 점검과 재측량이 선결되어야 할 것으로 본다. 그러나 기존의 표석점을 이용하여 재측량하는 과정에서 중간에 망실된 측점으로 인한 현존 측점간의 시통문제가 뒤따라 기존의 지상측량방식을 적용하는데 어려움이 있으며, 전국을 대상으로 사업을 실시할 경우 막대한 시간과 경비의 소요가 예상된다.

이에 본 연구에서는 높은 정확도와 편리한 측량 기법으로 많은 분야에서 관심을 갖고 있는 GPS를 적용하여 이러한 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 기틀 마련에 목적을 두고 연구를 수행하고자 한다.

우선, 지적측량기준점의 좌표를 WGS84 좌표계 상에서 획득할 경우의 위치해석정확도를 중북기선의 교차점점, 망폐합차 점점, 측량방법별 비교 검토, 그리고 기존의 Total Station(TS)측량결과와의

비교 분석을 통하여 검증한다. 그리고 좌표변환방법에 의해 GPS측량성과를 벵셀타원체상의 좌표로 변환하고 기준성과와의 접근도 및 과대오차 검출에 따른 기준망 점검의 가능성을 고찰하므로써 지적분야에서 GPS를 효과적으로 이용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 관측 및 기선해석

1. 관측망의 구성과 관측

GPS측량 대상점들에 대한 사전조사와 도상계획 및 현지답사를 통하여 접근방법과 위성신호 수신가능성을 검토하고 구체적인 계획을 수립하였다.

1.2등 삼각점에 대한 GPS측량은 1991년 8월 6일부터 충청도지역내 7개 삼각점에 대한 관측을 계획하고 위성수와 PDOP 상태에 대해 사전조사하였다.

당시의 위성상태가 일정시간대에 한하여 4대 이상의 관측조건에 적합하였다.

8월 6일에는 12:05 (KST)부터 16:00까지 약 6시간 가량 연속관측이 가능하였으며, 위성이 하루에 4분씩 앞당겨져서 8월 12일에는 11:40부터 4대 이상의 위성관측이 가능하였다. 이러한 정보를 근거로 1일에 4분씩 앞당겨서 관측계획을 수립하였다.

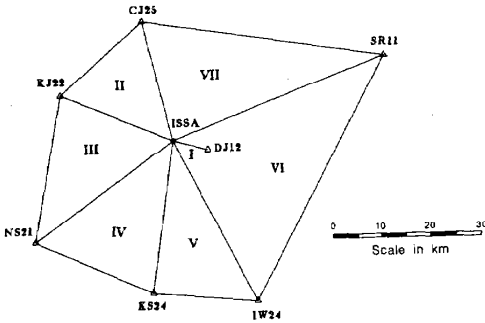
세션(session)당 관측시간은 위성수와 기선길이에 따른 관측시간 지침서¹⁾에 준해서 4시간으로 여유 있게 설정하였다.

관측은 Trimble의 SST 이주파 수신기 3대를 이용하여 1일 1세션으로 실시하였으며, 천문대 옥상의 측점(ISSA)에 1대의 수신기를 고정하고 2대의 수신기는 2점이 인접세션과 공유하여 독립기선에 의해 그림 1과 같은 측지망을 형성할 수 있도록 이동하였다.

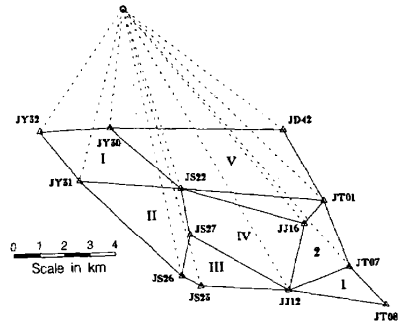
지적삼각점에 대한 GPS측량은 1996년 3월 10~11일 2일간, 그리고 도근점에 대한 GPS 정지측량(static surveying)은 1996년 4월 15일, 신속정지측량(rapid-static surveying)과 이동측량(kinematic surveying)은 1996년 4월 16일로 계획하고 위성수와 PDOP를 조사하였다.

24시간 PDOP 7이하의 양호한 조건으로 관측을

<그림 1> 1,2등 삼각점의 GPS관측망도



<그림 2> 지적삼각점의 GPS관측망도



수행할 수 있으므로 시간대는 임의로 선정하였다.

대전시지역의 지적삼각점 13점에 대해서는 Trimble의 SSE 이주파 수신기 5대를 이용하여 육군지도창의 GPS 기준점(KAMC)에 1대의 수신기를 고정하고 나머지 4대의 수신기로 인접세선과 2점이 공유되도록 관측망을 구성하였다. 그림 2와 같이 총 7세선으로 세선당 1시간씩 2일간 관측을 수행하였다.

도근점 19점에 대한 정지측량은 4대의 수신기로 2점이 인접세선과 공유하도록 관측망을 구성하여 10개 세선으로 1시간씩 관측하였다(그림 3). 신속정지측량은 1대의 수신기를 측점 1333에 고정하고 3대의 수신기를 각 측점별로 이동해 가며 위성수에

따라 8분에서 15분간 관측하였으며, 이동측량은 1대의 수신기는 측점 1333에 고정하고 다른 1대의 수신기를 측점당 2분씩 점유하여 관측을 수행하였다.

2. 기선해석 결과

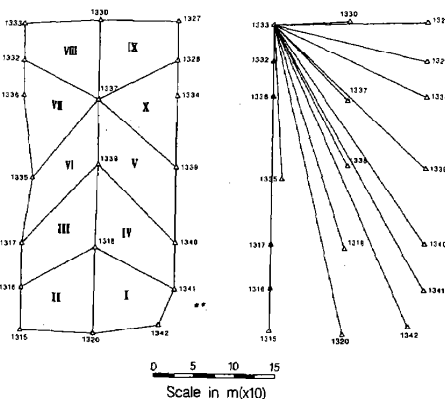
충남북의 정밀1차기준망에서 선정한 1,2등 삼각점 7점, 대전시 지역의 지적삼각점 13점, 도근점 19점에 대한 GPS관측데이터의 기선해석에는 제작사에서 제공한 후처리용 소프트웨어 GPSurvey를 사용하였다.

기선해석의 초기값은 상대위치측정방식에서 고정점으로 사용된 측점의 WGS84좌표를 사용하였다. 1,2등 삼각점의 기선해석에서 초기근사값으로는 표준연구원 국립천문대 옥상에 설치된 측점(ISSA)의 성과를 사용하고, 지적삼각점과 도근점에 대한 초기값으로는 육군지도창 GPS 기준점(KAMC)의 성과를 사용하였다.

GPSurvey에 의한 기선해석은 코드측정량과 위상측정량의 조합에 의해 이루어졌으며, 대류권보정에는 Hopfield 모델을 적용하고 케도좌표는 방송케도력이 사용되어졌다.

