

# GPS에 의한 제주지역의 측지기준망 정확도 분석 Accuracy Analysis on Geodetic Network in Jeju area using GPS

강상구\* · 정영동\*\* · 양영보\*\*

Kang, sang gu · Jung, young dong · Yang, young bo

## 要 旨

인공위성기술의 비약적인 발전은 각종 공간정보의 취득과 이를 응용하는 다양한 분야에 광범위하게 이용되고 있다. 특히 GPS를 이용한 위치결정은 국가 기준계가 세계좌표계로 전환되는 시점을 맞이하여 더욱 활성화 될 전망이다. 현재 국토지리 정보원에서 발급하는 삼각점에 대한 성과는 신성과와 구성과로 구분하고 있고 2007년부터는 전면 세계좌표계로 전환할 예정이다. 현재 제주지역의 삼각점은 최초, 복구 또는 재설한 삼각점 성과 차이로 인해 측량자들이 그 성과를 이용함에 있어 많은 혼란을 초래하고 있다. 따라서 본 연구는 제주지역의 현행삼각점간 부합관계를 점검하기 위해 1, 2등 삼각점을 기준으로 최초 측량 당시의 측지망을 재 구성하여 GPS 관측을 수행하였다. 관측 후 성과분석을 통해 삼각점간 부합되는 안정점을 추출하고 제주지역에 적합한 측지기준망을 구축하고 그 활용 가능성을 제시하였다.

**핵심용어** : 세계측지좌표(ITRF), 측지망 재구성, 안정점

## Abstract

A rapidly developed satellite technology is used in comprehensive fields such as spatial data acquisition and applications. Especially a GPS positioning is expected to reinvigorate at the national reference system changes to ITRF(International Terrain Reference Frame). Currently the National Geographic Information Institute(NGII) issues a triangulation point coordinate by separating old and new coordinates and in the year of 2007 it will be scheduled to be changed ITRF. The triangulation point coordinate in Cheju area causes some problems due to the difference original observation and re-observation. Thus in this study a GPS observation is conducted after re-organizing geodetic network based on 1st and 2nd order triangulation in order to check the current triangulation points in Cheju area. After the GPS observation data analysis, stable points were extracted, proposed a geodetic network and its application.

**Keywords** : ITRF, re-organizing geodetic network, stable points

## 1. 서 론

건설교통부 국토지리정보원에서는 GPS좌표와 측지 성과의 실시간 호환과 세계측지계로 변경이라는 국제적인 흐름에 동참하기 위해 측량의 기준을 현행 국지좌표계에서 세계측지좌표계로 변경하여 시행하고 있다. 개정된 측량법(2001.12.19)에 따라 2003년 1월 1일부터 측량의 기준이 세계측지좌표계로 시행되고 있으며 종전의 국지좌표계는 2006년 12월까지 병행 사용되고, 2007년 1월부터는 세계측지좌표계로 완전 전환하여 적용하게 될 계획이다.<sup>(1)</sup> 따라서 국내 측지기준계는 세계좌표계로의 전환이라는 정책적인 측면과 현실적인 측면에서는

기존의 국지좌표계를 이용하고 있어 측량사들은 좌표계의 전환이라는 과도적 시점에 직면해 있다. 우리나라의 삼각점은 대삼각점과 소삼각점으로 구분되고 해방이후 명칭을 대삼각 본점과 보점을 각각 1등 삼각점과 2등 삼각점으로 소삼각 1, 2등 점을 3등과 4등 삼각점으로 변경하였다. 한국동란 등을 거치면서 망실되거나 파괴된 삼각점을 정비하기 위해 1, 2등 삼각점으로 구성되는 정밀 1차기준망과 3, 4등점으로 구성되는 정밀2차 기준점망으로 구분되어 1975년과 1986년부터 시행 완료하고 현재 국토지리정보원에서는 정비된 삼각점성과에 대해 신성과라는 명칭으로 변경하여 성과를 발급하고 있다.<sup>(2)</sup> 하지만 도서지역의 경우 정비된 신성과에 대한

2006년 2월 25일 접수, 2006년 3월 20일 채택

\* 대한지적공사 지적연구원 책임연구원 공학박사 (gps8829@empal.com)

\*\* 조선대학교 공과대학 토목공학과 교수 (yujung@mail.chosun.ac.kr)

\*\*\* (주) 세한기술공사 대표이사 공학박사 (sh22c@chol.com)

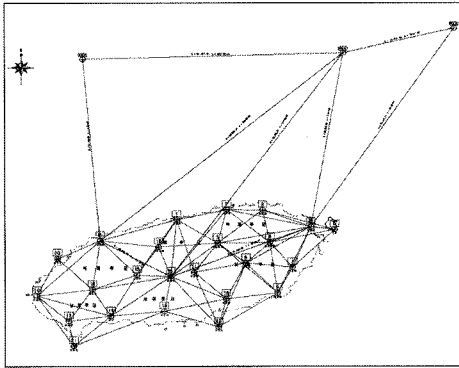


그림 1. 육지부와 연결망도

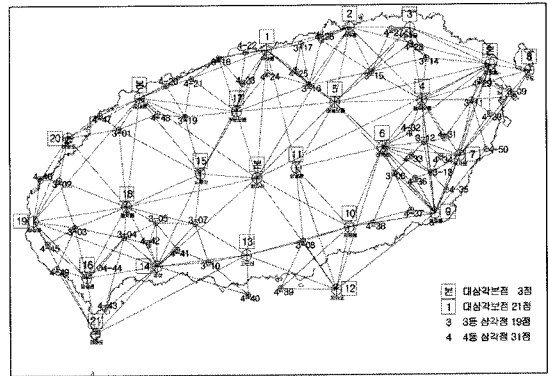


그림 2. 최초측량당시 삼각망도

검증이 완벽하게 이뤄지지 않아 성과에 대한 검증이 필요하다. 육지부에서 떨어진 제주지역의 삼각점은 최초, 복구 또는 재설한 삼각점들 간의 성과 차이로 인해 측량사들이 그 성과를 이용함에 있어 많은 혼란을 초래하고 있다. 따라서 본 연구는 제주지역의 현행삼각점간 부합관계를 점검하기 위해 1, 2등 삼각점을 기준으로 최초 측량 당시의 측지망을 재구성하고 GPS 관측으로 현행 삼각점 성과간의 부합관계를 분석하여 안정점을 추출하고 이 점들을 고정으로 제주지역에 적합한 새로운 측지기준망을 구축하고 그 활용가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 관측망 구성 및 관측

