

GPS 상시관측소 활용에 있어 고정방법이 절대위치에 미치는 정밀도 분석

Precision Analysis of Fixing Methods Use in the GPS Continuous Station

정영동* · 강상구** · 박보연***
Jung, Young Dong · Kang, Sang Gu · Park, Bo Yeon

*조선대학교 토목공학과 교수(Tel:062-230-7091, E-mail:ydjung@mail.chosun.ac.kr)
**조선대학교 토목공학과 시간강사(Tel:062-230-7848, E-mail:gps8829@empal.com)
***조선대학교 토목공학과 석사과정(Tel:062-230-7848, E-mail:boyun1000@hanmail.net)

요 旨

국토공간정보의 기반인 수치지도 제작을 위해서는 위치에 대한 정확한 정보가 요구되며 이러한 정보는 GPS를 이용한 방법이 대표 시 되고 있다. 우리나라도 GPS를 이용한 위치결정 방법의 효율성과 정확성을 확보하기 위해 전국토에 걸쳐 24시간 위성데이터를 취득할 수 있는 70여개의 GPS 상시관측소를 설치 운영하고 있다.

따라서 본 연구는 GPS 상시관측소 데이터의 효과적인 활용 방안을 모색하기 위해 행정자치부와 국리지리원에서 설치 운영하며 호남권에 위치한 5곳의 상시관측소를 대상으로 각기 고정위치를 달리하여 기선해석과 망조정을 수행하여 고정위치에 따른 3차원 절대좌표의 정밀도를 분석하였다. 현재 행정자치부의 3곳의 상시관측소 절대위치는 고시 되지 않아 국립지리원 고시 성과를 기준으로 고시성과와 계산성과의 3차원 절대좌표를 비교하였다.

1. 서론

효율적인 국토관리 및 모니터링을 위해서는 국토지형에 대한 수치화 사업과 공간정보에 대한 획득이 필수적이다. 전자정보통신의 발달과 각종 인공위성을 이용한 범지구적 모니터링과 위치결정은 나라마다 각기 다르게 결정된 측지기준계를 지구 중심에 대한 단일 측지기준계로 일원하는 추세로 변화되고 있다.

현행 우리나라 측지계상에서는 GPS측량을 통해 결정된 3차원 위치는 곧바로 활용할 수 없는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제는 우리나라 측지기준계는 베셀(Bessel)타원체를 기준으로 하고, GPS 기준계는 WGS84 측지계를 이용하기 때문으로 2001년 측량법 개정을 통해 2003년부터 우리나라 좌표계를 세계측지계인 ITRF로 전환하여 재구성된 KTRF 다시 말해 한국 지구중심 측지기준계(Korea

Terrestrial Reference Frame)를 도입할 계획이며 KTRF는 WGS84 측지좌표계와 상호 연계하기가 용이하며, GPS 측량성과에 대해 별다른 변환과정을 거치지 않고 곧바로 이용할 수 있다. 이 때문에 국립지리원에서는 2007년까지 현행 좌표계와 세계지심좌표계를 병행해서 사용하고 2007년 이후부터는 지구중심 좌표계로 전면 전환하는 정책을 결정하였다.

따라서 GPS를 이용한 측량의 적극적인 활용과 정확도 확보를 위해서는 기존 삼각점을 대신할 수 있는 또 다른 전자기준점을 전 국토에 고른 밀도로 설치 운영해야 한다. 우리나라는 1985년 한국천문연구원을 시작으로 국립지리원, 행정자치부, 한국전력공사, 해양수산부 등 여러 기관에서 약 70여개의 GPS 상시관측소를 설치 운영하고 있다. 하지만 각기 서로 다른 목적으로 설치된 상시관측소 데이터는 유기적으로 결합되지 못하고 그 이용 수준도 미미해 GPS 상시관측소의 효과적인 활용 방안이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 여러 GPS상시관측소 중 측량과 직접 관련된 국립지리원과 지적측량을 위해 행정자치부에서 설치한 호남지역 5곳의 상시관측소 데이터를 이용해 각기 고정위치를 달리하여 기선해석과 망조정을 수행하여 고정위치에 따른 3차원 절대좌표의 정밀도를 분석하였다. 현재 행정자치부의 3곳의 상시관측소 절대위치는 고시되지 않아 국립지리원 고시 성과를 기준으로 고시성과와 계산성과의 3차원절대좌표를 비교하여 GPS 상시관측소간의 상호 활용 방안을 모색하고자 하였다.