GPS관측이 수행된 1,2등 삼각점, 지적삼각점 및 도근점에 대한 기선해석결과와 이로부터 획득된 quality factor ratio와 RMS는 <표 1, 2, 3>과 같으며, 이 값들을 GPS측량 지침서²⁾의 사후처리기준값과

<그림 3> 지적도근점에 대한 GPS 관측망도



〈표 1〉 관측데이터와 처리결과에 대한 RMS와 quality factor ratio (1,2등 삼각점)

From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS	From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS
CJ25 - KJ22	22399.127	5.4	0.020	ISSA - KS24	30773.623	4.4	0.020
ISSA - CJ25	24665.499	8.1	0.014	ISSA - SR11	47231.629	16.3	0.018
ISSA - DJ12	7141.694	15.0	0.011	KJ22 - NS21	29858.034	6.2	0.015
ISSA - IW24	36696.482	7.4	0.012	KS24 - IW24	21715.442	13.9	0.021
ISSA - KJ22	7313.599	4.8	0.022	KS24 - NS21	26401.506	10.9	0.017

〈표 2〉 관측데이터와 처리결과에 대한 RMS와 quality factor ratio (지적삼각점)

From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS	From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS
JD42 - JT01	3164.893	18.0	0.033	JS26 - JS23	859.313	13.8	0.011
JJ12 - JJ16	2851.508	1.7	0.056	JS27 - JS26	1660.018	33.5	0.009
JJ12 - JT07	2560.096	31.3	0.006	JT01 - JJ16	1143.085	2.8	0.069
JJ16 - JS22	5053.778	1.5	0.056	JT07 - JJ12	2560.097	355.0	0.009
JJ16 - JT07	2446.787	2.1	0.052	JT07 - JT08	2111.884	26.2	0.005
JS22 - JD42	4664.589	79.4	0.012	JY30 - JS22	3659.308	65.4	0.025
JS22 - JS27	1770.378	34.0	0.010	JY30 - JY31	2433.109	27.1	0.023
JS22 - JY31	3998.680	273.1	0.009	JY31 - JY32	2473.935	16.3	0.007
JS23 - JJ12	3447.789	418.9	0.010				

〈표 3〉 관측데이터와 처리결과에 대한 RMS와 quality factor ratio(지적도근점)

From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS (cycles)	From station to station	Slope dist.(m)	Ratio	RMS (cycles)
1315 - 1316	51.556	12.1	0.008	1344 - 1337	96.964	375.3	0.008
1316 - 1317	53.329	123.9	0.011	1344 - 1339	87.508	21.0	0.019
1316 - 1318	103.687	236.6	0.010	1335 - 1338	82.588	11.4	0.015
1317 - 1318	91.243	144.2	0.011	1336 - 1332	41.990	83.5	0.017
1317 - 1335	80.157	10.4	0.013	1336 - 1335	102.074	245.1	0.008
1318 - 1338	100.445	16.7	0.013	1337 - 1336	92.666	375.3	0.007
1320 - 1315	90.380	11.8	0.010	1338 - 1337	79.579	274.3	0.012
1320 - 1318	105.006	10.4	0.006	1339 - 1338	96.190	54.1	0.020
1326 - 1344	42.660	11.9	0.007	1340 - 1318	98.484	58.3	0.014
1327 - 1326	47.447	243.1	0.010	1340 - 1339	91.259	62.5	0.020
1330 - 1327	95.878	171.6	0.010	1341 - 1340	56.416	88.7	0.011
1330 - 1337	95.436	18.5	0.010	1342 - 1320	81.113	43.0	0.008
1332 - 1333	43.939	95.4	0.020	1342 - 1341	47.435	230.7	0.011
1333 - 1330	93.666	14.2	0.011				

〈표 4〉 관측데이터 및 후처리결과에의 RMS와 ratio 일반기준

Distance (km)	RMS criteria formulation (d=dist. betwn receivers)	RMS range (cycles)	Quality factor ratio
0-10	$\leq (0.02 + (0.004 \text{ d}))$	0.02 - 0.06	≥ 3
10-20	$\leq (0.03 + (0.003 \text{ d}))$	0.06 - 0.09	≥ 2.8
20-30	$\leq (0.04 + (0.0025 \text{ d}))$	0.09 - 0.115	≥ 2.6
30-40	$\leq (0.04 + (0.0025 \text{ d}))$	0.115 - 0.14	≥ 2.4
40-60	$\leq (0.08 + (0.0015 \text{ d}))$	0.14 - 0.17	≥ 2.2
60-100	≤ 0.17	0.17	≥ 2.2
>100	≤ 0.20	0.20	≥ 2.2

Note: These may be superseded by GPS receiver/software manufacturer guidelines

비교하므로써 기선해석에 사용된 관측데이터의 양 호도를 점검하였다.

충남북지역의 12등 삼각점의 GPS관측데이터의 기선해석결과는 quality factor ratio와 RMS가 모두 일반적으로 권장되고 있는 표 4의 기준값내에 포함된다. 지적삼각점에서는 JJ12-JJ16, JJ16-JS22, JJ16-JT07, JT01-JJ16의 4개 기선이 표 4에서 제시하고 있는 ratio 기준치에는 약간 못미치고 있으나 본 연구의 시험관측에 사용된 장비의 제작사에서 제시하고 있는 최소기준치 1.5 이상이므로 관측데이터의 사용은 가능하다. 도근점의 경우는 ratio 11이상, RMS 0.02이하로 표 4의 기준에 만족되어 양호한 관측이 수행되었음을 알 수 있다.

3. GPS측량의 상대위차정확도 분석

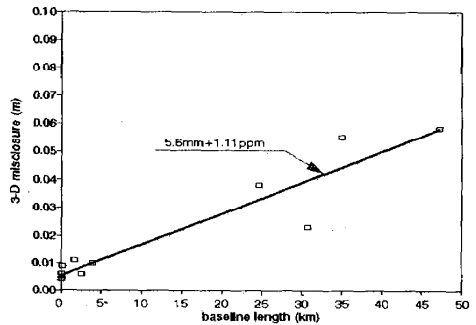
1. 중복기선의 교차분석

중복기선은 동일기선에 대하여 각기 다른 세션에서 측정된 값으로 상대정확도는 두 기선의 벡터요소 편차로부터 3차원 위치오차를 계산하고 평균기선길이를 나누어 산정한다.

