

# GPS 측량의 3차원 좌표변환에 의한 정밀위치결정

## The Precise Positioning with the 3D Coordinate Transformation of GPS Surveying

박 운 용\*

유 복 모\*\*

이 기 부\*\*\*

Park, Woon Yong

Yeu, Bock Mo

Lee, Kee Boo

### 要 旨

본 연구에서는 인공위성영상을 이용한 토지피복 분류방법 중 파라메트릭한 분류와 비-파라메트릭한 분류의 대표성을 띤 최대우도 분류법과 신경망을 이용한 분류방법을 사용하여 분류정확도를 비교하였다. 분류정확도의 평가에 있어서 일반적인 분석가들이 사용하는 훈련지역에 대한 분류정확도의 분석뿐만 아니라, 시험지역에 대한 정확도분석을 하였다. 그 결과, 최대우도분류기에 비하여 신경망의 분류기가 일반적인 훈련데이터의 분류에 있어서 약 3% 우월하였으며, 지상검증데이터를 사용한 분류결과에서는 시험에 사용된 두 분류기 모두 빈약한 분류결과를 나타내었으나, 신경망에 의한 분류가 최대우도에 비하여 약 10%정도 보다 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

On this study, Among the classification methods of land cover using satellite imagery, we compared the classification accuracy of Neural Network Classifier and that of Maximum Likelihood Classifier which has the characteristics of parametric and non-parametric classification method. In the assessment of classification accuracy, we analyzed the classification accuracy about testing area as well as training area that many analysts use generally when assess the classification accuracy. As a result, Neural Network Classifier is superior to Maximum Likelihood Classifier as much as 3% in the classification of training data. When ground reference data is used, we could get poor result from both of classification methods, but we could reach conclusion that the classification result of Neural Network Classifier is superior to the classification result of Maximum Likelihood Classifier as much as 10%.

### 1. 서 론

우리 나라에서도 일찍 GPS 위성측량이 소개되었지만 GPS 위성측량을 실용화하기 위해서는 정확하고 효율적인 GPS 국가 기준망구축이 무엇보다 필요하다. 하지만 시급히 해결해야 할 문제로 GPS 위성측량이 사용하는 WGS-84 타원체와 우리 나라가 현재 사용하고 있는 Bessel 타원체 및 Geoid 사이의 기준

점 불일치에 따른 동일지점의 위치차이 수정이다.

GPS 위성 측량의 WGS-84 타원체는 지구질량중심을 좌표의 기준으로 삼는 반면에 우리가 사용하는 Bessel 타원체는 국부적인 좌표원점을 가지고 있다. 그러므로 GPS 위성측량을 성공적으로 수행하기 위해서는 Bessel 타원체에 의한 좌표계를 지양하고 GPS 위성측량의 WGS-84 타원체 좌표계를 전 국토에서 통일적으로 이용하는 방안, 기존의 Bessel 타원체에 의한 좌표계와 GPS 위성측량의 좌표계인 WGS-84 좌표계

\* 동아대학교 토목·해양공학부 교수

\*\*\* 영남이공대학 토목과 교수

\*\* 연세대학교 토목공학과 교수

를 통합하여 새로운 타원체로 결합하는 방법, 그리고 현존의 좌표계 체계를 지양하고 GPS 위성측량의 WGS-84 타원체 좌표로의 전환 등이 필요하다. 현재 가장 타당성 있는 방안이 GPS 위성측량의 WGS-84 타원체 좌표를 좌표변환계수를 이용해서 우리 나라가 사용하고 있는 Bessel 타원체 좌표로 변환하여 이용하는 방안이다. 특히 대구·경북지역에는 WGS-84 타원체 좌표를 직접 실용적 목적으로 직접 사용할 수 있는 WGS-84 타원체 좌표와 Bessel 타원체 좌표로의 상호 좌표변환계수가 없으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 GPS 관측망의 유형별로 WGS-84 타원체 좌표와 Bessel 타원체 좌표간의 1차원, 2차원 그리고 3차원 좌표변환을 수행하여 그 성과를 기존의 성과와 비교하고자 한다.

## 2. GPS 관측망의 설계

GPS 관측망의 설계에서 중요한 것은 기준점 필요 조건, 망 형상과 잉여도(redundant)이다. Table 1은 유형별 위치결정 기법에 따른 기준점 수와 망 형상을 정리하였다. 단독측위는 절대 방식의 측위이므로 망형상이 적용되지 않고, 기준점이 필요 없으며 1대 수신기만을 이용한다. 상대측위는 최소 1 개의 3차원 기준점을 필요로 하며, 이 기준점은 타원체 높이와 기지의 X, Y의 WGS-84 좌표를 가지고 있어야 하므로 상대측위는 Fig. 1과 같은 방사형을 취한다. 이동국 수신기가 위치를 결정하고자 하는 점으로 이동할 때 기지국 수신기는 연속적으로 3 차원 기준점에서 위성을 추적한다(즉 1 → 2 → 3 등).

그리고 Fig. 2는 정적망이다. 반-동적방법과 신속정

적방법은 가변적이며 상대측위기법과 재래 정적방법만큼 잘 개발되어 있지 않다. GPS 작업에서 일정 시간 동안 동시에 이루어지는 모든 관측을 '세션(session)'이라고 한다. 각 세션은 양쪽 세션에서 관측이 이루어지는 한 개 이상의 공통점을 통해 최소한 다른 한 세션에 연결되어야 한다. 공통점수를 증가시키면 전체 망의 안정성, 정확도와 신뢰성이 증가된다. 다중-세션 작업에서 3대 이상의 수신기를 사용할 때 관측 계획의 설계가 경제성, 정확도 그리고 신뢰성 사이에서 하나의 최적화 문제가 된다<sup>1)</sup>.