제주도의 삼각점은 총 74개가 설치되어 있으며 이들을 등급별로 분류해 보면 1등점 3개, 2등점 21개, 3등 점 19개와 4등 삼각점이 31개로 구성되어 있다. 제주지역의 삼각망 구성은 육지부의 3점을 이용해 대삼각 본점 망을 구성하였는데 당시 육지부의 추자도삼각점, 태량도 삼각점, 거문도 삼각점과 연결 관측하여 성과를 계산한 후 단계적으로 후속측량을 실시하였다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 제주지역의 대삼각 본점과 보점인 1, 2 등 삼각점들로 관측망을 구성하기 위해 기준점 조서에 기록된 삼각점들을 선별하여 선점한 다음 최초 측량 당시의 망을 재구성한 후 GPS관측을 하였다.

그림 1은 최초 측량당시 육지부와 제주도의 1등 삼각점인 고내봉, 한라산, 지미봉점과 연결된 관측망도를 재현하여 나타낸 것이다. 또한 제주지역에 분포한 74개의 삼각점을 이용하여 최초 측량당시의 관측망을 재구성하면 그림 2와 같다.

GPS관측을 위한 선점은 그림 2와 같은 전체 삼각망도

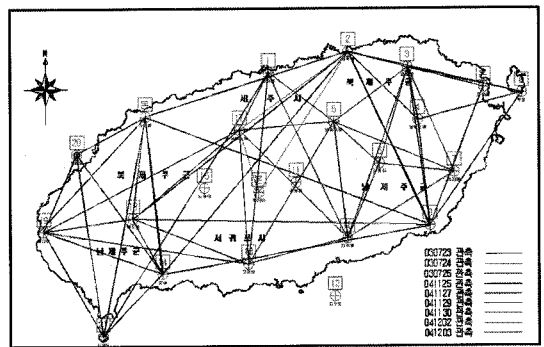


그림 3. GPS 관측망도

를 참고 하여 제주전역에 고르게 분포된 1, 2등점을 기준으로 최종 21점을 선별한 후 GPS관측망도를 작성하였다.

그리고 관측자료의 처리에 있어 고정점으로 사용하기 위해 GPS상시관측 3곳을 관측망에 포함시켰으며 포함된 상시관측소는 제주 기상청에 위치한 국토지리정보원의 관측소, 탐라대학교의 천문연구원 관측소, 한라산 성판악에 있는 행정자치부의 관측소들이 여기에 해당된다.

위에서 언급한 상시관측소를 기준으로 GPS로 관측된 삼각점에 대해 ITRF좌표와 지역좌표(Bessel성과)를 단계적으로 산출 하였다.

관측은 정지측량(Static)으로 삼각점당 4시간 이상씩 관측하였으며 관측장비는 2주파 소끼아 수신기(Sokkia Radian)와 라이카 수신기(Leica SR520) 5대를 이용하였다. 관측을 위한 세션(session)은 이용하고자 하는 수신기 대수를 기준으로 관측날짜를 달리하여 2003년 7월부터 2004년 12월까지의 기간 중 총9일간 관측하였다.

### 3. 자료처리 및 분석

#### 3.1 기선해석 및 ITRF좌표 산출

GPS관측자료의 처리는 기선해석을 시작으로 해서 3차원 망조정을 통해 세계좌표를 산출하고 좌표변환을 통해 현행 베셀성좌표를 산출하게 된다. 본 연구에 이용된 GPS 수신기는 동일 기종의 수신기가 아닌 두 종류의 수신기로 관측되었기 때문에 이 기종간의 관측데이터 형식을 하나의 S/W상에서 처리하기 위해서는 공통된 데이터 포맷이 필요하다. 따라서 관측된 데이터를 공통포맷으로 변환하기 위해 GPS 공통데이터 포맷인 RINEX로 변환한 후 각 측점에 대해 도명명 또는 고유 명칭으로 파일명을 리네임(rename)하였고, GPS상시관측소 데이터와 연계하여 처리하기 위해 관측 일시와 같은 시간대 별로 데이터를 분류하고, 3곳의 상시관측소를 고정하여 트림블 지오매틱스 오피스(Geomatics Office)인 TGO를 이용하여 GPS 관측데이터를 처리하였다. 기선해석은 고정점으로부터 각 기선별 불확실정수를 최소제곱으로 해석해 가는 일괄동시처리방식(Session Mode)으로 처리하였으며 궤도력은 IGS에서 관측한 후 약 11일 후에 확정하여 공

식적으로 발표하는 정밀적인 SP3(IGS Final Orbit)를 이용하여 기선처리를 수행하였다.

또한 기선처리 후 망조정은 각 폐합망에 대한 폐합오차를 최소제곱법으로 조정하여 폐합오차가 최소가 될 수 있도록 상시관측소의 ITRF좌표를 모두 고정하여 각 관측점의 ITRF좌표를 산출하였다. 망조정을 위한 관측성분은 각 기선에 대한 방위각, 타원체간 거리와 높이차를 이용하였으며, 기선해석에 따른 표준편차를 경중률로 하는 망조정을 수행하였다.