연구대상지역내 정밀 1,2차 기준망에 대한 중복기선의 교차는 기선길이에 따라 0.7cm에서 13cm까지 발생하였다. 지적삼각망에 대해서는 3σ이상의 오차를 포함하는 JJ16-JJ12 기선을제외한 나머지 기선에서 0.6cm~4.0cm의 위치오차가 발생하였고,

도선망에서는 12개의 중복기선 중 차이가 3σ이상으로 크게 나타난 1318-1341기선을 제외한 나머지 11개 기선에 대한 교차는 0.3cm에서 2.0cm까지 발생하였다. 이들 교차를 기선길이 0.1~50km범위에 대해서 표시하고 선형화했을 때, 그림 4와 같이 5.6mm 1.11ppm의 상대위차 정확도를 산정해 볼 수 있었다.

〈그림 4〉 중복기선의 교차점점에 의한 상대위차정확도



2. GPS 망폐합차 분석

GPS 상대위차결정방식에 의해 측정된 측정망에 대해서 3차원 상대위차벡터를 결정할 수 있다. 상대위차정확도는 각 측정간 기선벡터(dx, dy, dz)의 총합에 의해 망폐합오차를 계산하고 폐합망의 총거리로 나누어 산출한 값으로 1점을 기준으로 한 기선벡터의 상대정확도와 같다.

〈표 5〉

망폐합차에 의한 상대위치정확도 (1,2차 기준망)

Loop (session)	ΣS(m)	3D closure (m)				ppm
		Δx	Δy	Δz	ΣΔ	
ISSA - CJ25 - KJ22 (Ⅱ - Ⅱ - Ⅲ))	72072.683	-0.010	-0.007	-0.012	0.017	0.2315
SSA - KJ22 - NS21 -KS24(Ⅲ - Ⅲ - Ⅳ - Ⅳ)	112041.244	-0.018	0.027	0.013	0.035	0.3126
ISSA - KS24 - IW24 (Ⅳ - V - Ⅵ)	89185.547	0.027	-0.025	-0.006	0.038	0.4222
ISSA - IW24 - SR11 (Ⅵ - Ⅵ - Ⅶ)	140168.090	0.021	-0.001	-0.038	0.043	0.3098
ISSA - CJ25 - SR11 (Ⅱ - Ⅶ - Ⅵ)	122662.221	-0.008	0.034	0.016	0.038	0.3132
Mean value						0.3178

〈표 6〉

망폐합차에 의한 상대위치정확도 (지적삼각망)

Loop (session)	ΣS(m)	3D closure (m)				ppm
		Δx	Δy	Δz	ΣΔ	
KAMC - JY31 - JY30 (Ⅱ - Ⅱ - Ⅰ)	13982.682	-0.004	-0.002	0.009	0.010	0.7095
IY31 - IY30 - JS22 (Ⅰ - Ⅰ - Ⅱ)	10091.084	0.001	0.010	-0.001	0.010	1.0276
KAMC - IY30 - JS22 (Ⅰ - Ⅰ - Ⅳ)	15633.811	0.005	-0.012	0.007	0.014	0.9208
KAMC - JT01 - JJ16 - JS22 (㉔ - ㉔ - Ⅳ - Ⅳ)	24345.384	0.008	0.063	0.107	0.124	5.1005
JS22 - JD42 - JT01 - JJ16 (Ⅴ - Ⅴ - ㉔ - Ⅳ)	14026.345	0.021	0.053	-0.109	0.122	8.7384
JS22 - JJ16 - JJ12 - JS23 - JS26 - JS27 (Ⅳ - Ⅳ - Ⅲ - Ⅲ - Ⅱ - Ⅱ)	15442.788	-0.005	0.001	0.014	0.014	0.9416
Mean value						2.9064

기선벡터 요소 dx, dy, dz에 대한 구면표준오차 (spherical standard error)는 선형표준오차(linear standard error)와 같다는 가정하에 정확도를 산출하였다.

〈표 5〉는 국가 정밀1차 기준망에서 충청도 지역의 7개 측정점으로 구성된 GPS 망에 대한 폐합오차와 상대정확도를 산정한 것이다. 측정간 기선벡터는 독립기선처리방식으로 해석된 결과이며, 사용된 세션은 표의 왼쪽함에 표시되어 있다. 개개 망에서 산출된 상대위치정확도는 0.2~0.4ppm 정도이었으며, 〈표 8〉의 FGCC(Federal Geodetic Control Committee[연방측지기준국]) 정확도 기준과 비교

할 때 A~B 등급사이의 정확도를 가졌다.

지적삼각점으로 구성된 GPS 망에서 폐합오차와 상대위치정확도를 산정한 결과는 〈표 6〉과 같다. 독립기선처리에 의해 구성된 모든 망에서 10ppm미만의 상대정확도가 산출되어 FGCC의 기준과 비교할 때, 1등급 이상의 GPS측량이 가능하였다.

도근점의 GPS 관측에서는 9개의 독립기선으로 구성된 망이 형성되었으며, 3σ이상의 큰 오차를 포함하고 있는 1개의 측정망을 제외한 나머지 망에서 〈표 7〉과 같이 평균 1cm의 3차원 위치오차가 산출되었고, 상대정확도는 평균 30ppm으로 FGCC의 기준과 비교하면 2등급 수준에 해당된다.

〈표 7〉

망폐합차에 의한 상대위치정확도 (지적도선망)

Loop (session)	ΣS(m)	3D closure (m)				relative accuracy
		Δx	Δy	Δz	ΣΔ	
1320 - 1342 - 1341 - 1340 - 1318 (I - I - IV - IV - I)	388,455	0,0494	-0,0737	-0,0567	0,1053	271,059* ppm
1320 - 1318 - 1316 - 1315 (I - II - II - II)	350,629	-0,0009	-0,0035	-0,0089	0,0096	27,3957
1316 - 1318 - 1317 (II - III - III)	248,259	-0,0000	-0,0051	-0,0018	0,0054	21,7850
1318 - 1340 - 1339 - 1338 (IV - V - V - III)	386,381	-0,0106	0,0268	-0,0037	0,0291	75,2021
1338 - 1318 - 1317 - 1335 (III - III - VI - VI)	354,436	-0,0017	0,0005	-0,0091	0,0093	26,1568
1338 - 1339 - 1344 - 1337 (V - X - X - VI)	360,237	0,0078	-0,0144	-0,0070	0,0178	49,4400
1337 - 1338 - 1335 - 1336 (VI - VI - VII - VII)	356,904	0,0015	-0,0018	0,0049	0,0054	15,2181
1337 - 1344 - 1326 - 1327 - 1330 (X - X - IX - IX - VIII)	378,385	0,0028	-0,0004	-0,0028	0,0039	10,5183
1337 - 1330 - 1333 - 1332 - 1336 (VIII - VIII - VII - VII)	367,697	0,0056	-0,0032	0,0064	0,0091	24,7113
Mean value					0,0112	31,3034

〈표 8〉

GPS 상대측위에 의한 망폐합비 기준(1984 FGCC)³⁾

General survey categories	Order	Class	ppm
Global dynamics, vertical and horizontal motion	AA	-	0.01
National Geodetic Reference System(primary)	A	-	0.1
Network connections, densification	B	-	1
National Geodetic Reference System(secondary)	1	I	3.33
Cadastral, engineering, urban, surveys	1	II	10
Cadastral surveys, mapping	2	I	20
Cadastral surveys, mapping	2	II	50
Geophysical exploration and land surveys	3	I	100
Geophysical exploration and land surveys	3	II	200

4. GPS측량방법에 따른 정확도 분석

GPS 측량방법에 따른 기선길이, 구면좌표 및 지도투영좌표를 각각 비교한 것은 〈표 9, 10, 11〉과 같다. 이들 결과는 도근점을 대상으로 측량된 성과를 WGS84 기준계상에서 비교한 것이다.