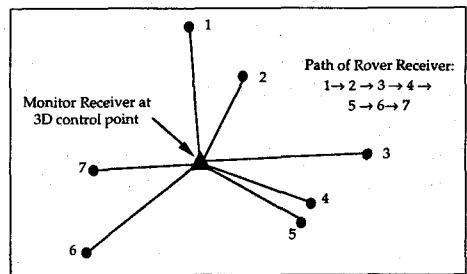


Fig. 1. Radial survey

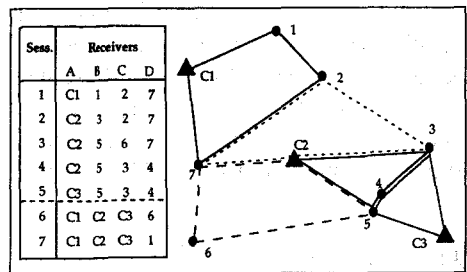


Fig. 2. Static network

Table 1. Control requirements and network configuration

Technique	Control Requirements	Network Configuration
Single Point	none	not applicable
Differential	1 or more 3D points	radial
Conventional Static	3 or more 3D points (or equivalent)	closed geometrical figure
Rapid Static & Semi-Kinematic	varies	varies

여기서  $r$  을 동시에 작동하는 수신기의 수,  $n$  을 측점의 수,  $m$  을 2개 세션에서 1개 이상의 관측값을 가진 측점의 수,  $s$  를 세션의 수,  $r(r-1)/2$  을 1개 세션에서 가능한 기선의 수,  $(r-1)$  을 1개 세션에서 독립 기선의 수라고 하면 망에서 요구되는 세션의 수는 아래와 같다.

$$S = \left\lceil \frac{n-m}{r-m} \right\rceil$$

여기서, S : 다음으로 큰 정수

각 세션에서 측점을 두 번 이상 재 점유함으로써 일부 기선은 두 번 결정되며 전체 망에서는 아래와 같은 값을 가진다.

- $(s-1)(m-1)$  : 두 번 결정된 독립 기선의 수
- $s(r-1)$  : 독립 기선의 수

정확도 외에 GPS 망의 신뢰도가 망 품질에서 중요한 요소이다. 신뢰도는 과대오차나 계통적 오차에 대한 자체검정의 능력을 의미하며 Fig. 3이 좋은 예가 된다. 측점 I - III 과 I - IV는 상시기준점으로 이용되며 모든 세션의 관측시간동안 계속적으로 수신기를 설치하는 점이다.

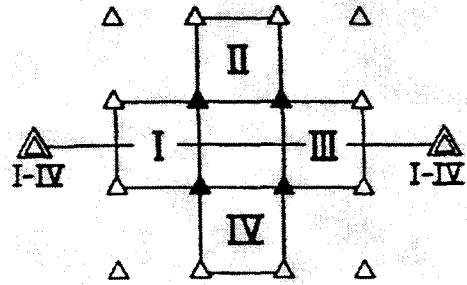
Fig. 3의 좌측 부분(a)은 정확도 기준만을 고려한 망 설계이고, 우측부분(b)은 각 고형체 삼각점(fig속의 ▲ 점)이 두 세션에서 이용되므로 정확도면에서는 거의 왼쪽부분과 동일하나 정확도와 더불어 신뢰도를 함께 제공하는 경우이다.

### 3. 관 측

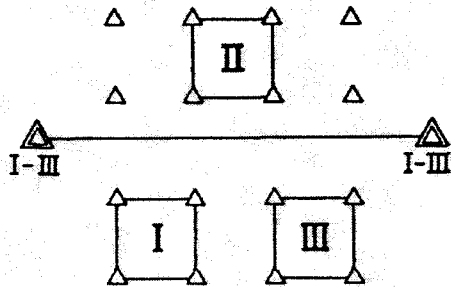
#### 3. 1. GPS 관측기준점 점검

##### 3.1.1 Y coll.의 GPS 상시관측소 WGS-84 좌표 점검

Y coll.의 WGS-84 좌표를 얻기 위해 IGS에서 제공



(a) three sessions



(b) four sessions

Fig. 3 Network with accuracy and reliability(a, b)

하는 대전과 수원의 WGS-84 좌표를 기준으로 GPS관측 날짜별로 방송천문력과 정밀레도력을 이용하여 Y coll. 의 WGS-84 좌표를 구하였다. 관측일별로 대전(DAEJ), 수원(SUWN)과 Y coll.을 연결하는 망을 이용해서 자료를 처리하고, 국제 GPS 서비스에서 공인을 받은 대전과 수원의 관측 좌표 중 대전을 고정점으로 수원과 Y coll.의 WGS-84 좌표를 구하고, 기지의 수원 측점의 좌표와 가장 근접한 결과를 취득한 GPS 자료 관측일의 Y coll.의 WGS-84를 기준 WGS-84 좌표로 고정하였다. Table 2에 국제 GPS 서비스에서 제공하는 대전, 수원의 WGS-84좌표를 나타내었다. 그리고 Fig. 4에 대전, 수원, 그리고 Y coll.을 연결하는 GPS 관측망을 도시화하였다.

Table 2. Coordinates of SUWN and DAEJ

Coordinates Stations	WGS-84		
	$\phi$ (deg)	$\lambda$ (deg)	H(m)
DAEJ	36-23-57.94627	127.22-28.11647	116.8486
SUWN	37-16-31.84104	127-03-15.19860	86.617

### 3. 2. GPS 관측 실험

#### 3.2.1. 관측망

대구·경북 지역에 적합한 WGS-84 타원체 좌표로부터 Bessel 타원체 좌표로의 좌표변환계수를 도출하고 정확한 GPS 관측망을 구성하기 위해 대구·경북 지역의 3등, 4등 삼각점에 대해 GPS 위성측량을 실시하였다. 방사형 측량은 Fig. 5의 형상을 가졌으며, 정적 망형 측량 방식은 Fig. 6과 같은 형상을 가진다.