2. GPS 상시관측소

현재 전 세계적으로 설치되어 운용되고 있는 GPS 기준망(Reference Network)은

약 400개의 GPS 기준점으로 구성되며, 약 1,400개의 GPS 기준점 설치 및 운영을 계획 중에 있다. 국내의 경우 국립지리원, 행정자치부, 천문연구원 등에서 총 70여개의 상시관측소를 운영하고 있다. 미국, 유럽, 일본 등을 필두로 하는 선진 외국에서는 1990년대 초에 이미 GPS 상시관측망을 구성하고 위치를 기반으로 하는 각종 서비스와 측지측량은 물론 지리정보 분야에도 확대하여 활용하고 있다. 이 때문에 GPS 상시관측소의 기능은 다양한 이용자에게 다량의 정보를 신속히 제공할 수 있도록 계획하여 설치하여야 한다.

또한 GPS 상시관측소는 인공위성에서 발생하는 각종 오차 보정정보 산출과 시스템 감시 및 시스템 보안기능이 구비되어야 하며, 타 기관 시스템과의 데이터 통신과 관측자료의 호환성 확보가 필수적이다.

국내의 경우 국가적인 GPS상시관측소의 설치운영과 ITRF좌표의 산출을 위한 노력에 힘입어 현재 국립지리원이 설치하고 관할하는 전국 14곳의 GPS 상시관측소 절대좌표가 ITRF97 좌표로 고시되고 있다. 그러나 상시관측소를 이용한 GPS측량이 실용화되기 위해서는 상시관측소의 설치간격을 원하는 정확도, 관측소요시간, 관측신호의 종류 등을 고려하여 적절히 설치하여야 하며, 상시관측소와 이동국(사용자)간의 관측 데이터를 전송하기 위한 통신수단이 선정되어야 한다.

3. 적용 및 결과 분석

3.1 기선해석

본 연구에서 이용된 상시관측소 GPS데이터는 국립지리원과 행정자치부의 지적과에서 취득한 RINEX 자료 중 2002년 11

월 22일 08시를 시작으로 해서 2002년 11월 23일 08시까지의 24시간 데이터를 제공받아 이용하였다.

기선해석을 수행하기 위해 이용된 프로그램은 Trimble Geomatics Office 소프트웨어인 TGO(ver1.5)을 이용하였으며, 케도력은 IGS(International GPS Services)에서 인터넷으로 제공하는 정밀 케도력인 SP3를 이용하여 기선을 처리하였다.

아직 결정되지 않은 YONK, SONC, JAHG점의 3차원 절대위치를 결정하기 위해서는 각 측정점간의 3차원 벡터를 결정하고 신뢰도를 분석해야 하는데 이는 기선해석과 망조정을 통해 이루어진다.