그림 5는 기선해석 망도를 나타내며 해석된 기선의 신뢰성을 평가하기 위해 기선해석에 대한 통계수치 값인 정수과수결정비(Ratio), 기준분산(Reference Variance), 표준편차(RMS)등을 분석하였다. 일반적으로 정수과수결정비는 1.5이상이어야 하고, 기준분산이 큰 경우는 현장에 장애가 있는 것으로 볼 수 있으며, 1과 같거나 1보다 적은 경우는 현장관측이 양호함을 나타낸다. 또한 표준편차는 기선거리에 대한 정밀도의 척도가 되며 일반적으로  $5mm \pm 1ppm$ 이다.

본 연구에서 처리된 모든 기선은 안정적인 결과를 보였으며 표 1은 그 결과에 대한 일부이며 표 2는 인접세션간 중복기선에 대한 교차를 분석한 것으로 바늘오름-자배봉, 서우봉-매오름은 국토지리정보원의 내규인 GPS에 의한 기준점 측량 작업규정의 허용범위인 15mm 이내의 결과를 보였고 고내봉과 군산 기선인 경우는 각 성분별 교차량이 허용범위를 벗어나는 것으로 분석되었다. 이는 불범어선을 탐지하기 위해 군부대에서 고내봉에 설치한 안테나시설물의 영향인 것으로 판단되었다.

기선해석을 통해 결정된 각 기선에 대한 3차원벡터에 대해 신뢰성을 부여하여 최적의 3차원 절대좌표(ITRF)를 결정하기 위해서는, 먼저 우연오차의 추정과 제거를 통해 단일해를 구하고 관측치에 적용하는 보정치를 최소

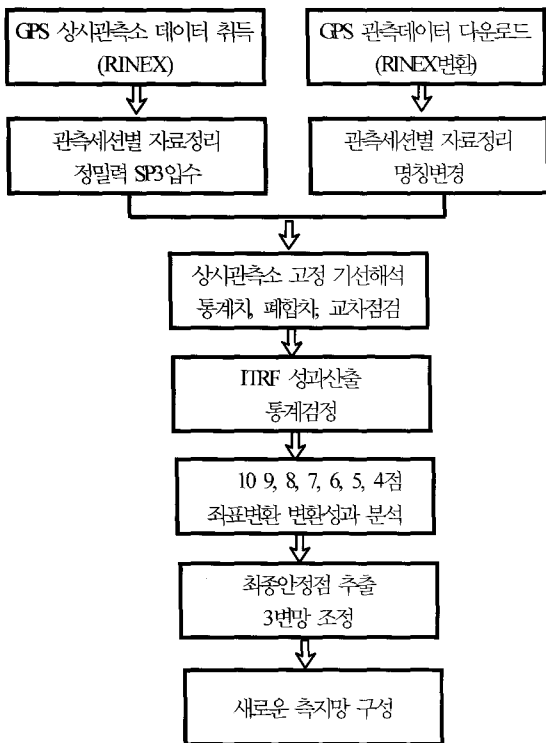


그림 4. 자료처리 흐름도

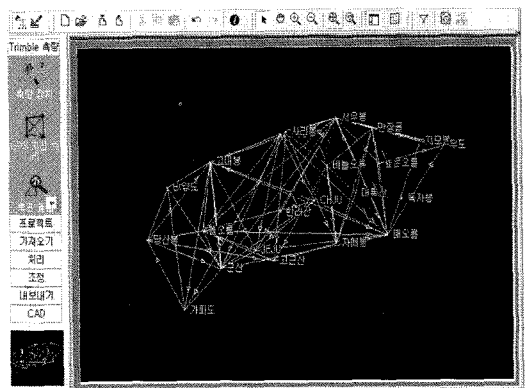


그림 5. 기선해석 망도

표 1. 기선해석 결과

From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Ref. Var	RMS
고 내 봉	군 산	23032.042m	Iono free fixed	1.5	1.715	0.014m
돌 오 림	매 오 림	45855.453m	Iono free fixed	2.7	0.979	0.012m
고 내 봉	서 우 봉	32686.198m	Iono free fixed	3.2	3.133	0.019m
돌 오 림	서 우 봉	41157.671m	Iono free fixed	2.2	1.515	0.013m
서 우 봉	매 오 림	28292.353m	Iono free fixed	1.8	0.852	0.010m
매 오 림	서 우 봉	28292.362m	Iono free fixed	2.6	4.648	0.023m
대 록 산	독 자 봉	11605.668m	Iono free fixed	5.8	5.076	0.030m
만 장 굴	독 자 봉	16894.256m	Iono free fixed	8.2	4.355	0.025m
바늘오름	독 자 봉	19961.307m	Iono free fixed	5.6	4.679	0.028m
만 장 굴	바늘오름	13868.044m	Iono free float	11	1.937	0.014m
고 내 봉	가 파 도	32678.833m	Iono free fixed	10.6	1.421	0.013m
가 파 도	당 산 봉	17816.380m	Iono free fixed	5.5	0.694	0.009m
당 산 봉	군 산	19382.832m	Iono free fixed	1.8	0.51	0.008m
가 파 도	비 양 도	26875.202m	Iono free fixed	6.2	1.282	0.013m
높은오름	만 장 굴	7855.767m	Iono free fixed	1.9	2.042	0.015m
매 오 림	만 장 굴	23337.314m	Iono free fixed	3.5	1.382	0.013m

표 2. 인접세션(session)간 교차 계산

고 내 봉  
군 산      바늘오름

고 내 봉  
군 산      서 우 봉

바늘오름  
자 배 봉      매 오 림

기 선	session	X (m)	Y (m)	Z (m)	관측 년월일
고내봉-군산	session 1	-9,726.264	+8,618.765	-19,015.563	2004-11-25
	session 2	+9,726.243	-8,618.747	+19,015.582	2004-11-30
교 차		$\Delta X=0.021$	$\Delta Y=-0.018$	$\Delta Z=0.019$	
바늘오름-자배봉	session 1	-7,122.995	-5,962.997	-14,338.117	2004-12-03
	session 2	+7,122.988	+5,962.988	+14,338.124	2004-11-27
교 차		$\Delta X=0.007$	$\Delta Y=0.009$	$\Delta Z=0.007$	
서우봉-매오름	session 1	-18,490.414	+3,619.612	-21,105.929	2004-12-02
	session 2	+18,490.425	-3,619.613	+21,105.931	2003-07-23
교 차		$\Delta X=0.011$	$\Delta Y=0.001$	$\Delta Z=0.002$	