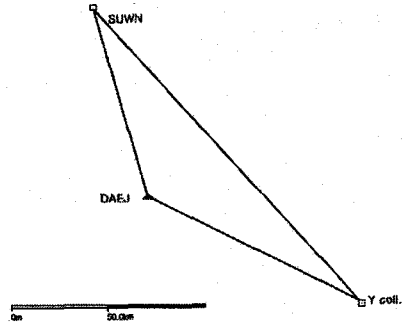


Fig. 4. Sketch of network (DAEJ, SUWN, and Y coll.)

### 3. 3. 망 조정

#### 3.3.1. 최소구속 조정

망의 기선의 최종조정에 앞서 최소구속 조정이 이루어지고 망 내의 임의의 한 측점을 임의좌표로 고정 할 수 있다. 기선 관측값을 수용하는 데 필요한 망 내의 다른 모든 측점 은 망 조정과 무관하다. 이 조정의 잔차는 기준점 좌표보다는 기선 관측값과 밀접하게 관련된다. 잔차 분석을 통해 첫 번째 분석에서 비 탐색된 과대오차를 발견해서 제거할 수 있다. Table 3에 처리된 기선과 최소 구속조정을 통해 얻은 기선 성분을 기록하였고, 두 기선 성분은  $dx$ ,  $dy$ 와  $dz$ 에서 약 0.2~1.0cm 차이를 보였다.

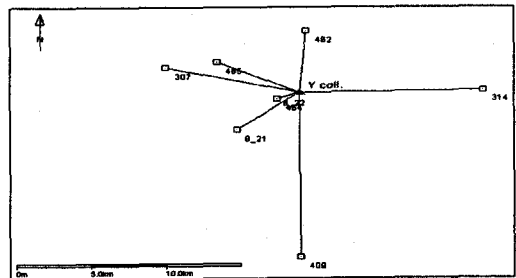


Fig. 5. Radial survey

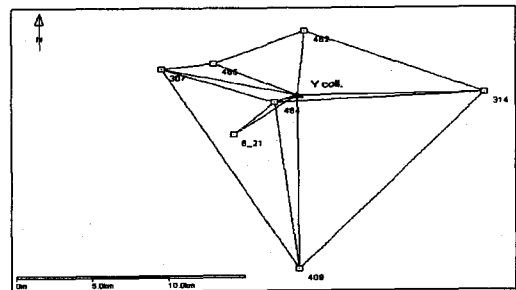


Fig. 6. Network survey

Table 3. Comparison of processed baseline and free adjusted baseline

From - to	Processed Vector			Free Adjusted Vector			Differences		
	$dx$	$dy$	$dz$	$dx$	$dy$	$dz$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
Y coll.-314	-9522.859	-7712.811	115.693	-9522.850	-7712.789	115.697	-0.009	-0.022	-0.004
Y coll.-464	945.923	1240.816	-500.736	945.897	1240.826	-500.723	0.026	-0.01	-0.013
Y coll.-462	1633.359	-2741.213	4430.901	1633.360	-2741.194	4430.909	-0.001	-0.019	-0.008
Y coll.-465	5229.106	2330.703	2274.467	5229.117	2330.707	2274.456	-0.011	-0.004	0.011
307-Ycoll.	-7664.821	-4661.244	-1841.650	-7664.839	-4661.221	-1841.642	0.018	-0.023	-0.008
Y coll.-409	-5531.225	6790.200	-11820.336	-5531.277	6790.245	-11820.285	0.052	-0.045	-0.051
464-(8_21)	1128.327	2880.677	-2237.652	1128.322	2880.687	-2237.642	0.005	-0.01	-0.01
409-314	-3991.655	-14503.068	11936.052	-3991.573	-14503.033	11935.982	-0.082	-0.035	0.07
307-409	-13196.209	2129.079	-13661.819	-13196.116	2129.024	-13661.927	-0.093	0.055	0.108
307-464	-6719.068	-3420.421	-2342.232	-6718.963	-3420.416	-2342.397	-0.105	-0.005	0.165
464-314	-10468.691	-8953.613	616.346	-10468.747	-8953.615	616.420	0.056	0.002	-0.074
462-314	-11156.252	-4971.559	-4315.170	-11156.210	-4971.595	-4315.213	-0.042	0.036	0.043
465-307	2435.699	2330.500	-432.802	2435.722	2330.514	-432.814	-0.023	-0.014	0.012
465-462	-3595.767	-5071.871	2156.471	-3595.757	-5071.901	2156.454	-0.01	0.03	0.017
464-409	-6477.109	5549.488	-11319.660	-6477.174	5549.419	-11319.563	0.065	0.069	-0.097
(8_21)-Y coll.	-2074.086	-4121.780	2738.093	-2074.219	-4121.513	2738.365	0.133	-0.267	-0.272
Mean							-0.001	-0.015	-0.007

Table 4. Comparison of processed coordinate and adjusted coordinate of stations(WGS-84)

St.	Processed coordinates			Adjusted coordinates					
	X	Y	Z	X	Y	Z	$dx$	$dy$	$dz$
Y coll.	-3227933.832	4046128.064	3714619.916	-3227933.832	4046128.064	3714619.916	0.00	0.00	0.00
464	-3226987.941	4047368.887	3714119.181	-3226987.935	4047368.890	3714119.193	-0.006	-0.003	-0.012
314	-3237456.725	4038415.291	3714735.647	-3237456.682	4038415.275	3714735.613	-0.04	0.016	0.034
462	-3226300.493	4043386.896	3719050.854	-3226300.469	4043386.869	3719050.817	-0.024	0.027	0.037
465	-3222704.726	4048458.767	3716894.393	-3222704.712	4048458.772	3716894.370	0.014	-0.005	0.028
307	-3220269.027	4050789.267	3716461.581	-3220268.977	4050789.287	3716461.571	-0.05	-0.02	0.01
409	-3233465.057	4052918.264	3702799.580	-3233465.055	4052918.257	3702799.555	-0.002	0.007	0.025
8_21	-3225859.746	4050249.844	3711881.823	-3225859.737	4050249.804	3711881.796	-0.009	0.04	0.019
Mean							-0.017	0.009	-0.001