표3.1 각 기선별 기선해석 내용

From Stn.	To Stn.	Baseline(m)	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS (m)
JUNJ	YONK	84105.283	Fixed	2.347	2.429	0.023
KWNJ	YONK	37530.856	Fixed	21.871	1.336	0.018
YONK	SONC	95299.823	Fixed	8.819	3.390	0.020
YONK	JAHG	75515.180	Fixed	4.127	1.400	0.014
JUNJ	KWNJ	76558.874	Fixed	22.340	1.052	0.012
JUNJ	SONC	103338.542	Fixed	8.271	2.374	0.020
JUNJ	JAHG	131355.875	Fixed	8.642	6.953	0.031
KWNJ	SONC	57964.637	Fixed	13.833	1.184	0.015
KWNJ	JAHG	55814.554	Fixed	9.481	1.413	0.018
SONC	JAHG	62126.372	Fixed	3.884	1.267	0.014

표 3.1은 KWNJ를 고정하여 각 측정점에 대해 기선해석한 결과이다. 전체적으로 기선해석 결과가 양호하게 나타났지만, 이중국립지리원 상시관측소간의 연결된 기선인 JUNJ~KWNJ간의 기선은 Ratio가 22.340, Reference Variance가 1.052, RMS는 0.012m로 다른 기선에 비해 매우 양호한 결과로 나타났다. 정수파수 결정비인 Ratio는 모든 기선에서 1.5이상으로 나타났지만, 현장에 장애가 있는 것으로 판단되는 기선은 Reference Variance값이 모두 2이상으로 나타난 JUNJ~YONK, YONK~SONC, JUNJ~SONC, JUNJ~

JAHG기선으로 각각의 기선에 대한 Reference Variance값이 2.149, 3.390, 2.374, 6.953로 나타났으며, 이는 거리가 80km이상인 기선에 해당된다. 또한 거리가 약 131km로 가장 긴 JUNJ~JAHG기선에서 기준분산 값이 가장 크게 나타났고, RMS 또한 기선거리가 가장 긴 JUNJ~JAHG기선에서 0.031m로 가장 크게 나타나 일반적으로 기선거리가 일정 한도를 초과하게 되면 Reference Variance나 RMS값 모두 증가한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 향후 상시관측소를 고정으로 3차원 절대위치를 결정하고자 할 때 기선 거리에 따라 적용범위를 제한하여 상시관측소를 고정하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 절대좌표 결정

기선해석을 통해 결정된 각 기선에 대한 3차원벡터에 대해 신뢰성을 부여하여 최적의 3차원 절대좌표를 결정하기 위해서는, 먼저 우연오차의 추정과 제거를 통해 단일해를 구하고 관측치에 적용하는 보정치를 최소화시키기 위해 망조정을 수행한 다음 추정 정밀도를 분석하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서 최소제약조정인 자유망 조정을 통해 망폐합에 대한 종합통계수치가 수용 가능한가를 분석한 후 KWNJ점을 고정으로 하는 고정망 조정을 통한 망조정으로 각 측정점에 대한 3차원 절대 좌표를 결정하였다. 각 폐합망의 수평 및 수직오차를 비교해 보면 수평에 대한 오차범위는 최소 0.001m에서 최대 0.011m로 분포해 매우 양호하게 나타났고, 수직오차에 대한 오차범위는 수평오차에 비해 그 분포가 크게 나타났지만 평균적으로 매우 양호하게 나타났으며, 수직오차에 대한 최대값은 0.019m로 발생하였다. 각 폐합망에 대한 전체 정확도는 최소

0.008ppm에서 최대 0.082ppm의 분포로 발생하였고 평균적으로 모든 루프(loop)가 0.04ppm의 정확도로 폐합망이 구성됨을 알 수 있다.

표 3.2 망폐합 구성의 오차와 정확도

Loop(number)	ΣDistance	ΔH	ΔV	Accuracy (ppm)
SONC-JAIG-JUNJ-SONC (I)	23620.788m	0.009m	-0.008m	0.040
SONC-JAIG-KWNJ-SONC (II)	175005.563m	0.001m	0.003m	0.016
SONC-KWNJ-JUNJ-SONC (III)	237862.053m	0.002m	-0.005m	0.024
JAIG-JUNJ-KWNJ-JAIG (IV)	363729.303m	0.011m	-0.006m	0.045
JAIG-JUNJ-YONK-JAIG (V)	290976.343m	0.009m	-0.019m	0.074
JAIG-KWNJ-YONK-JAIG (VI)	168860.590m	0.002m	-0.014m	0.082
JUNJ-KWNJ-YONK-JUNJ (VII)	198195.018m	0.001m	0.001m	0.008
Mean Value				0.04