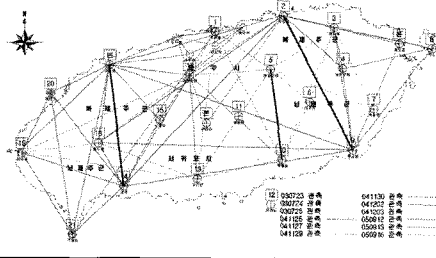
화 시켜 추정 정밀도를 분석 하여야 한다. 이를 위해 기선 해석이 완료된 3차원 벡터를 이용해 자유망 조정과 고정 망 조정을 단계적으로 수행하였다. 자유망조정은 망의 내적 일관성과 과오, 부적절하게 맞추어진 관측치를 찾아내고, 추정오차를 얻기 위한 조정으로 망 조정에 대한 신뢰성 분석은 카이제곱 검정을 통해 관측치가 얼마나 상호 부합하는지를 망 기준계수와 비교하여 평가 하였다.

또한 3곳의 상시관측소를 고정으로 하는 고정망 조정 과 망폐합에 대한 종합통계수치가 수용 가능한가를 분석 한 후 각 측점에 대한 최종적인 ITRF좌표를 산출하였다. 망 조정시 카이제곱에 대한 신뢰한계는 95%로 설정하였 고, 1회 계산에서 카이검정을 통과하지 못한 경우는 추정 오차에 스칼라값을 적용하여 카이제곱 검정을 통과 할 때 까지 반복연산을 수행하였다. 또한 안테나 높이오차와 구 심에 대한 오차 범위를  $\pm 0.001m$ 로 설정하여 처리하였다.

3.2 성과분석

관측된 삼각점에 대해 산출된 ITRF좌표를 현행좌표로 변환하는 방법에는 여러 가지가 있지만 기본적인 알고리 즘은 거의 동일하다.

본 연구에서는 7변수 변환을 통해 현행성과를 산출하 였으며 이는 가장 일반적으로 이용하는 변환방법 중의 하나로 WGS84타원체(또는GRS80타원체)와 Bessel타원 체를 최대한 일치시키기 위해 각측에 대한 원점 이동량



과 회전량 및 타원체 크기에 따른 축적계수를 최소화 방법으로 결정하게 된다.

결정된 변환계수의 특성은 변환되는 점의 개수, 성과의 정확도, 분포형태 등에 따라 영향을 받게 된다. 특히, 삼각점간의 성과가 불량한 경우 계산된 변환요소는 큰 편차를 갖게 되므로 이러한 변환특성을 고려하여 삼각점간의 부합관계를 판단 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 관측된 모든 삼각점을 이용해 변환계수를 계산한 후 변환요소를 각 삼각점에 적용하여 베셀 성과를 산출하였으며 이 과정에서 변환성과와 현행 성과간의 편차가 큰 삼각점을 제외시키는 방법으로 삼각점간의 부합관계를 분석하였다.

또한 제주지역의 1, 2등 삼각점만 고려하면 총24점이 나 망실, 복구, 훼손 등으로 인해 현재 남아 있는 21점에 대해서만 관측하였으며 기존 삼각점 중 재설이 안 되었다고 판단되는 완전점 및 복원된 10점을 고정하여 성과

표 6. 각 성분별 변환오차와 3차원 표준편차

고정점수	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	RMS
10점 고정	0.304	0.434	0.311	0.614
9점 고정	0.240	0.255	0.174	0.391
8점 고정	0.197	0.215	0.175	0.340
7점 고정	0.198	0.127	0.177	0.294
6점 고정	0.071	0.126	0.098	0.175
5점 고정	0.077	0.105	0.069	0.147
4점 고정	0.070	0.083	0.065	0.127

표 3. 삼각점관리 이력 사항

번호	점 명	상 태	고정	비 고
1	군 산	1993 재설		상부 훼손
2	돌 오 림	1993 복구	◎	
3	서 우 봉	완 전	◎	
4	대 룩 산	1993 재설		
5	바늘오름	1993 복구		
6	당 산 봉	1939 복구	◎	
7	비 양 도	완 전	◎	
8	높은오름	1993 재설		
9	만 장 굴	위치 이동	4등	하부훼손 상부만 존재
10	사 라 봉	완 전	◎	
11	고 근 산	1993 재설		
12	고 내 봉	1993 재설		66년 이전 상하부 훼손
13	한 라 산	1977 복구	◎	77년 상부 복구
14	지 미 봉	1993 복구	◎	
15	매 오 림	완 전	◎	
16	우 도	1993 재설		
17	가 파 도	1993 재설		
18	자 배 봉	1993 재설		
19	독 자 봉	1993 재설		
20	노 루 봉	1993 재설	◎	
21	거문오름	1993 재설	◎	최초측량당시 삼각점 하부
22	모 슬 봉			안테나 부지로 사용
23	성닐오름			확인 안함
24	지 귀 도			위치 확인 불가능

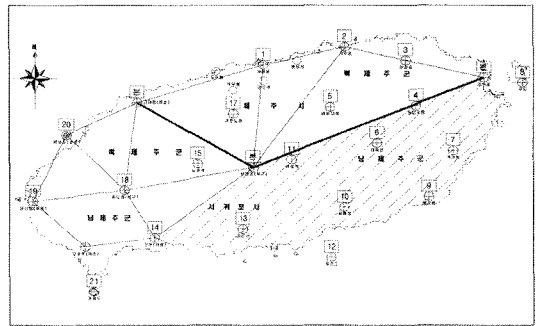


그림 8. 유심 삼각망도(추정)