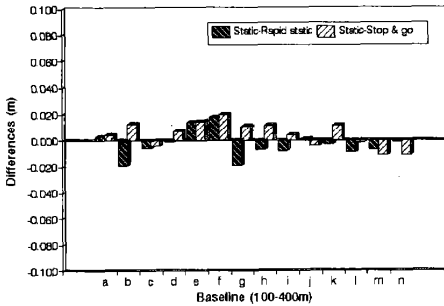
신속정지측량과 이동측량의 결과를 정지측량을

기준으로 비교 분석하여 정확도를 검토하였다. 기선길이는 신속정지측량의 경우 8mm, 이동측량의 경우 9mm의 평균 차이를 보이며, 약 100~400m 길이의 14개 기선에서 그림 5의 같이 최대 2cm이 내에서 일치하고 있다.

좌표성차를 비교해 보면, 구면좌표의 형태로 수평위치는 위도와 경도에서 신속정지측량은 2.45×10⁻⁴초(7.4mm), 2.33×10⁻⁴초(7.0mm)의 차이를 보이

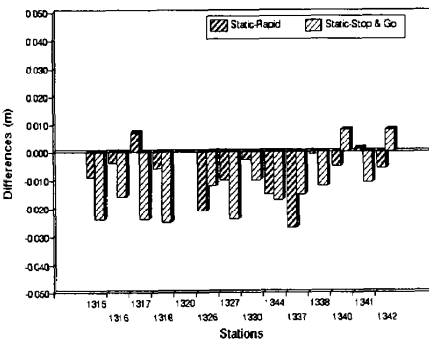
	Line	Static GPS	Rapid Static	Stop & Go	Static - Rapid Static	Static - Stop & Go
a	1333 - 1330	93,666	93,663	93,662	0.003	0.004
b	1333 - 1327	189,472	189,478	189,476	-0.006	-0.004
c	1333 - 1326	194,047	194,033	194,032	0.014	0.015
d	1333 - 1334	207,555	207,537	207,535	0.018	0.020
e	1333 - 1337	129,276	129,257	129,263	-0.019	0.013
f	1333 - 1338	193,709	193,710	193,702	-0.001	0.007
g	1333 - 1340	324,647	324,646	324,651	0.001	-0.004
h	1333 - 1318	285,170	285,177	285,158	-0.007	0.012
i	1333 - 1317	266,400	266,419	266,389	-0.019	0.011
j	1333 - 1316	319,730	319,738	319,726	-0.008	0.004
k	1333 - 1315	371,285	371,288	371,273	-0.003	0.012
l	1333 - 1320	385,935	385,942	385,946	-0.007	-0.011
m	1333 - 1341	371,906	371,915	371,908	-0.009	-0.002
n	1333 - 1342	401,660	401,661	401,671	-0.001	-0.011
	Mean				0.008	0.009

〈그림 5〉 GPS측량방법에 따른 기선 비교

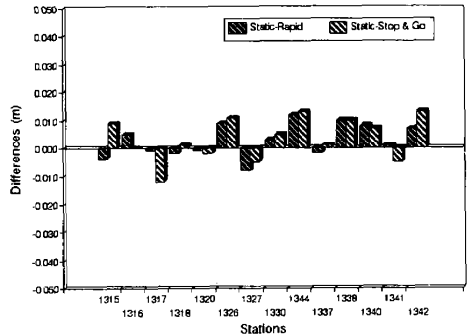


고, 이동측량은 4.66×10^{-3} 초(14.0mm), 2.62×10^{-3} 초(7.9mm)의 차이를 보였으며 높이성과의 차는 두 방법에서 각각 5.2cm, 6.4cm의 차이를 보여 수평위치에 비해 수직위치의 편차가 크게 나타나고 있다. 지도투영좌표의 중,횡선좌표차는 두 방법에서 각각 평균 8mm, 5mm로 나타나며, 〈그림 6〉과 같이 최대 3cm이내에서 일치하고 있다.

〈그림 6〉 GPS측량방법에 따른 측정별 지도투영좌표 비교



(a) X- 좌표



(b) Y- 좌표

〈표 10〉 GPS측량기법별 경 위도좌표 비교

Station	Static-Rapid static			Static-Stop & go		
	$\Delta\phi$ (10-4sec)	$\Delta\lambda$ (10-4sec)	Δh (m)	$\Delta\phi$ (10-4sec)	$\Delta\lambda$ (10-4sec)	Δh (m)
1315	-1.97	-2.25	0.010	-6.94	-3.11	-0.079
1316	-0.50	1.90	0.014	-4.45	-0.23	-0.071
1317	2.92	-3.50	-0.011	-6.82	-4.76	-0.070
1318	-1.30	-0.92	0.047	-7.50	-0.25	-0.027
1320	1.21	-1.20	0.064	-1.04	-1.63	-0.103
1326	-6.55	3.00	-0.113	-3.72	-4.04	-0.053
1327	-3.20	-3.37	-0.080	-7.87	-2.20	-0.028
1330	-0.80	1.10	0.040	-3.37	-1.73	-0.054
1344	-4.62	4.07	-0.063	-5.28	-4.60	-0.063
1337	-8.41	-1.39	0.022	-4.62	0.00	-0.020
1338	0.10	4.03	0.053	-3.26	-3.99	-0.104
1340	-0.37	3.51	-0.073	-4.07	-3.07	-0.045
1341	1.19	-1.18	-0.090	-2.72	-3.37	-0.090
1342	-1.15	1.26	-0.049	-3.55	-3.73	-0.082
Mean.	2.45	2.33	0.052	4.66	2.62	0.064