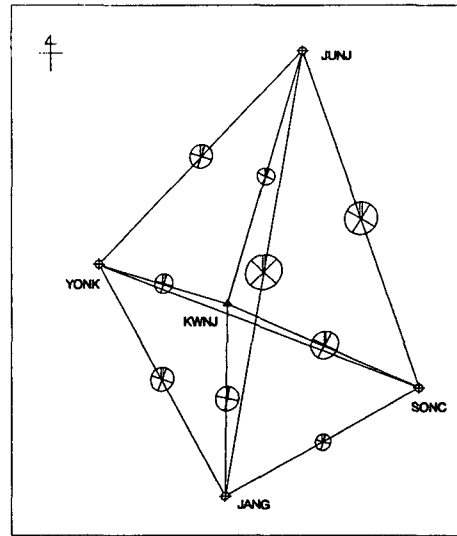


그림 3.2 KWNJ점 고정오차타원

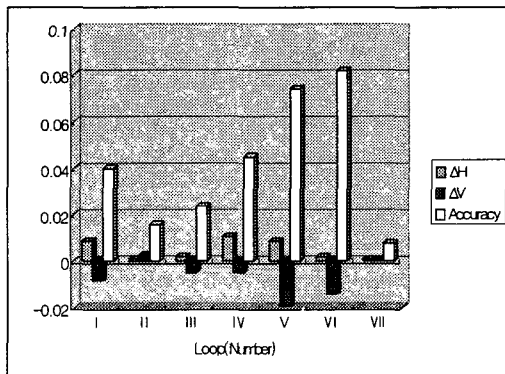


그림 3.1 망폐합 오차 그래프

또한 각 측점에 대한 3차원 절대 좌표를 구하기 위해 KWNJ점을 고정으로 하는 고정망 조정을 수행하였다. 광주점을 고정으로 기선해석과 망조정을 수행한 후 각 측점에 대한 WGS84 3차원 절대좌표를 계산한 결과는 표 3.3 에서 3.4와 같다.

그림 3.2는 KWNJ점 고정에 의한 망구성과 오차타원을 나타내는 그림이다.

표 3.3 각 측점에 대한 WGS84 좌표(LLH)

Station	Coordinates(WGS84) : LLH		
	Latitude 1σ	Longitude 1σ	Height 1σ
KWNJ	35°10' 42.16084" ± 0.000m	126°54' 36.85343" ± 0.000m	71.173m ± 0.003m
JUNJ	35°50' 36.43691" ± 0.001m	127°08' 06.45075" ± 0.001m	76.726m ± 0.004m
YONK	35°16' 42.91084" ± 0.001m	126°30' 59.29654" ± 0.001m	99.561m ± 0.004m
SONC	34°57' 26.94473" ± 0.001m	127°29' 10.08716" ± 0.001m	43.184m ± 0.004m
JAIG	34°40' 31.26536" ± 0.001m	126°53' 58.45633" ± 0.001m	116.329m ± 0.004m

표 3.4 각 측점에 대한 WGS84 좌표(XYZ)

Station	Coordinates(WGS84) : XYZ		
	X 1σ	Y 1σ	Z 1σ
KWNJ	-3134404.500m ± 0.000m	4173081.947m ± 0.000m	3654101.001m ± 0.003m
JUNJ	-3124886.912m ± 0.001m	4125580.586m ± 0.001m	3714170.190m ± 0.004m
YONK	-3101848.796m ± 0.001m	4180388.938m ± 0.001m	4163198.980m ± 0.004m
SONC	-3184745.251m ± 0.001m	4152521.211m ± 0.001m	4134027.088m ± 0.004m
JAIG	-3152833.463m ± 0.001m	4190245.552m ± 0.001m	4108372.416m ± 0.004m

