

GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(II)

The Coordinate Transformation Between Korean Geodetic System and WGS 84 for the Practical Use of GPS (II)

朴弼鎬* · 朴鍾旭** · 姜準默***

Park Pil-Ho · Park Jong-Uk · Kang Joon-Mook

要 旨

경상북도 전역과 충청북도 일부지역을 포함한 경도 1도 32분, 위도 1도 7분에 이르는 지역을 대상으로 우리나라 측지계와 WGS 84 측지계간의 좌표변환연구를 수행하였다. 이 연구의 대상범위는 1992년 발표한 1단계 연구의 약 4배에 해당한다. 이 연구를 위하여 7개의 천문점과 3개의 삼각점으로 구성된 10개의 기준점 및 근처의 8개 수준점을 GPS로 관측하였고, 변환요소 방법과 Molodensky 방법, MRE 방법의 3가지 좌표변환 방법으로 WGS 84를 우리나라 측지계로 변환하여 좌표변환 정밀도를 비교하고 변환요소 방법의 적용성 여부를 검토하였다.

변환요소 방법에 의한 좌표변환 정밀도가 다른 두 방법에 비하여 3배 정도 더 우수한 것으로 나타났으며 변환요소 방법을 이용한 경우 위도, 경도, 높이에서 각각 0.017초, 0.016초, 0.329초의 정밀도를 좌표변환이 가능하였다. 기준점 근처의 수준점을 GPS로 동시에 관측하므로써 기준점 높이성과의 과대오차를 검출하고 보정할 수 있었으며 이러한 과대오차를 보정하므로써 좌표변환의 정밀도가 훨씬 더 나아짐을 보였다.

ABSTRACT

We research on the coordinate transformation between Korean geodetic system and WGS 1984. We made the wide area an object of our research. This area covers the range of longitude 1° 32' and latitude 1° 7' and is four times wider than a first stage research published in 1992. For this research, we performed GPS observations at 10 control point (seven astrogeodetic points, three triangulation points) and eight bench marks nearby control points, and then transformed the coordinates of WGS 84 to Korean geodetic system using the 7 parameter method, Molodensky method and MRE method. From this test, we compared the precision of the coordinate transformation by each method and checked which method is more applicable to Korea.

We could find that the precision by 7 parameter method is three times better than the other methods and that the coordinate transformation by 7 parameter method is possible with the precision of 0".017, 0".016, 0.329 m in latitude, longitude and height. We could check and correct the height blunder of the control points by the bench marks nearby control point. We also could find the precision of coordinate transformation is more improved by the correction of height blunder.

1. 서 론

우리나라의 측지망은 Bessel 1841 타원체에 입각한 측지좌표계에 기준하여 구성되어 있고, GPS에서는

WGS 1984라고 불리우는 세계측지계에 기준하여 좌표를 구현하고 있다. 그러므로 국내 지점들의 위치를 GPS 수신기로 측정하여 WGS 84 좌표를 결정한다고 하더라도 우리나라의 측지좌표계가 GPS와 다르기 때문에 GPS의 측정성과를 국내에서 곧바로 사용할 수 없다. 이 문제는 비록 우리나라만에 국한된 문제가 아니고 세계측지계를 현재 사용하지 않고 있는 나라

*천문대 선임연구원

**천문대 연구원

***충남대학교 토목공학과 교수

표 1. 10개 기준점의 우리나라 실용성과(신성과 기준)

기준점명(위치)	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)*	비 고
불국22(삼봉산)	35 55 50.911	129 26 12.755	290.66	천문점
상주23(학림산)	36 21 08.425	128 06 45.629	92.55	"
엄정25(내기대)	37 02 54.341	127 54 13.380	105.77	"
울진22(전 산)	36 57 01.155	129 25 06.067	54.07**	"
왜관21(우수봉)	35 58 31.053	128 19 54.795	468.20	"
영덕23(소하산)	36 22 08.054	129 23 38.218	150.16**	"
영주23(노인봉)	36 52 58.451	128 32 52.304	376.72**	"
의성25(시봉산)	36 18 57.131	128 36 24.321	291.90**	삼각점
화북21(산두봉)	36 13 58.780	128 52 52.976	718.95**	"
포항24(포항산)	36 03 11.030	129 22 13.911	70.94**	"

*우리나라 평균해수면으로부터의 높이.