〈표 11〉 GPS측량기법별 지도투영좌표 비교

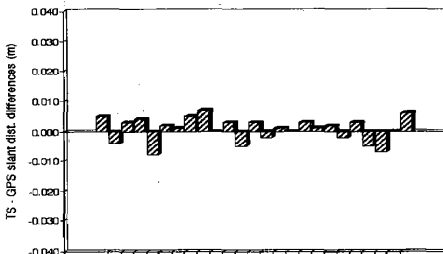
Station	Static-Rapid static		Static-Stop & go	
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
1315	-0.009	-0.004	-0.024	0.009
1316	-0.004	0.005	-0.016	0.000
1317	0.007	-0.001	-0.024	-0.012
1318	-0.006	-0.002	-0.025	0.001
1320	0.000	-0.001	0.000	-0.002
1326	-0.021	0.009	-0.012	0.011
1327	-0.010	-0.008	-0.024	-0.005
1330	-0.003	0.003	-0.010	0.005
1344	-0.015	0.012	-0.017	0.013
1337	-0.027	-0.002	-0.015	0.001
1338	-0.001	0.010	-0.012	0.010
1340	-0.005	0.008	0.008	0.007
1341	0.001	0.001	-0.011	-0.005
1342	-0.006	0.007	0.008	0.013
	0.008	0.005	0.015	0.007
	0.009		0.016	

5. 지상측량에 대한 GPS측량 결과의 비교 분석

1. T.S와의 표석간 경사거리 및 수평각 비교

도근점 19점을 대상으로 구성된 GPS 관측망에서 정지측량과 토달스테이션에 의한 기선거리를 비교한 결과는 〈표 12〉와 같으며 이들 편차를 전반적

〈그림 7〉 T.S와 정지측량에 의해 측정된 표석간거리 비교



으로 도시하면 〈그림 7〉과 같다. 측선길이 100m 미만의 폐합망으로 구성된 도근점 망에서 GPS와 TS에 의한 기선거리를 표석간 거리의 형태로 동일조건에서 분석한 결과, 평균 3.3mm에서 접근되고 있다. 또한, 교각에 있어서 GPS와 TS의 평균 차는 11.7초로 평균변장에 대해 거리오차로 보면, 4.5mm 정도에 해당되는 결과가 얻어졌다.

신속정지측량과 이동측량은 방사형 관측으로 데이터를 획득하는 방식이므로 방사형 형태로 얻어진 GPS측량방법별 표석간 거리와 TS에 의한 표석간 거리를 비교한 결과는 기선길이 약 40~400m에 대해서 1mm에서 20mm까지의 분포로 두 기법에 따라 각각 평균 7.9mm와 8.3mm의 차이를 보였다(표 9). 이를 도시하면, 그림 8과 같다.

TS에 대하여 GPS의 장지측량, 신속장지측량 그리고 이동측량의 표석간거리차는 모두 평균 1cm이 내로 접근하였다.

따라서 도근점의 위치결정에서 기존 지상측량방식의 거리와 각측정 정확도에 접근하면서 시통과 기상 영향을 거의 받지 않고 신속정지측량과 이동측량을 이용하여 측량의 효율성을 높일 수 있을

〈표 7〉

T.S와 GPS 정지측량에 의해 측정된 표석간 거리 비교

Line	TS	Staitic GPS	TS - GPS	ppm	Line	TS	Staitic GPS	TS - GPS	ppm
1342 - 1341	47,438	47,435	0.003	63,2404	1317 - 1335	80,164	80,157	0.007	87,3210
1342 - 1320	81,113	81,113	0.000	-	1335 - 1338	82,591	82,588	0.003	36,3236
1320 - 1318	105,012	105,006	0.006	57,1363	1337 - 1336	92,667	92,666	0.001	10,7913
1320 - 1315	90,383	90,380	0.003	33,1921	1336 - 1335	102,067	102,074	-0.007	68,5824
1315 - 1316	51,548	51,556	-0.008	155,1952	1332 - 1333	43,935	43,939	-0.004	91,0436
1316 - 1318	103,687	103,687	0.000	-	1333 - 1330	93,666	93,666	0.000	-
1316 - 1317	53,331	53,329	0.002	37,5016	1330 - 1337	95,439	95,436	0.003	31,4347
1317 - 1318	91,241	91,243	-0.002	21,9200	1330 - 1327	95,879	95,878	0.001	10,4298
1318 - 1338	100,440	100,445	-0.005	49,7785	1327 - 1326	47,451	47,447	0.004	84,2975
1341 - 1340	56,417	56,416	0.001	17,7252	1326 - 1344	42,665	42,660	0.005	117,1921
1340 1318	98,487	98,484	0.003	30,4609	1344 - 1339	87,503	87,508	-0.005	57,1409
1339 - 1338	96,192	96,190	0.002	20,7917	1344 - 1337	96,962	96,964	-0.002	20,6266
1338 - 1337	79,581	79,579	0.005	25,1316					
					Mean			0,003	45,09

〈표 8〉

T.S와 GPS에 의해 측정된 교각 비교

Angle (from-st.-to)	T.S (° ' ")	GPS (° ' ")	TS - GPS (sec)	Angle (from-st.-to)	T.S (° ' ")	GPS (° ' ")	TS - GPS (sec)
1332-1333-1330	93 12 42.0	93 12 32.7	10.7	1335-1338-1318	76 37 30.0	76 37 15.2	14.8
1333-1330-1337	86 14 56.0	86 14 59.0	-03.0	1338-1318-1317	88 47 58.0	88 47 52.8	05.2
1330-1337-1336	87 54 35.0	87 54 42.0	-07.0	1318-1317-1335	83 24 24.0	83 24 01.0	23.0
1337-1336-1332	92 41 47.0	92 41 42.1	04.9	1318-1338-1339	89 39 02.0	89 38 37.8	24.2
1336-1332-1333	179 55 57.0	179 56 04.6	-07.6	1338-1339-1340	91 33 42.0	91 33 46.0	-04.0
1337-1330-1327	90 34 25.0	90 34 17.0	08.0	1339-1340-1318	93 47 58.0	93 47 52.4	05.6
1330-1327-1326	89 58 58.0	89 59 13.8	-05.8	1340-1318-1338	84 59 44.0	84 59 43.8	00.2
1327-1326-1334	180 00 49.0	180 00 42.5	06.5	1316-1317-1318	87 32 22.0	87 31 56.2	25.8
1326-1344-1337	93 09 04.0	93 08 51.7	12.3	1317-1318-1316	30 55 17.0	30 55 18.0	-01.0
1344-1337-1330	86 17 06.0	86 16 55.0	11.0	1318-1316-1317	61 32 26.0	61 32 45.8	-19.8
1335-1336-1337	80 19 00.0	80 18 40.7	19.3	1315-1316-1318	118 33 43.0	118 33 35.3	07.7
1336-1337-1338	93 07 38.0	93 07 39.6	-01.6	1316-1318-1320	61 01 02.0	61 00 58.0	04.0
1337-1338-1335	101 42 37.0	101 42 50.7	-13.7	1318-1320-1315	87 57 34.0	87 57 41.0	-07.0
1338-1335-1336	84 51 03.0	84 50 49.0	14.0	1320-1315-1316	92 27 51.0	92 27 45.7	05.3
1338-1337-1344	92 40 57.0	92 40 43.7	13.3	1320-1318-1340	94 15 57.0	94 16 07.4	-10.4
1337-1344-1339	86 50 56.0	86 50 40.0	16.0	1318-1340-1341	86 08 55.0	86 08 51.7	03.3
1344-1339-1338	88 27 34.0	88 27 20.0	14.0	1340-1341-1342	156 42 24.0	156 42 24.3	-00.3
1339-1338-1337	92 00 44.0	92 01 16.3	32.3	1341-1342-1320	121 32 12.0	121 32 44.1	-32.1
1317-1335-1338	111 10 29.0	111 10 51.0	-22.0	1342-1320-1318	81 20 21.0	81 19 52.5	28.5
				Mean			11.7