### 3.3.2. 고정 망 조정

GPS 망은 잉여 관측값을 포함하고 있으므로 모든 관측값의 차는 일관성을 가지도록 조정되어야 한다. GPS 망 내의 기선조정에서 최소제곱법을 적용하기 위해 측정 좌표, 관측 좌표차와 잔차를 서로 결합시키는 관측방정식을 만들었다. 다음으로 Y coll.의 WGS-84 좌표를 고정점으로 하여 처리한 측정점들의 좌표와 망 조정이 이루어진 측정점의 좌표차를 비교하였다. 이를 Table 4에 기록하였고, 그 차를 Fig. 7에 도시하였다. 측정점 8\_21의 에서  $dy$  는 0.040m로 최대였고, 최소 -0.001m로 그 차이는 매우 미소하게 나타났다. 그리고 망 조정 후 과대오차를 소거하기 위해 t-test를 수행한 결과 기선 464-307, 8\_21-Y coll.에서 과대오차가 발견되었다. 그래서 반복 조정을 통해 과대오차를 제거하여 망을 조정하였다.

### 3. 4. 좌표 변환

GPS의 기준좌표계는 WGS-84 세계 측지좌표계이다. GPS를 사용할 때 지상점의 좌표는 동일 기준좌표계로 얻는다. 대개 측량종사자들은 평역좌표계를 중심으로 하는 지상점의 좌표에는 관심이 없고 국부좌표계의 측지좌표, 평면좌표 또는 지상 관측자료와 결합된

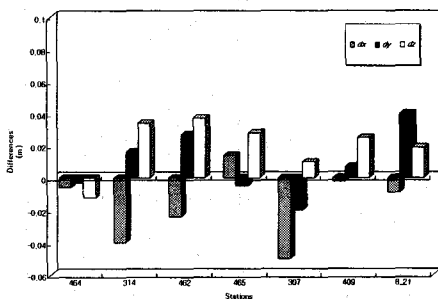


Fig. 7. Differences of processed coordinates and adjusted coordinates

벡터를 선호한다. WGS-84는 지심좌표계이고, 국부좌표계는 비지심좌표계 이므로 변환이 필요하다. 따라서 방사형 측량과 정적 망형 측량에 대해 3차원, 2차원 그리고 1차원 방식으로 WGS-84 세계 측지좌표계를 국부좌표계로 변환하였다.

#### 3.4.1. 방사형 측량과 망 측량

##### 1) 7-매개변수 3차원 조정과 변환

3차원 조정과 변환을 위해 대구·경북지역에 있는 3등과 4등 6개 삼각점, 그리고 1개 수준점을 이용하여 삼각점의 Bessel 타원체의 지심좌표, WGS-84 타원체 지심좌표를 먼저 구하였다. Bessel 타원체의 지심좌표는 C 대학교의 지오이드모형 계산 프로그램으로 계산하였다. Table 5에 방사형 측량(R)과 망 측량방식(N)으로 각 측정점의 WGS-84 타원체 지심좌표와 Bessel 타원체 지심좌표를 기록하였다.

방사형 측량과 망측량 방식으로 WGS-84 타원체 지심좌표와 Bessel 타원체 지심좌표를 이용해서 기준점의 수에 따른 3차원 좌표변환을 수행하여 7개의 매개변수를 구하였다. Table 6에 산출된 7-매개변수, Table 7에 7-매개변수를 이용하여 변환된 좌표와 기지성과간의 측지 좌표차이 그리고 기준점수 별 측지 좌표차를 Fig. 8에 도시하였다.

##### 2) 4-매개변수 (2D) 변환

2차원 변환은 3차원 조정의 변환 방법과 달리 높이는 조정되지 않는다. 2차원 변환을 통해 얻은 4-매개변수는 Table 8에, 그리고 Table 10에 변환 좌표와 기지성과간의 편차를 기록하였다. Fig. 9에 기준점수에 따른 기지성과와의 차를 기입하였다.

##### 3) 5-매개변수 (2D + 1D) 변환

2차원 + 1차원 변환에서는 수평 성분( $\lambda$ ,  $\psi$ )과 높이(H) 성분이 각각 분리되어 좌표변환이 이루어

Table 5. The Cartesian geocentric coordinates of WGS-84 and Bessel ellipsoid

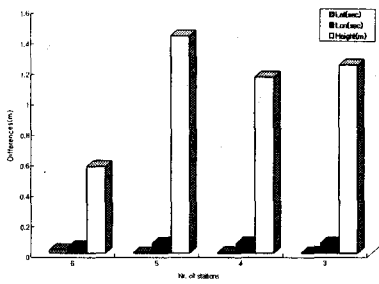
St.	WGS-84				Bessel		
	N/W	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
307	R	-322068.995	4050789.295	3716461.556	-3219920.855	4050447.469	3715836.304
	N	-3220268.993	4050789.285	3716461.558			
314	R	-3237456.691	4038415.253	3714735.609	-3237111.151	4038068.754	3714110.244
	N	-3237456.682	4038415.275	3714735.613			
462	R	-3226300.473	4043386.851	3719050.817	-3225950.615	4043043.014	3718369.238
	N	-3226300.472	4043386.870	3719050.825			
464	R	-3226987.926	4047368.887	3714119.186	-3226638.811	4047024.571	3713437.434
	N	-3226987.935	4047368.890	3714119.193			
465	R	-3222704.728	4048458.782	3716894.384	-3222356.124	4048115.771	3716212.817
	N	-3222704.715	4048458.771	3716894.372			
409	R	-3233465.057	4052918.264	3702799.580	-3233119.165	4052575.649	3702119.761
	N	-3233465.109	4052918.309	3702799.631			