**구성과 높이.

표 2. 8개 수준점 높이의 90년 1월 11일 고시성과와 GPS 관측을 위해 새롭게 결정한 수정성과

수준점명(점번호)	고시성과(m)	수정성과(m)
경주BM(12-1)	37.4181	38.2096
충주BM(16-22)	70.6219	71.6109
울진BM(12-40)	5.9339	5.8729
대구BM(교BM7)	43.8003	41.3356
영덕BM(12-20)	11.0587	11.0327
영주BM(교BM10)	146.4436	148.6061
화북BM(4-2-5-3)	360.2170	360.1050
포항BM(12-9)	24.8333	24.8333

에서 GPS를 사용할 경우 선결하여야 할 문제이다. 따라서 GPS로 측정된 위치측정 결과를 국내에서 적용시키기 위해서는 우리나라 측지계와 세계측지계를 상호변환할 수 있는 기술의 개발이 선행되어야 한다.

이 연구는 박필호 등이 충남북 일원의 경도 약 50분, 위도 약 30분에 해당하는 지역을 대상으로 수행하여 1992년에 발표한 좌표변환 연구¹⁾의 2단계 연구이다. 이 연구에서는 경상북도 전역과 충청북도 일부지역을 포함한 경도 1도 32분, 위도 1도 7분에 이르는 지역을 대상으로 좌표변환연구를 수행하였다. 이 연구의 대상 범위는 1단계 연구의 약 4배에 해당하며 이 지역에서 변환요소 방법의 적용성 여부를 검토하고자 한다.

2. 관 측

이 연구를 위해 우리나라 정밀 1차 기준점망에 속해

있는 10개의 기준점(7개의 천문점과 3개의 1등 삼각점)과 기준점 근처의 8개의 1등 수준점을 포함한 총 18개 측점에 대해 GPS 관측을 수행하였다. GPS 관측은 대덕연구단지내 한국과학기술대학에 건설한 천문대 GPS 관측소를 고정점으로 해서 다른 측점들을 관측하는 방식으로 실시되었다. 천문대 GPS 관측소는 현재 국제공동 GPS 관측망(IGS : International GPS & Geodynamics Service)에 "DAEN"이라는 이름으로 가입되어 우리나라를 대표하는 GPS 관측소로 활동하고 있다. 수준점의 경우 건물 등에 가려 GPS로 관측하기 어려운 곳이 많았기 때문에 수준점 근처에 관측하기 좋은 지점을 선택하여 GPS 관측을 수행하였다. 이 때 GPS 관측지점의 표고는 수준점으로부터 level로 수준측량을 하여 새롭게 결정하였다. 관측지점 중에서 측지점에 대한 우리나라 실용성과의 신성과는 표 1과 같고, 수준점의 높이에 대한 90년 1월 11일 고시성과 및 GPS 관측을 위하여 새롭게 결정한 수정성과는 표 2와 같다.

표 1에서 경도는 우리나라 성과에 일본의 동경원점 수정값 10.405초를 더해 준 것이다.²⁾ 그럼 1은 관측된 측지점들의 위치를 1 : 50000 기본도 지도점의 일람 표상에 나타낸 것이다. 이 관측에 사용된 GPS 장비는 천문대가 보유하고 있는 Trimble 4000SST 수신기 3대이며 관측은 하루에 측지점 3시간, 수준점 2시간씩 1일 2 session으로 8일간 표 3과 같이 수행되었다. 관측시 지평면 고도 10도 이상인 위성으로부터 L1과 L2의 주파수를 모두 수신하도록 수신기에 미리 입력하였다.

嚴政					
			榮州		蔚珍
	尙州		義城		盈德
				華北	浦港
		倭館			佛國

그림 1. 기준점의 1:00 기본도. 지도첩상에서 일람표.