〈표 9〉 TS와 rapid static, stop & go GPS측량에 의해 측정된 표석간 거리 비교 (units: m)

Line	TS	Rapid Static	Stop & Go	TS - Rapid Static	TS - Stop & Go
1333-1317	266.411	266.419	266.389	-0.008	-0.008
1333-1318	285.178	285.177	285.158	0.001	0.020
1333-1326	194.044	194.033	194.032	0.011	0.012
1333-1327	189.471	189.478	189.476	-0.007	-0.005
1333-1330	93.666	93.663	93.662	0.003	0.004
1333-1332	43.935	43.928	43.920	0.007	0.015
1333-1336	85.938	85.926	85.934	0.012	0.004
1333-1337	129.274	129.257	129.263	0.017	0.011
1333-1338	193.718	193.710	193.702	0.008	0.016
1333-1339	256.102	256.112	×	0.010	×
1333-1340	324.652	324.646	324.651	0.006	0.001
1333-1341	371.912	371.915	371.908	-0.003	0.004
1333-1342	401.671	401.661	401.671	0.010	0.000
Mean.				0.0079 (43.2ppm)	0.0083 (66.7ppm)

〈표 10〉은 직접수준측량으로 구한 표고치와 GPS 정지측량으로 산출한 높이차를 비교한 것이며 이를 도시하면 〈그림 9〉와 같다.

각 측선별로 leveling과 GPS 정지측량 결과는 평균 2cm 정도로 차이가 발생하였으며, 전노선에 대해 5cm이내로 접근하는 양상을 보인다.

여기서 GPS에 의한 높이는 타원체면을 기준으로 산정된 값을 직접 사용하였다.

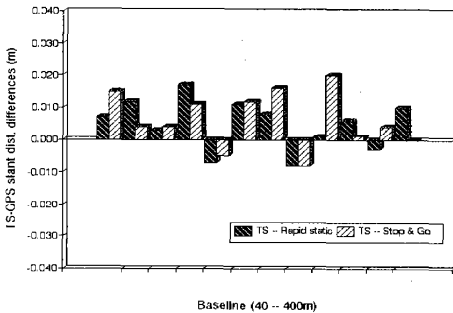
Leveling 표고차에 대하여 GPS의 신속정지측량과 이동측량에 의한 타원체고차를 측선별로 비교한 결과는 〈표 11〉과 같으며, 〈그림 10〉에 도시된 바와 같이 신속정지측량 결과와는 평균 5.4cm, 이동측량 결과와는 평균 8.7cm의 차이를 보이고 있으며, 최대 약 15cm까지의 차이를 보인다.

〈표 10〉 Leveling과 GPS 정지측량에 의한 측선별 높이차 비교

(units: m)

Station	Height: diff.		Leveling - Static GPS
	Leveling (ΔH)	GPS (Δh)	
1330-1333	0.155	0.125	0.030
1333-1332	-0.094	-0.047	-0.047
1332-1336	0.035	-0.007	0.042
1336-1337	-0.088	-0.061	-0.027
1337-1338	-0.019	-0.013	-0.006
1338-1335	0.073	0.067	0.006
1335-1317	0.114	0.099	0.015
1317-1318	-0.070	-0.055	-0.015
1318-1316	0.138	0.104	0.034
1316-1315	-0.015	0.018	0.003
1315-1320	-0.059	-0.061	0.002
1320-1342	-0.112	-0.124	0.012
1341-1340	-0.073	-0.033	-0.040
1340-1339	-0.068	-0.057	-0.011
1339-1344	-0.012	-0.036	0.024
1344-1326	0.043	0.010	0.033
1326-1327	-0.094	-0.056	-0.038
3127-1330	0.172	0.149	0.023
Mean.			0.021

〈그림 8〉 total station과 rapid static, stop & go GPS 측량에 의한 표석간 경사거리 비교



것으로 판단된다.

2. Leveling과의 고저차 비교

도선망에서 직접수준측량에 의한 표고차의 폐합 오차는 4.5mm, 전노선길이 1.4km에 대하여 3.2ppm의 정확도로 측량되었으며, GPS 정지측량방식에 의해서는 10.5cm의 폐합오차 즉, 75ppm의 정확도로 타원체고차가 결정되었다.

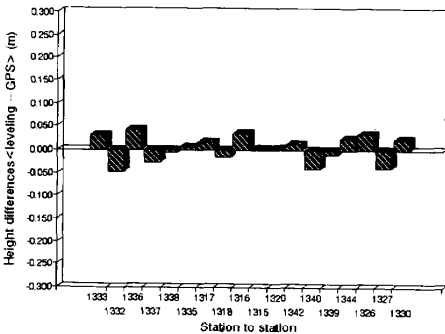
<표 11>

Leveling과 rapid static 및 stop & go GPS 측량 의한 측선별 높이차 비교

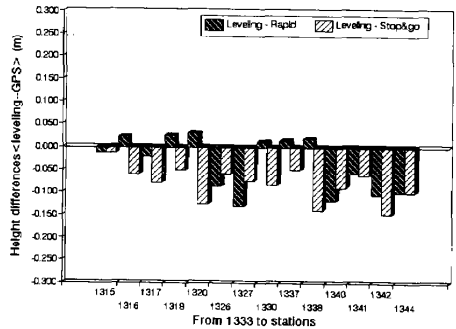
(units: m)