표 4. 고정점 개수 및 점명

고정점	삼 각 점 명
10점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 거문오름, 매오름, 지미봉, 노루오름, 한라산
9점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 거문오름, 매오름, 지미봉, 노루오름
8점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 거문오름, 매오름, 지미봉
7점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 거문오름, 매오름
6점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 거문오름
5점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉
4점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도

표 5. 고정점 별 7변환계수

고정	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$w(\초)$	$\phi(\초)$	$k(\초)$	Scale (PPM)
10점	98.505	-444.158	-652.136	1.988	-3.592	7.556	-12.989
9점	108.275	-457.357	-639.896	2.247	-2.886	7.834	-11.886
8점	103.578	-449.417	-634.384	2.297	-2.978	7.724	-13.565
7점	127.663	-481.693	-660.532	2.546	-3.307	7.444	-6.029
6점	151.973	-516.972	-691.901	1.605	-2.176	8.458	+2.290
5점	149.290	-511.568	-685.166	1.552	-1.972	8.547	+0.931
4점	139.445	-498.140	-674.448	1.592	-2.033	8.500	-2.177

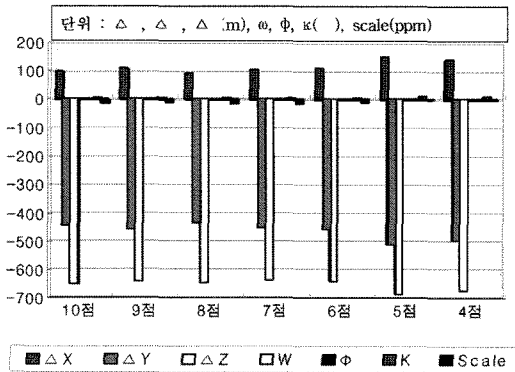


그림 6. 고정점별 7변환계수 변화량

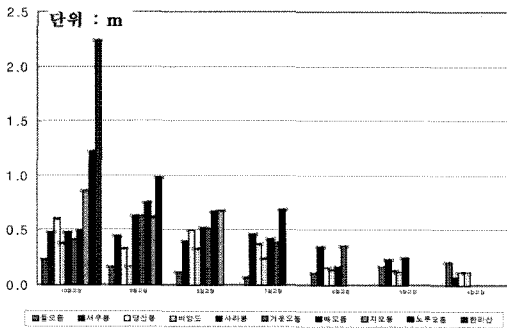


그림 7. 고정점별 표준편차 변화량

가 불량한 삼각점을 하나씩 배제 시키면서 최소 4점까지 변환계수 산출에 이용 하였다. 표 3은 제주지역의 대삼각 본점 및 보점에 대한 이력관리 내용이며, 표 4는 고정점 개수와 점명을 나타낸다.

표 5는 고정점 변화에 따른 7변환계수들에 대한 값으로 여기서  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ 는 두 타원체간의 원점 이동량 (m)이며  $w$ ,  $\phi$ ,  $k$ 는 각 축에 대한 회전량(초)을, scale (PPM)은 축척계수를 나타낸다.

그림 6은 10점을 이용한 변환에서 4점까지 변환에 대한 7변환계수의 변화량을 표현한다.

앞에서 언급한 바와 같이 변환계수의 산정은 10점을 고정하여 4점까지 표준편차가 크게 발생하는 삼각점을 한점씩 순차적으로 제외시켜 나가는 방법으로 각 성분별 변환오차가  $\pm 10\text{cm}$ 내의 정도가 될 때까지 반복 계산을 수행하였다.

그림 7은 고정점변화에 따른 오차변화량을 그래프로 표현한 것이며 표준편차가 큰 삼각점은 변환계수 산출에 큰 영향을 주는 점으로 이러한 삼각점들은 재설, 복구 시

문제가 발생된 삼각점들 이라는 것을 추정 할 수 있다.

표 6은 고정점별 변환오차와 3차원 표준편차를 나타낸 것으로 10점 고정 시 0.614m이고 8점 고정 시 0.34m, 6점 고정 시 0.175m, 4점 고정 시 0.127m로 오차가 큰 삼각점을 한점씩 제외 시켰을 때 3차원 표준 편차가  $\pm 13\text{cm}$ 이내에서 상호 부합되는 삼각점은 돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도 점으로 관측된 21개 삼각점 중 4점이 상호 부합되는 양호한 점으로 분석되었다.

위와 같은 결과는 최초 측량당시의 육지부와 연결점인 고내봉, 한라산, 지미봉과 같은 1등 삼각점은 현재 상호 부합되지 못한다는 것을 의미한다. 반면에 돌오름 삼각점은 1993년에 복구되어 양호하다 것과, 비양도 삼각점은 섬인 관계로 사람 출입이 없어 최초측량당시 형태로 보존되어 있고, 당산봉 삼각점은 1939년 재설 복구한 성과를 현재까지 이용하고 있음을 현장답사를 통해 확인 되었다. 따라서 이상과 같은 결과를 종합해 볼 때 다음과 같이 추정해 볼 수 있다. 최초 측량당시 제주지역의 측지망은 한라산과 고내봉을 기선으로 동서를 분리하여 후속측량을 하였으며 이때 서쪽지역은 비양도, 당산봉, 모슬봉, 군산과 돌오름 삼각점을 중앙으로 하는 유심 삼각망을 형성하여 측량한 것으로 추정되며, 유심삼각망 중 모슬봉은 1939년 재설되었으나 현재는 삼각점이 없고, 군산은 1993년 재설하였으나 표석상부가 훼손한 상태이고, 한라산 대삼각 본점은 1977년에 복구하였으나 오랜 기간 등산객 등 사람 출입이 많아 지반침하로 인해 위치 이동된 것으로 추정되었다. 또한 고내봉 대삼각 본점은 1966년 이전에 상하부가 없어진 것으로 조사되었으며 그림 6은 이상과 같은 추정망도를 나타낸다.