표 3. 날짜별 관측시간과 관측지점

날짜	Session	관측시간 (KST)	관측지점
1992 7. 13	1951	11 : 00-14 : 00	DEAN-영주23-상주23
	1952	18 : 00-20 : 00	DAEN-영주BM
7. 14	1961	11 : 00-14 : 00	DEAN-왜관21-울진22
	1962	18 : 00-20 : 00	DEAN-대구BM-울진BM
7. 15	1971	11 : 00-14 : 00	DAEN-영덕23
	1972	18 : 00-20 : 00	DAEN-영덕BM
7. 16	1981	11 : 00-14 : 00	울진22-상주23
7. 17	1991	11 : 00-14 : 00	왜관21-영덕23-영주23
	1992	18 : 00-20 : 00	대구BM-영덕BM-영주BM
7. 22	2041	10 : 00-13 : 00	DAEN-불국22-엄정25
	2042	18 : 00-20 : 00	DAEN-경주BM-충주BM
7. 23	2051	10 : 00-13 : 00	불국22-울진22-엄정25
	2052	18 : 00-20 : 00	경주BM-울진BM-충주BM
1993 4. 5	0951	10 : 00-13 : 00	DAEN-의성25
4. 6	0961	10 : 00-13 : 00	DAEN-화북21
	0962	15 : 00-17 : 00	DAEN-화북BM
4. 7	0971	10 : 00-13 : 00	DAEN-포항24
	0972	14 : 00-16 : 00	DAEN-포항BM

3. 자료처리

관측자료는 Trimble의 자료처리 소프트웨어인 TRIMVEC-PLUS의 MBP-Single(Multi Baseline Processing Single) 방식에 의하여 Triple Difference

표 4. DAEN의 WGS 84 좌표와 정밀도

Session	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)
207	36 22 27.91454	127 21 57.87890	77.6019
208	36 22 27.91402	127 21 57.87889	77.6046
209	36 22 27.91438	127 21 57.87891	77.6099
210	36 22 27.91451	127 21 57.87876	77.6116
212	36 22 27.91467	127 21 57.87879	77.5932
214	36 22 27.91458	127 21 57.87873	77.6132
215	36 22 27.91454	127 21 57.87880	77.6028
216	36 22 27 91449	127 21 57.87871	77.5981
217	36 22 27.91465	127 21 57.87878	77.6116
218	36 22 27.91445	127 21 57.87888	77.6055
219	36 22 27.91453	127 21 57.87881	77.6066
220	36 22 27.91447	127 21 57.87894	77.6085
221	36 22 27.91446	127 21 57.87882	77.6104
222	36 22 27.91454	127 21 57.87875	77.6133
223	36 22 27.91458	127 21 57.87879	77.6130
평균	36 22 27.91449	127 21 57.87881	77.6069
표 준 편	0.00015	0.00007	0.0060
차			
오차	0.00004	0.00002	0.0015

L1/L2 ION Free 기법으로 처리되었다.

자료처리시 사용한 GPS 기준점은 천문대 GPS 관측소이며, 이 지점을 기준하여 방사형으로 각 측점까지의 상대위치와 각 지점의 WGS 84 좌표를 결정하였다. 기준점으로 사용된 GPS 관측소의 정밀좌표는 1991년 일본 Simosato 측지기준점과의 국제공동관측을 통하여 좌표가 이미 결정된 천문대내의 GPS 기준점으로부터 하루 24시간씩 15일 동안 GPS로 동시 관측하여 결정되었고³⁾ 그 결과는 표 4, 5와 같다. 이때의 자료처리는 SBP(Single Baseline Processing) 방식에 의한 Double Difference L1 기법을 사용하였다.

이 연구에서는 좌표변환에 앞서 GPS 측정치의 신뢰도를 검증하기 위하여 기선의 폐합차를 구하였다. 우리나라 실용성과 중에서 기준점의 높이성과는 수준점의 높이성과에 비하여 정밀도가 떨어진다. 과대 오차를 포함하고 있는 기준점의 성과를 가지고 변환 요소 방법에 적용할 경우 좌표변환 정밀도가 좋지 않게 된다. 이러한 현상을 막기 위하여 이 연구에서는 기준점 근처의 1등 수준점을 GPS로 관측하여 기준점 높이성과의 과대오차를 다음과 같은 방법으로 검출

표 5. 천문대내 기준점과 DAEN간의 상대거리와 DAEN의 X, Y, Z 좌표 및 정밀도

Session	거리(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
207	2772.4505	-3120422.950	4086355.671	3761769.611
208	2772.4658	-3120422.957	4086355.681	3761769.599
209	2772.4548	-3120422.956	4086355.678	3761769.612
210	2772.4522	-3120422.952	4086355.680	3761769.616
212	2772.4476	-3120422.942	4086355.665	3761769.609
214	2772.4504	-3120422.951	4086355.680	3761769.618
215	2772.4512	-3120422.948	4086355.673	3761769.611
216	2772.4533	-3120422.945	4086355.672	3761769.607
217	2772.4480	-3120422.951	4086355.677	3761769.619
218	2772.4530	-3120422.952	4086355.675	3761769.611
219	2772.4513	-3120422.950	4086355.676	3761769.613
220	2772.4519	-3120422.954	4086355.676	3761769.613
221	2772.4531	-3120422.953	4086355.679	3761769.614
222	2772.4515	-3120422.952	4086355.681	3761769.617
223	2772.4498	-3120422.952	4086355.679	3761769.618
평균	2772.4523	-3120422.951	4086355.676	3761769.613
표준편차	0.0042	0.004	0.004	0.005
오차	0.0011	0.001	0.001	0.001