Table 6. 7-Parameters with number of control points

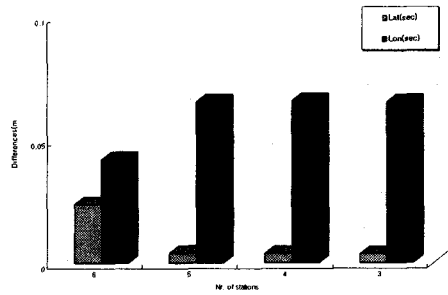
Nr. of station	N/W	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\omega$ (arcsec)	$\phi$ (arcsec)	$\kappa$ (arcsec)	$\mu$
6	R	554.139	-242.932	-1989.882	-18.0634	-31.0543	-18.2649	1.000126141
	N	572.831	-253.899	-1969.623	-17.4690	-30.3327	-18.4359	1.000126864
5	R	1083.918	1014.277	-1822.884	-37.2845	-19.6657	-50.9886	1.000027579
	N	1111.817	1017.704	-1802.771	-36.9973	-18.7317	-51.5474	1.000027612
4	R	894.257	826.928	-1765.499	-32.6399	-22.2119	-43.9309	1.000025976
	N	923.729	831.839	-1745.903	-32.3932	-21.2543	-44.5443	1.000025976
3	R	980.070	850.634	-1749.676	-32.4246	-20.7569	-46.4702	1.000029005
	N	1005.451	853.245	-1731.805	-32.1718	-19.9027	-46.9597	1.000029123

Table 7. Differences of known geographic coordinates and transformed geographic coordinates of control points

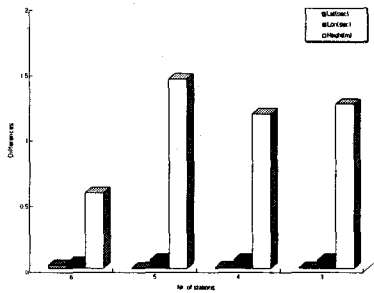
Nr. of Station	N/W	Lat.(sec)	Lon.(sec)	H(m)
6	R	0.0238	0.0428	0.5678
	N	0.0239	0.0430	0.5732
5	R	0.0038	0.0655	1.4883
	N	0.0036	0.0659	1.4437
4	R	0.0039	0.0658	1.3876
	N	0.0062	0.0661	1.1774
3	R	0.0039	0.0649	1.2352
	N	0.0041	0.0653	1.2516



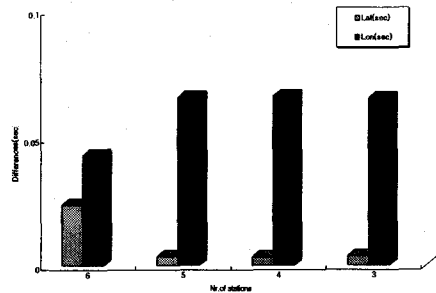
(a) Radial survey



(a) Radial survey



(b) Network survey



(b) Network survey

Fig. 8. Differences vs. Nr. of control points.

Fig. 9. Differences vs. Nr. of control points.

Table. 8. 4-parameters with number of control points

Nr. of Station	N/W	$\Delta N(m)$	$\Delta E(m)$	R(Deg)	$\mu$
6	R	0.098 ± 0.418	0.061 ± 0.418	0.0000002 ± 0.00258381	0.999999623 ± 0.000045096
	N	0.099 ± 0.421	0.061 ± 0.421	0.0000002 ± 0.00260071	0.999999621 ± 0.000045391
5	R	0.080 ± 0.070	0.049 ± 0.070	0.0000001 ± 0.00050061	0.999999693 ± 0.000008737
	N	0.080 ± 0.070	0.049 ± 0.070	0.0000001 ± 0.00050309	0.999999693 ± 0.000008781
4	R	-0.012 ± 0.068	-0.007 ± 0.068	0.0000000 ± 0.00044065	1.000000047 ± 0.000007691
	N	-0.011 ± 0.069	-0.007 ± 0.069	0.0000000 ± 0.00044624	1.000000044 ± 0.000007788
3	R	0.000 ± 0.016	0.000 ± 0.016	-0.00000 ± 0.00009103	1.000000000 ± 0.000001589
	N	0.000 ± 0.020	0.000 ± 0.020	0.000000000 ± 0.00011919	1.000000000 ± 0.000002080



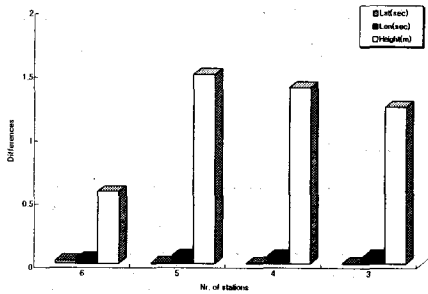
진다. Table 9에 방사형 측량의 5-매개변수, Table 하였다. 그리고 Fig. 10에 기준점 수에 따른 기지성 10에 변환성과와 기지성과의 측지좌표 차이를 표시 과와의 차이를 도시하였다.