그리고 한라산과 지미봉 남측에는 대삼각 본점과 연결된 2등 점은 없었으며 현재의 1등 삼각점인 고내봉은 재설점이며 한라산과 지미봉은 1등 삼각점이라고 할 수 없을 정도의 큰 이동량을 보였다.

그림 8의 빗금친 부분에는 최초측량당시 2등 점으로 관측이 되었으나 관측성과를 보면 1등점에서 2등 점으로 연결되지 못한 것으로 추정되며, 3등성과를 보이는 고근산, 매오름, 대록산, 높은오름, 독자봉, 우도봉, 가파도, 지귀도, 자배봉 등 9개의 삼각점은 상호불부합하는 것으로 분석되었다. 그림 9는 한라산과 고내봉을 기선으로 노루오름과 거문오름을 4변망으로 하여 관측한 것을 추정한 그림이며, 노루오름은 1993년 재설하여 성과검증이 불가능 하였다. 거문오름의 경우 최초측량당시 삼각점의 상부가 훼손되었으며 하부는 송이(scoria)지반으로 상부 훼손 자리에 빗물유입 등으로 인해 위치이동된 것으로 추정되었다. 표 7은 본 연구에서 분석한 현재 제주도 1, 2등 삼각점 중에 상호 불부합하는 삼각점들이다.

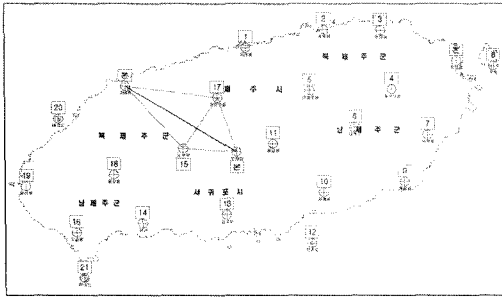


그림 9. 사변형 관측망도(추정)

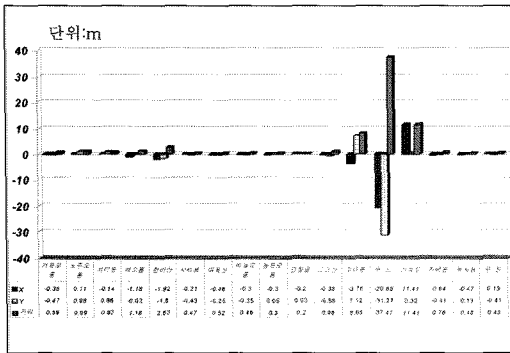


그림 10. 변환 편차와 거리차

그림 10은 불부합점에 대한 X, Y 편차량과 거리차를 그래프로 나타낸 것이며 고내봉은 남동방향으로 8.05m, 우도봉은 남서방향으로 37.47m, 가파도는 북동방향으로 11.41m의 이동량을 보여 재설되었음을 알 수 있고 한라산은 1977년에 복구를 하였으나 남서방향으로 2.63m가 이동한 것으로 분석되었고, 나머지 점들은 그 이력이 남아 있지 않아 재설 또는 복구되었는지 계산상으로는 알 수가 없었다.

또한 가파도의 1939년 재설성과는 종선(X)과 횡선(Y) 값이 14,075.08m, 132,040.53m이었으나 횡(Y)축으로 20cm가 이동된 성과를 최근까지 사용하고 있었으며, 이는 횡(Y)축 0.53m를 0.33m로 잘못 판단하여 사용한 것으로 추정되며 1993년 또다시 재설 되어 최초측량성과와의 검증은 불가능 하였다.

그림 11은 원과 사분면을 이용하여 분석한 각 삼각점의 변동량과 위치이동 방향을 나타내며 재설 및 복구점들이 포함되어 있어 정확히는 예측을 할 수 없으나 1상한 2점, 2상한 5점, 3상한 9점, 4상한 1점들로 분포하는 이동량을 보였으며 1993년의 확실한 재설점인 고내봉, 우도, 가파도 삼각점을 제외하여도 3상한 쪽으로 7점이 이동한 것으로 분석되었다. 또한 1977년 복구한 한라산

표 7. 불부합점에 대한 변환결과

삼각점명	구 분	최초좌표	변환 좌표	$\Delta X, \Delta Y$ 편차량	거리차
거문오름	X	44,166.28	44,165.92	$\Delta X = -0.36$	0.59
	Y	153,131.13	153,130.66	$\Delta Y = -0.47$	
노루오름	X	35,706.00	35,706.11	$\Delta X = 0.11$	0.99
	Y	147,741.75	147,742.73	$\Delta Y = 0.98$	
지미봉	X	50,326.54	50,326.40	$\Delta X = -0.14$	0.87
	Y	190,858.28	190,859.14	$\Delta Y = 0.86$	
매오름	X	30,193.62	30,192.44	$\Delta X = -1.18$	1.18
	Y	182,569.41	182,569.39	$\Delta Y = -0.02$	
한라산	X	35,129.87	35,127.95	$\Delta X = -1.92$	2.63
	Y	156,128.90	156,127.10	$\Delta Y = -1.80$	
사라봉	X	52,477.97	52,477.76	$\Delta X = -0.21$	0.47
	Y	157,635.42	157,634.99	$\Delta Y = -0.43$	
대록산	X	39,245.58	39,245.12	$\Delta X = -0.46$	0.52
	Y	174,764.25	174,764.00	$\Delta Y = -0.25$	
바늘오름	X	45,325.11	45,324.81	$\Delta X = -0.30$	0.46
	Y	167,738.31	167,737.96	$\Delta Y = -0.35$	
높은오름	X	45,583.35	45,583.05	$\Delta X = -0.30$	0.30
	Y	180,686.51	180,686.56	$\Delta Y = 0.05$	
만장굴	X	53,269.53	53,269.33	$\Delta X = -0.20$	0.20
	Y	179,094.99	179,095.02	$\Delta Y = 0.03$	
고근산	X	24,639.56	24,639.18	$\Delta X = -0.38$	0.96
	Y	154,538.83	154,537.95	$\Delta Y = -0.88$	
고내봉	X	46,083.12	46,079.36	$\Delta X = -3.76$	8.05
	Y	138,683.42	138,690.54	$\Delta Y = 7.12$	
우도	X	49,491.61	49,470.96	$\Delta X = -20.6$	37.47
	Y	196,697.36	196,666.09	$\Delta Y = -31.2$	
가파도	X	14,072.32	14,083.73	$\Delta X = 11.41$	11.41
	Y	132,038.83	132,039.15	$\Delta Y = 0.32$	
자배봉	X	28,374.67	28,374.03	$\Delta X = -0.64$	0.76
	Y	169,836.43	169,836.02	$\Delta Y = -0.41$	
독자봉	X	37,987.74	37,987.27	$\Delta X = -0.47$	0.48
	Y	186,296.35	186,296.48	$\Delta Y = 0.13$	
군산	X	23,192.84	23,192.97	$\Delta X = 0.13$	0.43
	Y	141,273.09	141,272.68	$\Delta Y = -0.41$	