표 6. 각 기준점의 h, N, H

기준점명	h(m)	N(m)	H(m)
불국22	291.66	-11.643	279.017
상주23	92.55	-19.453	73.097
엄정25	105.77	-24.173	81.597
울진22	54.07	-17.662	36.408
왜관21	468.20	-16.365	451.835
영덕23	150.16	-14.400	135.760
영주23	376.72	-20.672	356.048
의성25	291.90	-17.223	274.677
화북21	718.95	-15.641	703.309
포항24	70.94	-12.634	58.306

하여 보정하고자 하였다. 첫째, 기준점과 수준점의 WGS 84 타원체 면에서 지오이드까지의 높이를 구한 후 서로 비교하여 1m 이상의 차이가 나는 것을 기준점 높이성과의 과대오차를 판정하였고 이 과대오차를 수준점의 성과를 보정하였다. 둘째, 기준점 근처에 수준점이 GPS로 관측되지 않은 경우에는 미국의 Ohio State University에서 개발한 OSU91a 모델을 이용하여 구한 WGS 84 타원체와 지오이드간의 높이차와 GPS로부터 구한 높이차를 비교하여 이들 두

가지의 높이차가 서로 많이 다르게 나타나는 기준점은 높이성과에 과대오차가 포함되어 있다고 가정하였다. OSU91a 모델의 정밀도는 약 0.5m 이내라고 알려져 있다.⁴⁾

GPS 관측을 통해 결정된 7개 천문점의 WGS 84 좌표를 3가지 좌표변환 방법으로 처리하여 우리나라 측지계로 변환하고 그 결과를 우리나라 실용성과와 비교하므로써 좌표변환 방법에 따른 정밀도를 분석하였다. 좌표변환시 MRE 방법과 Molodensky 방법은 박필호 등이 1992년에 발표한 DMA식을 이용하였다.^{1.5-6)} 변환요소 방법을 사용할 경우 우리나라의 실용성과(경도, 위도, 고도)를 직교 좌표계로 변환할 때 필요한 Bessel 타원체면과 지오이드간의 높이차(N) 역시 DMA에서 제공한 식을 이용하여 구하였다.^{1.5-7)} 이 식을 이용하여 구한 각 기준점의 N값은 표 6과 같다. 자료처리의 순서와 흐름을 그림 2에 요약하였다.

4. 처리결과와 분석

GPS의 관측자료를 처리하여 구한 10개 기준점과 기준점 근처에 있는 8개 수준점의 WGS 84 좌표값을 각각 표 7과 8에 실었다. 이 표에서 높이는 WGS 84

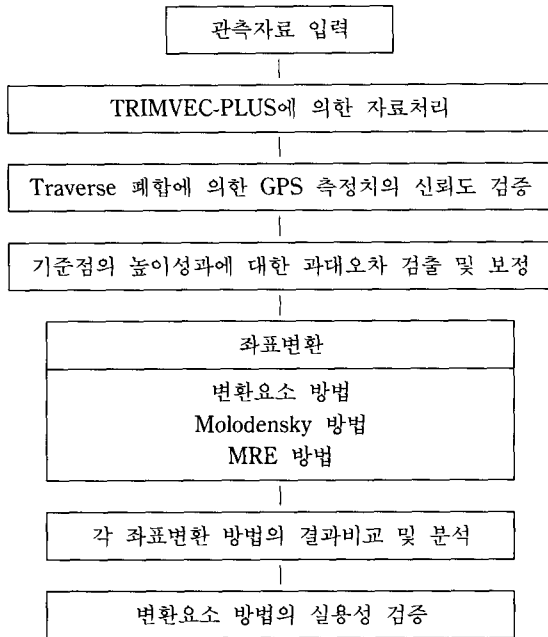


그림 2. GPS의 자료처리 흐름도.