Line	Distance	Leveling (ΔH)	GPS (Δh)		Level - Rapid	Level - Stop&Go
			Rapid static	Stop&Go		
1333-1315	371.273	0.077	0.090	0.180	-0.013	-0.103
1333-1316	319.726	0.092	0.071	0.152	0.021	-0.060
1333-1317	266.389	0.024	0.045	0.104	-0.021	-0.080
1333-1318	285.158	-0.047	-0.071	0.003	0.024	-0.050
1333-1320	385.946	0.017	-0.013	0.144	0.030	-0.127
1333-1326	194.032	-0.229	-0.141	-0.170	-0.088	-0.059
1333-1327	189.476	-0.323	-0.191	-0.248	-0.132	-0.075
1333-1330	93.662	-0.155	-0.166	-0.071	0.011	-0.084
1333-1337	129.263	-0.146	-0.160	-0.096	0.014	-0.050
1333 1338	193.702	-0.165	-0.183	-0.026	0.018	-0.139
1333-1340	324.651	-0.193	-0.075	-0.103	-0.118	-0.090
1333-1341	371.908	-0.118	-0.059	-0.055	-0.059	-0.063
1333-1342	401.671	-0.096	0.010	0.052	-0.106	-0.148
1333-1344	207.535	-0.272	-0.172	-0.172	-0.100	-0.100
Mean					0.054	0.087

<그림 9> Leveling과 GPS 정지측량에 의한 높이차 비교



<그림 10> Leveling과 rapid static 및 stop & go GPS 측량에 의한 높이차 비교



6. 좌표변환방법에 의한 위치 해석과 변환정확도 분석

7-요소변환기법을 이용한 3차원 좌표변환으로 현행 측지좌표체계에서 지적측량기준점성과를 점검하고 지적삼각점과 도구점에 대한 변환정확도를 분

석하였다.

동경원점계의 지심좌표는 선형연구⁽⁴⁾에서 이루어졌던 연직선편차에 대한 곡면다항식의 최소제곱해법과 GPS/leveling 기법의 조합으로 결정된 벡셀타원체고를 이용하여 구하였다.

충남북지역에서 측량된 7개의 1,2등 삼각점 중 원거리에 위치한 속리산 삼각점을 제외한 6개 삼각

<표 12>

7-변환계수 (From WGS84 to Tokyo Datum)

$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\alpha 1(^{\circ})$	$\alpha 2(^{\circ})$	$\alpha 3(^{\circ})$	s
130.6432	-496.3372	-674.0535	-3.3467	-3.9185	3.0211	0.99999717

점의 기존성과와 WGS84성과를 이용하여 <표 12>와 같이 7개의 변환요소를 산정하였다. 이들 계수를 적용하여 변환한 성과와 기존 지적삼각점의 경위도 및 지도투영좌표성과를 비교한 결과는 표 13, 14와 같다. 경 위도 좌표에서 JT08, JD42, JJ12 측정점과 지도투영좌표에서 JT08, JJ12측점에 과대오차가 포함되어 있음을 알 수 있었으며, 이들을 제외한 나머지 성과를 기준으로 7-요소변환방법에 의한 변

환정확도를 분석한 결과, 경 위도에서는 평균 0.006초 그리고 X,Y 좌표에서는 각각 평균 10cm, 15cm까지 접근되었다. <그림 11>과 12는 경 위도 및 평면직교좌표의 변환결과와 기존성과의 차를 측정별로 도시한 것이다.

연구대상지역내에서 선정된 19개 도근점 중 기준점으로 사용된 2개 측정점을 제외한 17개 측정점에 대한 변환결과와 기존성과의 평면직교좌표를 비교한

<표 13> 지적삼각점에 대한 좌표변환결과와 기존성과의 경 위도 좌표차 비교

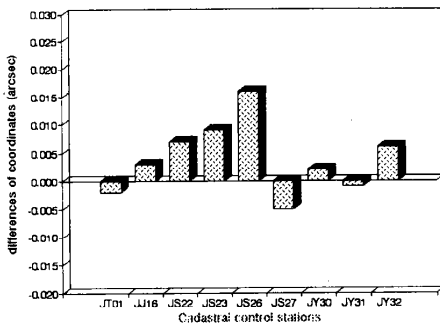
Station	Conventional ($^{\circ}$ ' ")		Transformed ($^{\circ}$ ' ")		Diff. (sec)
JT01 φ λ	36 20 01.528	127 25 57.609	36 20 01.530	127 25 57.616	-0.002 -0.007
	36 17 47.078	127 27 34.434	36 17 47.091	127 27 34.473	-0.013* -0.039*
JD42	36 21 57.371	127 25 38.378	36 21 31.912	127 24 57.366	25.459* 41.012*
	36 18 01.075	127 25 13.355	36 18 10.573	127 24 59.901	-9.498* 13.454*
JJ16	36 19 33.505	127 25 27.590	36 19 33.502	127 25 27.608	0.003 -0.018
	36 20 19.507	127 22 13.087	36 20 19.500	127 22 13.083	0.007 0.004
JS23	36 18 18.730	127 22 42.142	36 18 18.721	127 22 42.149	0.009 -0.007
	36 18 30.789	127 22 11.083	36 18 30.773	127 22 11.088	0.016 -0.005
JS27	36 19 23.123	127 22 26.715	36 19 23.128	127 22 26.712	-0.005 0.003
	36 21 39.424	127 20 24.583	36 21 39.422	127 20 24.578	0.002 0.005
JY31	36 20 32.206	127 19 33.492	36 20 32.207	127 19 33.489	-0.001 0.003
	36 21 35.711	127 18 32.865	36 21 35.705	127 18 32.861	0.006 0.004
Mean					0.0057 0.0062

<표 14> 지적삼각점에 대한 좌표변환결과와 기존성과의 평면직교좌표차 비교

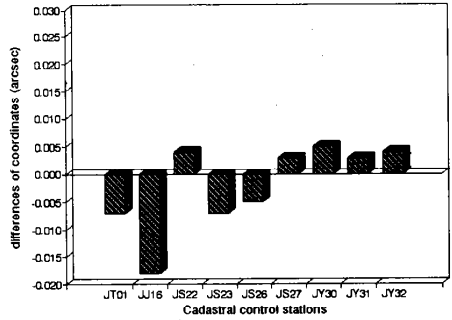
Station	Conventional (m)		Transformed (m)		Diff. (m)
JT01 X Y	31 51 85.800	23 88 41.480	31 51 85.826	23 88 41.649	-0.026 -0.169
	31 10 53.120	24 12 75.670	31 10 53.480	24 12 76.631	-0.360* -0.961*
JD42	31 79 64.810	23 73 27.360	31 79 64.870	23 73 27.225	-0.060 0.135
	31 14 68.500	23 77 54.170	31 17 59.750	23 74 17.154	-291.250* 337.016*
JJ16	31 43 18.810	23 80 96.680	31 43 18.670	23 80 97.137	0.140 -0.457
	31 57 16.440	23 32 40.310	31 57 16.426	23 80 97.137	0.014 -0.457
JS23	31 19 96.860	23 39 79.670	31 19 96.759	23 39 79.737	0.101 -0.067
	31 23 65.410	23 32 03.370	31 23 65.212	23 32 03.477	0.198 -0.107
JS27	31 39 80.270	23 35 86.970	31 39 80.317	23 35 86.974	-0.047 -0.004
	31 81 69.840	23 05 26.290	31 81 69.732	23 05 26.163	0.108 0.127
JY31	31 60 93.740	22 92 59.680	31 60 93.735	22 92 59.603	0.005 0.072
	31 80 46.030	22 77 41.750	31 80 45.817	22 77 41.651	0.213 0.099
Mean					0.101 0.149