과 매오름은 1m 이상 위치이동이 있었고 재설점 3점과 1m 이상 이동된 2점을 제외한 12개 삼각점은 평균 0.59m가 이동됨을 알 수 있었다. 따라서 최초성과와 연계되는 통일된 새로운 측지망을 제주지역에 구축하기 위해서는 돌오름, 서오름, 당산봉, 비양도와 같이 양호한 삼각점을 고정으로 망조정을 할 필요가 있다.

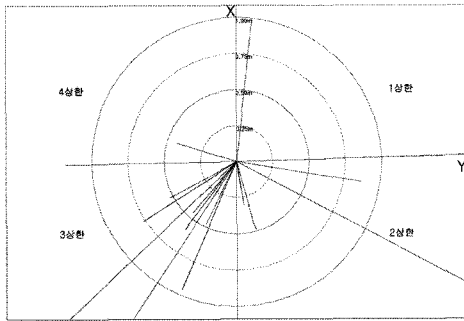


그림 11. 변환편차의 상한별 분포도

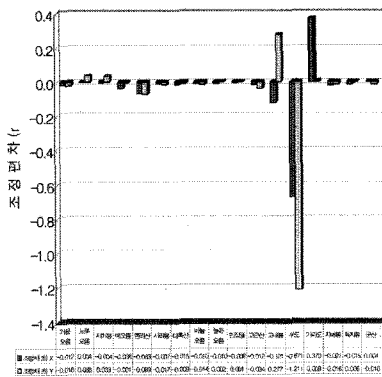


그림 12. 삼변망 조정결과

표 8. 망조정을 위한 입력성과(Bessel)

번호	명 칭	X	Y
1	군산	23,192.84	141,273.09
2	돌오름	31,278.96	136,728.95
3	서우봉	55,529.59	169,981.09
4	대록산	39,245.58	174,764.25
5	바늘오름	45,325.11	167,738.31
6	당산봉	29,380.62	122,904.51
7	비양도	40,661.06	128,040.52
8	높은오름	45,583.35	180,686.51
9	만장굴	53,269.53	179,094.99
10	사라봉	52,477.97	157,635.42
11	고근산	24,639.56	154,538.83
12	고내봉	46,083.12	138,683.42
13	한라산	35,129.87	156,128.90
14	지미봉	50,326.54	190,858.28
15	매오름	30,193.62	182,569.41
16	우도	49,491.61	196,697.36
17	가파도	14,072.32	132,038.83
18	자배봉	28,374.67	169,836.43
19	독자봉	37,987.74	186,296.35
20	거문오름	44,166.28	153,131.13
21	노루오름	35,706.00	147,741.75

표 9. 망조정을 위한 WGS84 입력성과

번호	명 칭	WGS84 위도	WGS84 경도	타원체고	표고
1	돌 오 림	33-19-32.7238	126-19-16.5874	462.39	437.32
2	서 우 봉	33-32-45.0282	126-40-39.3074	135.26	109.45
3	거문오름	33-26-34.0172	126-29-48.3131	461.58	435.71
4	노루오름	33-21-58.5431	126-26-21.4908	1,093.67	1067.87
5	당 산 봉	33-18-27.8753	126-10-22.7169	170.39	146.03
6	비 양 도	33-24-35.2580	126-13-37.9989	136.72	112.11
7	지 미 봉	33-29-57.5296	126-54-08.7804	188.80	162.69
8	매 오 림	33-19-03.6498	126-48-49.0333	159.42	133.45
9	한 라 산	33-21-41.1286	126-31-45.9073	1,973.06	1946.85
10	사 라 봉	33-31-04.4682	126-32-41.2833	172.77	147.11
11	대 록 산	33-23-56.9233	126-43-46.3590	497.99	471.82
12	바늘오름	33-27-13.5754	126-39-13.6901	576.32	550.16
13	높은오름	33-27-23.0824	126-47-35.0505	429.70	403.59
14	만 장 굴	33-31-32.4517	126-46-32.7750	118.55	92.58
15	고 근 산	33-16-00.4527	126-30-46.3403	419.23	393.62
16	고 내 봉	33-27-33.4958	126-20-28.8059	198.07	172.99
17	우 도	33-29-29.8872	126-57-53.7617	152.85	126.66
18	가 파 도	33-10-13.6011	126-16-19.9178	43.56	19.09
19	자 배 봉	33-18-03.6119	126-40-36.9738	234.30	208.38
20	독 자 봉	33-23-16.8515	126-51-12.6973	182.23	156.17
21	군 산	33-15-11.2060	126-22-14.1540	356.11	331.05