타원체면에서 관측지점까지의 높이이다. 표 7에서 보듯이 천문대 GPS 관측소로부터 각 측점까지의 상대거리는 대부분 0.5 ppm 이내의 정밀도로 측정되었다. GPS 측정치의 신뢰도를 검증하기 위하여 각 기선을 폐합한 결과는 표 9와 같다. 표 9에서 보듯이 GPS 관측의 폐합정밀도는 약 0.2 ppm으로서 매우 정밀한 것으로 판단된다. 이들 좌표를 3가지의 좌표변환 방법을 이용하여 Bessel 좌표계로 변환하였다. 표 10은 WGS 84 좌표계를 Bessel 좌표계로 변환할 때 MRE

방법과 Molodensky 방법에 의하여 산출된 위도, 경도, 높이의 보정량이다. 이 보정량을 WGS 84 좌표에 더하면 우리나라 측지계에서의 좌표를 얻을 수 있다. 표 10에서 ΔH 는 세계타원체와 Bessel 타원체간의 높이차를 의미한다.

기준점 높이의 과대오차를 검출하기 위한 기준점과 인근 수준점의 높이차를 표 11에 나타냈다. 표 11에서 보듯이 수준점의 경우 이들 두 가지 높이차가 0.5 m 이내이나 기준점 중에서 울진22, 화북21은 1 m 이상으로 나타났다. 우리나라 수준점의 성좌가 비교적 정밀한 점을 감안할 때 기준점의 이러한 높이차는 이들 기준점의 높이성좌에 과대오차가 포함되어 있다는 가정을 뒷받침 하기에 무리가 없다고 판단된다.

따라서 이들 2지점의 과대오차를 다음과 같이 보정한 후 변환요소 방법을 적용하였다. 기준점의 WGS 84 타원체면과 지오이드간의 높이차(표 11의 ③)에서 수준점의 WGS 84 타원체과 지오이드간의 높이차(⑦)를 뺀 +3.103 m와 -1.596 m를 각각 울진22와 화북21의 높이성좌(②)에 인위적으로 더하여 실용성좌의 높이를 보정하였다.

7개 천문점에 대해 변환요소 방법으로 산출한 7개 좌표변환요소는 표 12와 같다. 표 13은 3가지 좌표변환 방법을 이용하여 WGS 84 좌표를 우리나라 측지계의 좌표로 변환한 결과를 우리나라의 실용성좌와 비교한 것이다. 표 13에서 울진 22의 실용성좌 높이는 과대오차를 보정한 것이고 괄호속의 양은 과대오차를 보정하지 않은 것이다. 표 14는 각각의 방법을 이용하여 변환한 좌표값과 실용성좌의 차이를 나타낸 것이다.

표 7. GPS 관측에 의해 결정된 10개 기준점의 WGS 84 좌표와 천문대 GPS 관측소로부터 각 기준점까지의 상대거리 및 거리측정 정밀도

기준점명	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)	상대거리와 1σ(m)
불국22	35 56 01.69490	129 26 04.45715	319.825	192447/6819 (0.0575)
상주23	36 21 19.03692	128 06 37.72206	119.985	66841.3196 (0.0336)
언정25	37 03 04.69393	127 54 05.58028	131.888	89057.3507 (0.0351)
울진22	36 57 11.55085	129 24 57.75491	86.074	194189.7169 (0.0825)
왜관21	35 58 41.85714	128 19 46.80375	496.212	97197.7072 (0.0338)
영덕23	36 22 18.65970	129 23 29.93880	179.911	181763.2911 (0.0415)
영주23	36 53 08.83749	128 32 44.27389	404.654	119795.6109 (0.0360)
의성25	36 19 07.75815	128 36 16.28269	320.144	111344.7393 (0.0242)
화북21	36 14 09.44491	128 52 44.84654	746.766	136766.5060 (0.0142)
포항24	36 03 21.76269	129 22 05.63616	100.740	183455.8954 (0.0165)

표 8. GPS 관측에 의해 결정된 8개 수준점의 WGS 84 좌표와 천문대 GPS 관측소로부터 각 수준점까지의 상대거리 및 거리측정 정밀도

수준점명	위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)	상대거리와 1σ(m)
경주BM	35 52 02.55519	129 13 31.10727	67.790	176574.3422 (0.0580)
충주BM	36 57 44.48370	127 53 53.35118	98.172	80742.3883 (0.0622)
울진BM	36 57 45.35517	129 23 39.76227	34.774	192702.4465 (0.0600)
대구BM	35 53 27.46216	128 35 59.57624	70.992	123333.5545 (0.0637)
영덕BM	36 24 45.05466	129 22 08.54333	40.588	179735.3308 (0.0371)
영주BM	36 49 43.14071	128 37 33.30799	177.184	123478.8463 (0.0499)
화북BM	36 13 41.86044	128 53 51.66787	389.516	138521.6055 (0.0232)
포항BM	36 04 33.91510	129 20 37.93600	54.4063	180864.1706 (0.0145)