3.3 고정위치별 절대좌표 비교

각 측점에 대한 3차원 절대좌표는 KWNJ점을 고정으로 결정된 좌표이기 때문에 만약 고정되는 측점이 달라지게 되면 각 측점에 대한 절대좌표에 변화가 발생할 것이다. 이에 대한 정확도 변화를 분석하기 위해 KWNJ점을 제외한 4점을 순차적으로 고정하는 방식으로 망조정을 수행하여 각 측점의 3차원 절대좌표를 계산하였다. KWNJ점을 고정으로 결정된 3차원 절대좌표에 대해 상대적인 각 축의 좌표차를 비교하고 각 측점에 대한 3차원 표준편차를 계산하여 비교·분석하였다.

표 3.5에 JUNJ점을 고정으로 한 각 측점에 대한 좌표차를 성분별로 표현하였다. 또한 3차원 좌표의 각 축에 대한 변화량을 그림 3.3에 도시하였다.

표 3.5 JUNJ점 고정 좌표차

Fixed : JUNJ To Station	Difference X, Y, Z Component(m)			3-D RMSE(m) $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$
	σ_x	σ_y	σ_z	
KWNJ	0.1010	-0.2977	-0.1608	0.3561
YONK	-0.260	-0.4274	-0.2374	0.5536
SONC	0.1701	-0.3257	-0.0638	0.3729
JAHG	0.3394	0.5832	0.0465	0.6781
MEAN				0.4902

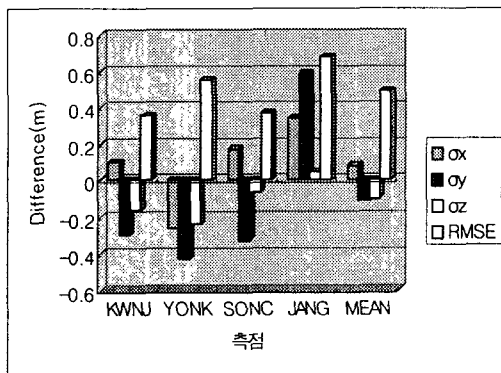


그림 3.3 JUNJ점 고정 좌표변화 비교

KWNJ점을 고정으로 결정된 3차원 좌표를 기준 값으로 하여 JUNJ점 고정에 의한 좌표 차를 각 축에 대해 비교하면 X축에 있어서는 양의 방향으로 평균 0.08m 정도 변화가 있었으며, Y와 Z축 방향 모두 음의 방향으로 평균 0.1m 정도의 차이를 보이고 있으며 전반적으로 $\pm 0.4902m$ 의 3차원 표준편차로 나타났음을 알 수 있다.

위와 같은 방법으로 고정위치별 각 관측소에 대한 3차원 표준편차는 표 3.6과 같다.

표 3.6 고정위치별 3차원 표준오차

Fixed Station	Check Station	3D RMSE(m)
JUNJ	KWNJ	0.03561
	YONK	0.5536
	SONC	0.3729
	JAHG	0.6781
	Mean	0.4902
SONC	KWNJ	0.3524
	YONK	0.9373
	JUNJ	0.3931
	JAHG	0.1215
	Mean	0.4511
JAHG	KWNJ	0.3768
	YONK	0.4750
	JUNJ	0.9340
	SONC	0.1146
	Mean	0.4751
YONK	KWNJ	0.2369
	SONC	0.7278
	JUNJ	0.5893
	JAHG	0.2425
	Mean	0.4491
Total Mean Value		0.4664