<그림 11>

측점별 좌표변환결과와 기준성과의 경 위도좌표 비교



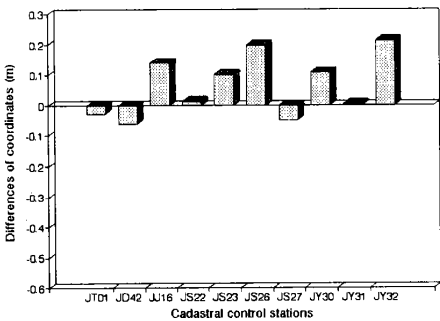
(a) 위도



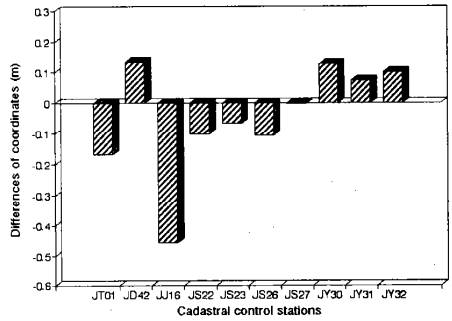
(b) 경도

<그림 12>

측점별 좌표변환결과와 기준성과의 평면직교좌표 비교



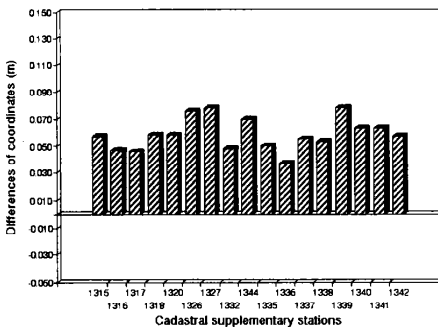
(a) X-좌표



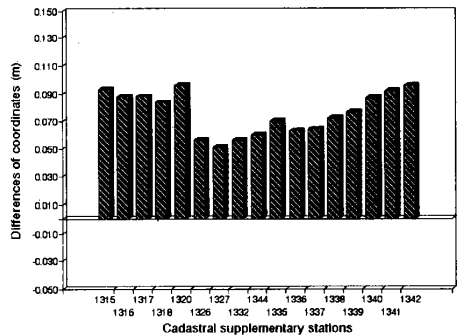
(b) Y-좌표

<그림 13>

도근점별 좌표변환결과와 기준성과의 지도투영좌표 비교



(a) X-좌표



(b) Y-좌표

Station	Conventional(m)		Transformed(m)		Conven.-Trans.	
	X	Y	X	Y	X-diff.	Y-diff.
1315	8372.343	4051.478	8372.286	4051.385	0.057	0.093
1316	8423.888	4051.506	8423.841	4051.418	0.047	0.088
1317	8477.217	4051.441	8477.171	4051.353	0.046	0.088
1318	8473.413	4142.602	8473.355	4142.519	0.058	0.083
1320	8368.407	4141.774	8368.349	4141.678	0.058	0.096
1326	8701.416	4240.832	8701.340	4240.776	0.076	0.056
1327	8748.866	4240.835	8748.788	4240.784	0.078	0.051
1332	8699.690	4051.420	8699.642	4051.364	0.048	0.056
1344	8658.749	4240.838	8658.679	4240.778	0.070	0.060
1335	8556.394	4063.957	8556.344	4063.887	0.050	0.070
1336	8657.688	4051.455	8657.651	4051.392	0.037	0.063
1337	8653.407	4144.024	8653.352	4143.960	0.055	0.064
1338	8573.830	4144.687	8573.777	4144.615	0.053	0.072
1339	8571.248	4240.845	8571.170	4240.769	0.078	0.076
1340	8479.967	4240.875	8479.904	4240.788	0.063	0.087
1341	8423.550	4240.840	8423.487	4240.748	0.063	0.092
1342	8379.990	4222.056	8379.933	4221.960	0.057	0.096
Mean					0.058	0.076

것은 표 15와 같다. 도근점에 대한 변환성과는 기존성과의 X, Y 좌표와 각각 평균 6cm, 8cm의 차이를 가졌으며, 그림 13에 나타난 것처럼 모든 측점에서 10cm 이내로 접근하고 있다.

수 있었으므로 지적측량기준점망의 점점에 GPS측량을 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

参 考 文 献

7. 결 론

첫째, 중복기선의 교차점검을 통하여 5mm+1ppm의 기선해석 정확도를 얻을 수 있었으며, GPS 기선백터에 의한 폐합차 점검을 통하여 상대정밀도를 평가한 결과, GPS망의 고정밀성과 균질성을 입증할 수 있었다.

둘째, 도근점을 대상으로 측량된 GPS와 지상측량결과가 기선과 방위각에서 각각 평균 3mm, 10초, 높이에서 2cm의 미소한 차로 일치하므로 지적세부측량에서 좌표계변환 없이 GPS를 활용할 수 있을 것이다.

세째, 7-요소 변환방법에 의한 3차원 좌표변환을 통하여 지적측량기준점 성과의 과내오차를 검출할

- 1) Surveyor's Field Guide "A Field Guidebook for Static Surveying," Trimble Navigation Limited., Sunnyvale, Calif., 1991, p.29.
- 2) Herndon, R. L., Engineering and Design NAVSTAR Global Positioning System Surveying, US Army Corps of Engineers, 1991, p.9-5.
- 3) Hothem, L. D. and Williams, G., "Factors to be Considered in Development of Specifications for Geodetic Surveys Using Related Positioning GPS Techniques", Proceeding of the First International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, pp.

4) 신봉호, 강준목, 김홍진, 최종현, "좌표변환의 정확도 향상을 위한 Bessel 지오이드고에 관한 연구", 한국지형공간정보학회논문집, 제2권, 제2호, pp. 143-151, 1994.

5) 강준목, 박운용, 김홍진, 최종현, "GPS/leveling 기법과 연직선편차를 이용한

한토목학회논문집, 제15권, 제4호, pp. 945-952, 1995.

6) Leick, A., GPS Satellite Surveying, 2nd Edition, New York, 1994.

7) Seeber, G., Satellite Geodesy, 1st Edition, Berlin New York, 1993.