표 10. 삼변망 조정결과 경위도좌표

번호	FIX	점 명	등록 경·위도	조정 경·위도	조정치
3변 망조정 고정점					
1	2	돌오름	33-19-21.0085	33-19-21.0085	0
			126-19-13.4718	126-19-13.4718	0
2	2	서우봉	33-32-33.3930	33-32-33.3930	0
			126-40-36.3037	126-40-36.3037	0
5	2	당산봉	33-18-16.1472	33-18-16.1472	0
			126-10-19.5431	126-10-19.5431	0
6	2	비양도	33-24-23.5769	33-24-23.5769	0
			126-13-34.8435	126-13-34.8435	0
3변 망조정된 성과					
3	0	거문오름	33-26-22.3571	33-26-22.3452	-0.012
			126-29-45.2643	126-29-45.2461	-0.018
4	0	노루오름	33-21-46.8387	33-21-46.8424	0.004
			126-26-18.3665	126-26-18.4043	0.038
7	0	지미봉	33-29-45.8750	33-29-45.8706	-0.004
			126-54-05.8062	126-54-05.8396	0.033
8	0	매오름	33-18-51.9605	33-18-51.9221	-0.038
			126-48-46.0604	126-48-46.0597	-0.001
9	0	한라산	33-21-29.4869	33-21-29.4243	-0.063
			126-31-42.9175	126-31-42.8483	-0.069
10	0	사라봉	33-30-52.8313	33-30-52.8244	-0.007
			126-32-38.2498	126-32-38.2332	-0.017
11	0	대록산	33-23-45.2444	33-23-45.2294	-0.015
			126-43-43.3715	126-43-43.3620	-0.009
12	0	바늘오름	33-27-01.9145	33-27-01.9047	-0.010
			126-39-10.6851	126-39-10.6715	-0.014
13	0	높은오름	33-27-11.4190	33-27-11.4091	-0.010
			126-47-32.0727	126-47-32.0748	0.002
14	0	만장굴	33-31-20.8122	33-31-20.8058	-0.006
			126-46-29.7953	126-46-29.7963	0.001
15	0	고근산	33-15-48.7239	33-15-48.7116	-0.012
			126-30-43.3082	126-30-43.2741	-0.034
16	0	고내봉	33-27-21.9520	33-27-21.8314	-0.121
			126-20-25.4148	126-20-25.6914	0.277
17	0	우도	33-29-18.8944	33-29-18.2238	-0.671
			126-57-52.0510	126-57-50.8398	-1.211
18	0	가파도	33-10-01.4551	33-10-01.8254	0.370
			126-16-16.7683	126-16-16.7775	0.009
19	0	자배봉	33-17-51.9017	33-17-51.8809	-0.021
			126-40-33.9737	126-40-33.9581	-0.016
20	0	독자봉	33-23-05.1657	33-23-05.1503	-0.015
			126-51-09.7331	126-51-09.7380	0.005
21	0	군산	33-14-59.4575	33-14-59.4616	0.004
			126-22-11.0601	126-22-11.0442	-0.016

### 3.3 삼변망 조정

본 연구에서는 제주지역의 통일된 새로운 측지망을 구축하기 위해 GPS로 관측한 각 삼각점간의 기선거리를 Bessel 타원체면상에 투영하여 기준면상의 거리로 환산한 후 관측된 21점 중 지금까지 분석된 가장 양호한 4점을 고정으로 하는 3변망 조정을 수행하였으며, 이를 통해 불부합하는 17점의 삼각점에 대해 새로운 성과를 산출하였다. 표 8은 최초측량당시 좌표이며 망조정을 위한 Bessel 입력성파로 이용하였고 표 9는 동일점에 대한 WGS84 입력성파다.

표 10은 상호 부합되는 4점을 고정하여 삼변망 조정된 경위도 좌표이며 첫 번째 번호 열은 관측된 삼각점의 일련번호를 나타내며 두 번째 열은 삼변망 조정 시 적용된 경중률(weight)을 정량적으로 나타내기 위한 숫자로 0이 의미하는 것은 미지점으로 두고 조정함을 나타낸다.

세 번째 열은 관측점을 나타내고 네 번째 열은 조정전 경위도 좌표를 나타낸다. 다섯 번째 열은 조정 후의 각 관측점에 대한 경위도 좌표를 나타내며 마지막 여섯 번째 열은 조정량을 나타낸다.

그림 12는 삼변망 조정결과 종축(X), 횡축(Y)에 대한 조정량을 그래프로 나타낸 것으로 한라산, 고내봉, 우도, 가파도를 제외한 나머지 점들은  $\pm 5\text{cm}$ 이내에서 조정됨을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구는 제주지역에 분포한 현행 삼각점간의 부합관계를 GPS측량을 통해 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 제주지역의 삼각점에 대한 단계적인 분석을 통

해 최초측량당시와 부합되는 양호한 삼각점들을 선별할 수 있었으며 기준점으로 이용하기에 부적합한 삼각점들에 대해서도 오차 한계를 정량화 하여 후속 측량의 기초 자료로 이용할 수 있는 근거를 마련하였다.

둘째, 제주지역의 기준점이 통일성을 갖기 위해서는 가장 양호하게 추출된 점을 고정으로 새로운 성과를 산출하여야 할 것으로 판단되어 삼변망 조정을 통해 제주지역에 대해 새로운 정밀 측지망을 구축하였다.

셋째, 본 연구에서 산출된 각 삼각점들에 대한 ITRF좌표는 향후 제주지역의 삼각점 성과가 세계좌표계로 전환되더라도 고시되는 성과와 변동폭이 크지 않아 GPS측량 시 보조자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2002년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 국토지리정보원, 2003, "측량 및 지형공간정보 백서".
2. 최재화, 최윤수, 1995, "1, 2등 삼각점의 실용성과 정밀산정", *한국측지학회지*, 제13권, 제1호, pp. 1-12.
3. 리진호, 2001, "삼각측량작업결과 보고", *도서출판 우물*, pp. 120-130.
4. 행정자치부, 2005, "GPS를 이용한 지적측량 기술개발 등에 관한 연구", *제1과제*.
5. Paul, wolf, Charles D. Ghilani, "Adjustment computatins", *a wiley-interscience publication*, 1996.
6. Jan Van Sickle, "GPS for Land Surveyer", *Ann Arbor Press, Inc*, 1996.