표 9. GPS 측정치의 Traverse에 의한 기선폐합 결과

기선	출발점	종료점	WGS 84 좌표			Traverse거리(m)
			위도(도분초)	경도(도분초)	높이(m)	
Traverse 시작점 DAEN			36 22 27.91450	127 21 57.87882	77.607	
1	DAEN	불국22	35 56 01.69494	129 26 04.45641	319.839	192447.664
2	불국22	울진22	36 57 11.54575	129 24 57.77146	86.170	305582.564
3	울진22	상주23	36 21 19.03296	128 06 37.73771	120.108	439854.366
4	상주23	영주23	36 53 08.83360	128 32 44.28851	404.775	510432.369
5	영주23	영덕23	36 22 18.65514	129 23 29.94185	179.850	605190.630
6	영덕23	왜관21	35 58 41.85384	128 19 46.80815	496.194	710242.049
7	왜관21	울진22	36 57 11.54571	129 24 57.76216	86.060	855794.963
8	울진22	엄정25	37 03 04.69201	127 54 05.58091	131.761	991035.891
9	엄정25	DAEN	36 22 27.91239	127 21 57.87606	77.416	1080093.290
Traverse 종료점 DAEN			36 22 27.91239	127 21 57.87606	77.416	1080093.290
종료 DAEN - 시작 DAEN			$d\phi = -0.00211$ 초	$d\lambda = -0.00276$ 초	$dh = -0.191$ m	
			$dx = 0.125$ m	$dy = -0.050$ m	$dz = -0.166$ m	
Traverse 정밀도			$(dx^2 + dy^2 + dz^2)^{1/2} \div$ Traverse 거리 = 0.20 ppm			

표 10. MRE와 Molodensky 방법에 의하여 계산된 위도, 경도, 높이의 보정량

기준점명	MRE 보정량			Molodensky 보정량		
	$\Delta\phi$ (초)	$\Delta\lambda$ (초)	ΔH (m)	$\Delta\phi$ (초)	$\Delta\lambda$ (초)	ΔH (m)
불국22	-10.901	8.095	-41.467	-10.870	8.245	-39.311
상주23	-10.665	7.864	-46.914	-10.609	7.867	-45.505
엄정25	-10.279	7.788	-51.771	-10.308	7.871	-49.993
울진22	-10.413	8.054	-47.923	-10.452	8.347	-45.212
왜관21	-10.868	7.932	-43.835	-10.778	7.899	-42.728
영덕23	-10.701	8.073	-44.393	-10.689	8.277	-41.976
영주23	-10.387	7.941	-49.627	-10.420	8.061	-47.300

표 11. 높이의 과대오차를 검출하기 위한 기준점과 인근 수준점의 높이차 비교

(단위 : m)

측점	기준점					측점	수준점				
	WGS84 H	실용성과	①-②	OSU91A	③-④		WGS84 H	실용성과	⑤-⑥	OSU91A	⑦-⑧
	①	높이h ②	③	④			⑤	높이h ⑥	⑦	⑧	
불국22	319.825	290.66	29.165	29.619	-0.454	경주BM	67.790	38.210	29.580	30.002	-0.422
상주23	119.985	92.55	27.435	27.700	-0.265						
업정25	131.888	105.77	26.118	26.333	-0.215	충주BM	98.172	71.611	26.561	26.457	0.104
울진22	86.074	54.07	32.004	28.813	3.191	울진WJ	34.774	5.873	28.901	28.854	0.047
왜관21	496.212	468.20	28.012	28.550	-0.538	대구BM	70.992	41.336	29.656	29.312	0.344
영덕23	179.911	150.16	29.751	29.391	0.360	영덕BM	40.588	11.033	29.555	29.394	0.161
영주23	404.654	376.72	27.934	28.528	-0.594	영주BM	177.184	148.606	28.578	28.752	-0.174
의성25	320.144	291.90	28.244	28.846	-0.602						
화북21	746.766	718.95	27.816	29.582	-1.766	화북BM	389.517	360.105	29.412	29.623	-0.211
포항24	100.740	70.94	29.800	29.721	0.079	포항BM	54.406	24.833	29.573	29.756	-0.183