전체적인 표준편차가 $\pm 0.4664m$ 로 다소 크게 발생하였는데 그 원인을 비교 분석해 보면 JUNJ점을 고정으로 하는 각 측점에 대한 3차원 절대좌표를 KWNJ점에 대한 고정좌표와 상대적으로 비교해 보면 3차원 표준편차가 $\pm 0.4902m$ 로 다른 고정점에 비해 큰 편차를 보였다. 이는 고정이 되는 JUNJ점이 모든 측점에서 가장 멀리 떨어져 있기 때문인 것으로 판단되며 이

것은 또한 GPS 상시관측소의 고정에 의한 관측데이터 처리시 거리에 대한 범위를 제한하여 처리하여야 해야 함을 의미한다. 또한 고정된 측정점과 구하고자 하는 측정점에 구성되는 망의 기하학적 형태에 따라서도 위치에 대한 변화에 영향을 주는 것으로 판단된다. 국립지리원에서 고시한 광주, 전주 상시관측소에 대한 성과와 본 연구에서 결정된 성과와의 차는 표 3.7과 같다.

표 3.7 고시성과와 계산성과 비교

명칭	좌표	고시성과(m) (ITRF97)	계산성과(m) (WGS84)	차이(m)
KWNJ (광주)	X	-3134404.508	-3134404.500	0.008
	Y	4173081.939	4173081.947	-0.008
	Z	3654101.003	3654101.001	0.002
JUNJ (전주)	X	-3124886.919	-3124886.912	0.007
	Y	4126580.577	4126580.585	-0.008
	Z	3714170.192	3714170.190	0.002

KWNJ점을 중심으로 한 방사형의 관측망을 기준으로 결정된 각 측정점에 대한 절대 좌표를 국립지리원 고시 성과에 대해 각 축의 좌표차를 비교해 보면 X, Y축 방향에 모두 0.008m의 미소한 차이가 났고, Z축 방향 또한 0.002m의 차이를 보였다. 또한 검사점으로 이용된 JUNJ점의 고시 성과와 조정된 좌표차이가 X, Y축 방향 모두에서 0.008m이내로, Z축방향에서 0.002m로 나타나 모두 1cm이내의 값으로 나타났다. 이는 WGS84와 ITRF간에는 10cm 수준으로 서로 표현될 수 있다는 IERS의 공식발표에 잘 부합되는 결과라고 할 수 있겠다. 행정자치부 3곳의 절대위치는 아직 고시성과가 없어 상대적인 비교가 이루어지지 못하였다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약해 보면 결정된 3차원 절대위치는 고정하는 위치에 따라 상대오차의 크기가 달라짐을 알 수 있었다. 이는 GPS 상시관측소 데이터를 이용하여 현장 데이터를 처리할 때 고정되는 관측소와 GPS 관측점간의 상대적인 위치 관계 다시 말해 구성되는 관측망의 형태에 따라 다른 결과를 보일 수 있다는 것이다. 따라서 GPS 관측망에 상시관측소를 포함시켜 구성할 경우 상시관측소를 중심으로한 방사형의 관측망이 정밀도를 향상시킬 수 있는 적합한 망의 형태라 판단된다. GPS 상시관측소의 효과적인 활용을 위해서는 서로 다른 목적으로 설치된 상시관측소간의 유기적인 데이터 통합과 실시간 데이터 서비스를 위한 다각적인 방안이 요구된다.

참고문헌

1. 정영동(2001), "GPS-RTK를 이용한 수치지적도의 정확도 분석에 관한 연구", 한국지형공간정보학회지, 제9권, 제2호, pp. 47~54.
2. 정영동(2002), "GPS관측자료의 궤도력별 신뢰성 분석", 한국지형공간정보학회, 제10권, 제2호, pp. 57~66.
3. 건설교통부 국립지리원(2002) "GPS 상시관측소의 활용 및 자료제공 방안에 관한 연구".
4. <http://www.kasm.or.kr/>
5. <http://www.igsbc.jpl.nasa.gov/>
6. <http://www.ngi.go.kr/>