Table 9. 5-parameters with number of control points(2D+1D)

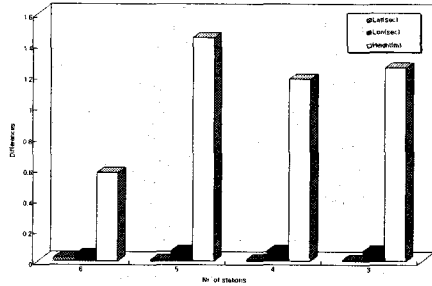
Nr. of Station		$\Delta N(m)$	$\Delta E(m)$	R(deg)	Height shift(m)	$\mu$
6	R	-0.000 ± 0.418	-0.000 ± 0.418	0.000 ± 0.00258381	-0.000 ± 0.372	1.000 ± 0.000045096
	N	-0.000 ± 0.421	-0.000 ± 0.421	-0.000 ± 0.00260071	-0.000 ± 0.373	1.000 ± 0.000045391
5	R	-0.007 ± 0.070	-0.000 ± 0.070	0.000 ± 0.00050061	-0.000 ± 0.291	1.000 ± 0.000008737
	N	-0.000 ± 0.070	-0.000 ± 0.070	-0.000 ± 0.00550309	-0.000 ± 0.288	1.000 ± 0.000008781
4	R	-0.000 ± 0.068	-0.000 ± 0.068	-0.000 ± 0.00044065	0.000 ± 0.120	1.000 ± 0.000007691
	N	-0.000 ± 0.069	-0.000 ± 0.069	0.000 ± 0.00044624	-0.000 ± 0.114	1.000 ± 0.000007788
3	R	-0.000 ± 0.016	-0.000 ± 0.016	0.000 ± 0.00009103	-0.000 ± 0.000	1.000 ± 0.000001589
	N	-0.000 ± 0.020	-0.000 ± 0.020	0.000 ± 0.00011919	-0.000 ± 0.000	1.000 ± 0.000002080

Table 10. Differences of known geographic coordinates and transformed geographic coordinates of control points

Nr. of Station	2D			2D+ 1D		
	N/W	Lat. (sec)	Lon. (sec)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	H(m)
6	R	0.0237	0.0420	0.0234	0.0426	0.5679
	N	0.0239	0.0433	0.0239	0.0430	0.5732
5	R	0.0040	0.0655	0.0037	0.0655	1.4249
	N	0.0037	0.0660	0.0036	0.0659	1.4437
4	R	0.0037	0.0659	0.0039	0.0658	1.1562
	N	0.0035	0.0665	0.0062	0.0661	1.1774
3	R	0.0036	0.0653	0.0039	0.0477	1.235
	N	0.0039	0.0657	0.0041	0.0653	1.2516



(a) Radial survey



(b) Network survey

Fig. 10. Differences vs. Nr. of control points.

4) 3-매개변수 변환

Table 5에 WGS-84 지심좌표와 Bessel 타원체 지심좌표, 그리고 Table 11에 두 타원체간의 평균지심편차량 등을 나타내었다.

Table 11. Coordinate differences between WGS-84 ellipsoid and bessel ellipsoid of station

St.	WGS-84 - Bessel					
	Radial survey			Network survey		
	<i>dx</i>	<i>dy</i>	<i>dz</i>	<i>dx</i>	<i>dy</i>	<i>dz</i>
307	-348.14	341.826	681.103	-348.138	341.816	681.105
314	-345.54	346.499	679.831	-345.531	346.521	679.835
462	-349.858	343.837	681.579	-349.857	343.856	681.587
464	-349.115	344.316	681.752	-349.124	344.319	681.759
465	-348.604	343.011	681.567	-348.591	343.000	681.555
409	-345.892	342.615	679.819	-345.944	342.66	679.87
Mean	-347.858	343.684	680.942	-347.864	343.695	680.952

4. 좌표변환 계수의 정확성 검토

WGS-84 타원체에서 Bessel 타원체로의 좌표변환 계수를 대구·경북 일원의 3등과 4등 삼각점에 대해 적용하여 결과를 비교하였다.

4.1. 도출된 성과와 기존성과와의 비교

두 가지 기법의 GPS 측량방식으로 구한 WGS-84 타원체에서 Bessel 타원체로의 차원별 좌표변환 계수를 15개 삼각점에 적용하여 그 성과를 비교함으로써 삼각점의 기하에 따른 도출변환계수의 적용의 타당성을 검토하였다.

4.1.1 3차원 측량에서 구한 좌표변환계수를 이용한 경우

Table 12에는 방사형 측량과 망형 측량으로 수행한 3차원 좌표변환 결과를 기존의 성과와 비교하였다.

4.1.2 2차원 측량과 2차원 측량 + 1차원 측량에서 구한 좌표변환계수를 이용한 경우

Table 13에는 방사형 측량과 정적 망형 측량으로 수행한 2D 와 2D+1D 차원 좌표변환 결과를 기존의 성과와 비교하였다.

Table 12. Comparison of known coordinates and transformed coordinates of test control points(3D) using 6 control points

St.	Known coordinates			Transformed coordinate(3D)					
	Lat. (deg)	Lon. (deg)	h(m)	Radial survey			Network survey		
				Lat. (sec)	Lon. (sec)	h(m)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	h(m)
303	35-59-11.030	128-36-8.490	660.02	11.043	8.765	657.665	11.043	8.766	657.720
310	35-40-24.130	128-24-31.089	408.26	24.062	31.229	411.393	24.062	31.228	411.314
313	35-40-23.693	128-27-46.546	161.08	23.675	46.672	164.363	23.675	46.671	164.278
315	35-52-37.747	128-41-44.394	130.81	37.743	44.458	130.819	37.743	44.459	130.819
320	35-39-58.031	128-43-36.777	216.100	58.108	37.015	217.942	58.108	37.015	217.825
322	35-37-58.133	128-24-18.325	61.820	58.059	18.588	68.193	58.059	18.588	68.095
330	35-47-39.186	128-27-28.625	50.760	39.161	28.594	52.258	39.161	28.594	52.234
331	35-51-38.661	128-31-45.992	98.920	38.682	46.055	98.693	38.682	46.055	98.693
409	35-42-45.490	128-34-57.517	282.380	45.445	57.543	282.300	45.445	57.542	282.221
4104	35-46-26.136	128-43-16.777	135.290	26.097	16.846	135.690	26.097	16.847	135.627
4105	35-49-17.986	128-43-27.485	63.980	17.954	27.551	63.835	17.954	27.552	63.794
415	35-54-55.430	128-37-09.279	29.450	55.454	09.322	28.023	55.454	09.322	28.041
424	35-43-09.036	128-26-13.270	76.540	08.952	13.363	79.195	08.952	13.362	79.136
425	35-55-48.319	128-41-32.427	204.490	48.337	32.501	194.490	48.337	32.502	194.506
462	35-53-39.432	128-35-11.125	120.330	39.451	11.163	120.814	39.451	11.163	120.824
Mean				0.04392	0.0901	3.5854	0.04392	0.0901	3.5521