표 12. 변환요소 방법에 의하여 산출된 7개 좌표변환요소와 표준편차

	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\epsilon(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	S
산출값	158.279	-475.756	-622.381	-3.902	-2.145	3.443	0.999997790
1 σ	25.181	22.543	31.261	.711	.738	.871	.000002782

표 13. 3가지 좌표변환 방법에 의하여 변환된 좌표와 실용성과의 비교(높이는 Bessel 타원체면에서 측점까지의 높이)
(단위 : 경위도(도분초), 높이(m))

측점	좌표성분	실용성과 ①	변환요소방법 ②	MRE 방법 ③	Molodensky 방법 ④
불국22	위도	35 55 50.911	35 55 50.908	35 55 50.793	35 55 50.825
	경도	129 26 12.755	129 26 12.771	129 26 12.552	129 26 12.702
	높이	279.017	278.451	278.358	280.514
상주23	위도	36 21 8.425	36 21 8.408	36 21 8.372	36 21 8.428
	경도	128 6 45.629	128 6 45.619	128 6 45.586	128 6 45.589
	높이	73.097	73.221	73.071	74.480
업정25	위도	37 2 54.341	37 2 54.386	37 2 54.415	27 2 54.386
	경도	127 54 13.380	127 54 13.401	127 54 13.368	127 54 13.451
	높이	81.597	81.224	80.117	81.895
울진22	위도	36 57 1.155	36 57 1.174	36 57 1.138	36 57 1.099
	경도	129 25 6.067	129 25 6.053	129 25 5.809	129 25 6.102
	높이	(36.405) 39.508	39.561	38.151	40.862
왜관21	위도	35 58 31.053	35 58 31.079	35 58 30.989	35 58 31.079
	경도	128 19 54.795	128 19 54.774	128 19 54.736	128 19 54.703
	높이	451.835	451.865	452.377	453.484

표 13. continued

측점	좌표성분	실용성과 ①	변환요소방법 ②	MRE 방법 ③	Molodensky 방법 ④
영덕23	위도	36 22 8.054	36 22 8.048	36 22 7.959	36 22 7.971
	경도	129 23 38.218	129 23 38.235	129 23 38 012	129 23 38.216
	높이	135.760	136.213	135.518	137.935
영주23	위도	36 52 58.451	36 52 58.427	36 52 58.451	36 52 58.418
	경도	128 32 52.304	128 32 52.299	128 32 52 215	128 32 52.335
	높이	356.048	356.323	355.027	357.354

표 14. 3가지 좌표변환 방법에 의하여 변환된 좌표와 실용성과(①)의 차이
[변환요소 방법(②), MRE 방법(③), Molodensky 방법(④)]

측점	①-②			①-③			①-④		
	위도(초)	경도(초)	높이(m)	위도(초)	경도(초)	높이(m)	위도(초)	경도(초)	높이(m)
불국22	0.003	-0.016	0.566	0.118	0.203	0.659	0.086	0.053	-1.497
상주23	0.017	0.010	-0.124	0.053	0.043	0.026	-0.003	0.040	-1.383
엄정25	-0.004	-0.021	0.373	-0.074	0.012	1.480	-0.045	-0.071	-0.298
울진22	-0.019	0.014	-0.053	0.017	0.258	1.357	0.056	-0.035	-1.354
왜관21	-0.026	0.021	-0.030	0.064	0.059	-0.542	-0.026	0.092	-1.649
영덕23	0.006	-0.017	-0.453	0.095	0.206	0.242	0.083	0.002	-2.175
영주23	0.024	0.004	-0.275	0.000	0.089	1.021	0.033	-0.031	-1.306
1σ	0.017	0.016	0.329	0.071	0.153	0.915	0.055	0.054	1.475

표 14에서 좌표성분별 표준편차는 좌표성분의 차이량을 성분별로 제공하여 관측지점의 수 7로 나눈값의 평방근이다. 표 14에서 보듯이 변환요소에 의한 좌표 변환 결과의 표준편차는 경도, 위도, 높이에서 각각 0.017초, 0.016초, 0.329m로서 다른 두 가지 방법에 비하여 3배 이상 좋게 나타났으며 Molodensky 방법이 MRE 방법보다 높이를 제외한 평면좌표에서 좌표변환 정밀도가 더 좋게 나타났다.