Table 13. Comparison of known coordinates and transformed coordinates of test control points(2D) and (2D+1D) using 6 control points

St.	Transformed coordinate(2D)				Transformed coordinates(2D+1D)					
	Radial survey		Network survey		Radial survey			Network survey		
	Lat. (sec)	Lon. (sec)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	h(m)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	h(m)
303	11.043	8.765	11.043	8.766	11.043	8.765	657.665	11.043	8.766	657.720
310	24.062	31.229	24.062	31.228	24.062	31.229	411.393	24.062	31.228	411.314
313	23.675	46.672	23.675	46.672	23.675	46.672	164.363	23.675	46.672	164.278
315	37.743	44.458	37.743	44.459	37.743	44.458	130.819	37.743	44.459	130.819
320	58.108	37.014	58.108	37.015	58.108	37.014	217.942	58.108	37.015	217.825
322	58.059	18.588	58.059	18.588	58.059	18.588	68.193	58.059	18.588	68.095
330	39.161	28.594	39.161	28.594	39.161	28.594	52.258	39.161	28.594	52.234
331	38.682	46.055	38.682	46.055	38.682	46.055	98.693	38.682	46.055	98.693
409	45.445	57.543	45.445	57.542	45.445	57.543	282.300	45.445	57.542	282.221
4104	26.097	16.846	26.097	16.847	26.097	16.846	135.690	26.097	16.847	135.627
4105	17.954	27.551	17.954	27.552	17.954	27.551	63.835	17.954	27.552	63.794
415	55.454	09.322	55.454	09.322	55.454	09.322	28.023	55.454	09.322	28.041
424	08.952	13.363	08.952	13.363	08.952	13.363	79.195	08.952	13.363	79.136
425	48.336	32.501	48.337	32.502	48.336	32.501	194.490	48.337	32.502	194.506
462	39.451	11.162	39.451	11.163	39.451	11.162	120.814	39.451	11.163	120.824
Mean	0.04387	0.0900	0.04392	0.0901	0.04387	0.0900	3.5854	0.04392	0.0901	3.5521

Table 14. Comparison of known coordinates and transformed coordinates of test control points(3-parameter) using 6 control points

St.	Known coordinates			Transformed coordinates					
				Radial survey			Network survey		
	Lat. (sec)	Lon. (sec)	H(m)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	H(m)	Lat. (sec)	Lon. (sec)	H(m)
303	35-59-11.030	128-36-8.490	612.044	10.965	8.820	612.385	10.965	8.820	612.370
310	35-40-24.130	128-24-31.089	361.614	24.186	31.229	361.224	24.186	31.229	361.208
313	35-40-23.693	128-27-46.546	114.686	23.784	46.648	114.647	23.784	46.648	114.631
315	35-52-37.747	128-41-44.394	84.002	37.689	44.422	84.102	37.689	44.422	85.086
320	35-39-58.031	128-43-36.777	170.896	58.140	36.868	170.114	58.140	36.868	170.098
322	35-37-58.133	128-24-18.325	15.448	58.204	18.572	17.598	58.204	18.572	17.582
330	35-47-39.186	128-27-28.625	03.480	39.217	28.628	03.837	39.217	28.628	03.821
331	35-51-38.661	128-31-45.992	51.495	38.686	46.087	51.545	38.686	46.087	51.529
409	35-42-45.490	128-34-57.517	236.242	45.499	57.482	233.913	45.499	57.482	233.897
4104	35-46-26.136	128-43-16.777	89.308	26.083	16.751	89.020	26.082	16.751	89.004
4105	35-49-17.986	128-43-27.485	17.677	17.917	27.476	17.722	17.917	27.477	17.707
415	35-54-55.430	128-37-09.279	-17.956	55.406	09.337	-17.831	55.406	09.338	-17.847
424	35-43-09.036	128-26-13.270	29.699	09.048	13.372	29.790	09.048	13.372	29.774
425	35-55-48.319	128-41-32.427	157.300	48.259	32.490	149.325	48.259	32.490	149.309
462	35-53-39.432	128-35-11.125	72.926	39.423	11.183	74.467	39.423	11.184	74.451
Mean				0.0603	0.0991	2.3292	0.0604	0.0990	2.3290

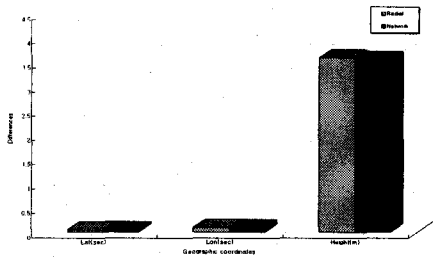


Fig. 11. Errors of geodetic coordinate(3D)

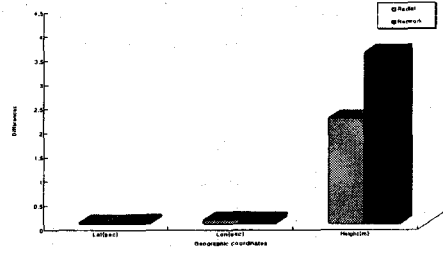


Fig. 13. Errors of geodetic coordinate(2D+1D)

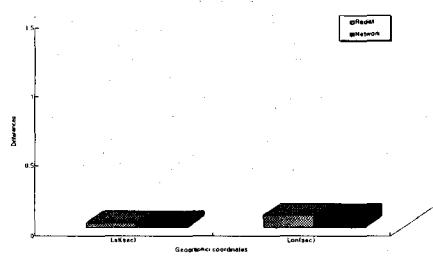


Fig. 12. Errors of geodetic coordinate(2D)

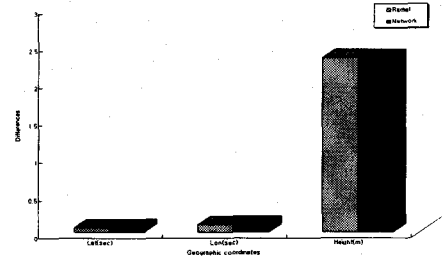


Fig. 14. Errors of geodetic coordinate(3-parameter)

## 4.1.3 3-매개변수를 이용한 경우

Table 14에는 방사형과 정적 망형 측량에서 구한 WGS-84 지심좌표와 Bessel 지심좌표의 평균지심편차량을 이용해서 구한 좌표변환 성과와 기지성과를 비교하였다. 그리고 Fig. 11, Fig 12 와 13은 각 차원별 측지 좌표차를 표시하였으며 Fig. 14는 방사형 측량과 정적측량에 의한 3-변수 기법에 의한 측지 좌표차를 도시하고 있다.

## 4. 결 론

GPS 위성측량을 통해 대구·경북 지역의 주요 삼각점과 수준점을 이용하여 WGS-84 타원체로부터 Bessel 타원체로의 관측망 유형별, 차원별 좌표변환계수를 도출하여 삼각점에 적용해 본 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 2차원(4-매개변수) 방법을 적용할 경우 관측점의 최대기선 길이가 20km 이내 일 때 높이값에 대한 정보가 없어도, 3차원 방법에 비교해 수평위치 정확도가 양호함을 알 수 있었다.
2. 3-매개변수 좌표변환 방법을 적용할 경우 경·위도에서는 오차가 비교적 크지만, 높이에서는 좋은 결과가 나타남을 알 수 있었다.
3. 방사형 측량 방식과 정적 망형 측량 방식의 평균 지심좌표 편차량과 측지 좌표 편차량을 검사점에 적용한 결과, 수평위치에서는 비슷한 결과를 보였으며, 높이에서 망형 방식이 더 우수한 값을 보였다.
4. 앞으로 GPS 상시 관측소를 국가 전자기준점으로 활용하기 위해서 편차량에 관한 철저한 검사가 선행되어야 할 것이며, GPS 위성측량의 성과를 좌표변환계수를 이용하여 실제로 적용하기에 앞

서 그 지역에 적합한 지오이드모형 개발과 국가 기준점에 대한 철저한 검증이 필요함을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtegger, and J. Collins, "GPS theory and Practice", Fourth revised edition, Springer Wien NewYork.
- 2) Günter Seeber, "Satellite Geodesy ; Foundations, Methods, and Applications", 1993, pp. 319~325.
- 3) 유복모, 조기성, 이현직, 광동욱, "수평위치 결정을 위한 망조정 해석에 관한 연구", 한국측지학회지 제 9 권 1호, 1991, pp. 37~48.
- 4) 박운용, 임영빈, 이재원, "정밀측지측량을 위한 GPS 신속관측기법들의 활용에 관한 연구", 토목학회 논문집, 제 15 권 4 호, 1995, pp. 961~973.
- 5) 이영진, "회박행렬의 기법을 이용한 대규모 측지망의 조정", 대한토목학회논문집, 제 11 권 제 4 호, 1991, pp. 143~150.
- 6) 강준목, 이용창, 박필호, 한인후, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환(1)", 한국측지학회지 10 권 1호, 1992,
- 7) 강인준, 장용구, 강성수, "부산지방에 있어서 GPS 측량의 7-parameter 산정", 대한토목학회논문집, 제 16 권 III-5 호, 1996, pp. 415~422.
- 8) 조규전, 전재홍, 차득기, 어수창, "소지역에서 GPS 좌표변환에 관한 연구", 한국측지학회지 제 15 권 2 호, 1997, pp. 253~262.
- 9) 김홍진, "지적측량을 위한 GPS 위치결정 특성해석", 충남대학교, 박사학위논문, 1996.
- 10) 김정호, "GPS를 이용한 기준점 좌표변환에 관한 연구", 경기대학교, 박사학위 논문, 1998.
- 11) 이영진, "3 차원 기선벡터망 조정기법에 의한 국가 기본점의 성과산정 (KTRF94)", 한국측지학회지, 제 16 권 제 1호, 1998, pp. 85~94.

- 12) Remondi, B. W, "Performing Centimeter-level Surveys in Seconds with GOS Carrier Phase: Initial Results," Proceeding of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, 1986, pp. 1229~1250.
- 13) Cannon, M. E, Schwarz, K. P and Wong, V. C, "Kinematic Positioning with GPS an Analys of Road Tests," Proceeding of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, 1986, pp. 1251~1268.
- 14) Mader, G. L, "Decimeter Lever Aircraft positioning Using GPS Carrier Phase Measurements," Proceeding of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol. II, 1986, pp. 1311~1326.
- 15) Rouer, K. G, "GPS Applications to Carrier-Based Naval Aircraft," Proceedings of the Satellite Division First Technical Meeting, 1987, pp. 89~93.