변환요소 방법의 실용성 검증을 위하여 7개 천문점으로 구성된 측지망내에 위치한 3개의 삼각점을 임의로 선택하여 GPS 관측을 실시하였다. 그리고 7개 천문점으로부터 구한 표 12의 좌표변환요소를 이들 3개의 WGS 84 좌표에 적용하여 실용성과와 비교하였으며 그 결과를 표 15에 나타냈다. 표 15에서 보듯이 3개 삼각점의 좌표변환 결과는 천문점의 좌표변환 정밀도를 그대로 유지함을 알 수 있다. 즉, 어느 임의지역의 외곽지점으로부터 구한 좌표변환요소를 그 지역의 내부에 있는 어떤 지점에 적용하더라도 좌표

변환 정밀도는 외곽지점으로부터 구한 정밀도를 그대로 유지할 수 있다는 것이 실증된다.

5. 결 론

경상북도 전체와 충청북도 일부를 포함하는 지역을 대상으로한 좌표변환 관계를 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 경도 약 1도 30분, 위도 약 1도에 해당하는 넓은 지역에서도 변환요소 방법을 이용하면 표준편차가 위도, 경도, 높이에서 각각 0.017초, 0.016초, 0.329 m인 정밀도로 좌표변환이 가능하였다.

2) 변환요소 방법에 의한 좌표변환은 미국의 DMA에서 제공한 MRE나 Molodensky 방법보다 좌표변환 정밀도가 3배 이상 우수한 것으로 나타났다.

3) 기준점과 근처의 수준점을 GPS로 동시에 관측 하므로써 기준점 높이성과의 과대오차를 검출할 수 있었고 이러한 과대오차를 보정하면 좌표변환 정확

표 15. 변환요소 방법의 실용성 검증을 위한 좌표변환 정밀도 비교

(단위 : 경위도(도분초), 높이(m))

측점	좌표성분	GPS 좌표	실용성과* ①	변환된 지표 ②	①-②
의성25	위도	36 19 07.758	36 18 57.131	36 18 57.119	0.012
	경도	128 36 16.283	128 36 24.321	128 36 24.334	-0.013
	높이	320.144	(291.90) 274.677	274.754	-0.077
화북21	위도	36 14 09.445	36 13 58.780	36 13 58.776	0.004
	경도	128 52 44.847	128 52 52.976	128 52 52.984	-0.008
	높이	746.766	(715.35) 701.709**	702.465	-0.756
포항24	위도	36 03 21.763	36 03 11.030	36 03 11.024	0.006
	경도	129 22 05.636	129 22 13.911	129 22 13.929	-0.018
	높이	100.740	(70.94) 58.306	58.575	-0.269
표준편차	위도				0.008
	경도				0.014
	높이				0.465

*실용성과 중 () 안의 높이는 평균해수면에서의 높이(h)이고 () 밖의 높이는 Bessel 타원체면에서의 높이(H)이다.
 **화북21의 실용성과 높이는 과대오차량 -1.596 m 보정한 것임.

도가 훨씬 더 좋아졌으므로 향후 좌표변환 연구를 위해서는 기준점과 수준점을 동시에 GPS로 관측하여 과대오차를 보정한 후 좌표변환하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4) 이 연구에 이어 우리나라 전역을 대상으로한 GPS 관측을 실시하여, 변환요소 방법으로 좌표변환 요소를 재산출하고 적용성 여부를 검토한다면 국내에 GPS 실용화를 앞당기기 위한 좌표변환 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구에 필요한 자료를 제공해 주신 국립지리원 측지과 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박필호, 한인우, 이용창, 강준목, "GPS 실용화를 위한

- 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(I)", 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, p. 41.
2. 최재화, 김세걸, 최윤수, "우리나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제8권, 1호, 1990, p. 1.
3. 박필호, 한인우, 김천취, 강준목, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제1호, 1991, p. 73.
4. Dennis, G., Milbert, "GPS and Geoid90-The New Level Rod", GPS World February 1992, p. 38.
5. Defense Mapping Agency, "Department of Defense World Geodetic System 1984", DMA TR 8350.2, 2nd Edition, 1991.
6. Defense Mapping Agency, "Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report: Part I", DMA TR 8350.2-A, 1987.
7. Defense Mapping Agency, "Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report: Part I", DMA TR 8350.2-B, 1987.