

제주지역의 국가 기준점 정확도 분석

Analysis of National Control Points in Jeju Area

정영동¹⁾ · 양영보²⁾

Jung young-dong · Yang young-bo

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

요 지

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 활용방안을 제시하였다.

핵심용어 : 세계측지좌표(ITRF), 측지망 재구성, 안정점

1. 서 론

건설교통부 국토지리정보원에서는 이미GPS좌표와 측지성과의 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 1월

부터는 세계측지좌표계로 완전 전환하여 적용하게 될 계획이다. 따라서 국내 측지기준계는 세계좌표계로의 전환이라는 정책적인 측면과 현실적인 측면에서는 기존의 국지좌표계를 이용하고 있어 측량사들은 좌표계의 전환이라는 시점에 직면해 있다. 우리나라의 삼각점은 대삼각점과 소삼각점으로 구분되고 해방이후 명칭을 대삼각점과 보점을 각각 1등 삼각점과 2등 삼각점으로 소삼각 1, 2등 점을 3등과 4등 삼각점으로 변경하였다. 한국동란 등을 거치면서 망실 되거나 파괴된 삼각점을 정비하기 위

1) 정회원 · 조선대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:ydjung@mail.chosun.ac.kr)

2) 연결저자 · 조선대학교 공과대학 토목공학과 박사(E-mail:sh22c@chol.com)

해 1, 2등 삼각점으로 구성되는 정밀 1차기준망과 3, 4등 점으로 구성되는 정밀2차 기준점망으로 구분되어 1975년과 1986년부터 시행 완료하고 현재 국토지리정보원에서는 정비된 삼각점성좌에 대해 신성과라는 명칭으로 변경하여 성과를 발급하고 있다. 하지만 도서지역의 경우 정비된 신성과에 대한 검증이 완벽하게 이뤄지지 않아 성과에 대한 검증이 필요하다. 육지부에서 떨어진 제주지역의 삼각점은 최초, 복구 또는 재설한 삼각점들 간의 성과 차이로 인해 측량자들이 그 성과를 이용함에 있어 많은 혼란을 초래하고 있다. 따라서 본 연구는 제주지역의 현행 삼각점간 부합관계를 점검하기 위해 1, 2등 삼각점을 기준으로 최초 측량 당시의 측지망을 재 구성하고 GPS 관측을 수행하여 성과분석을 통해 삼각점간 부합되는 안정점을 추출하고 제주지역에 적합한 측지기준망을 구축하여 그 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 관측망 구성 및 관측

제주도의 삼각점은 총 74개가 설치되어 있으며 이들을 등급별로 분류해 보면 1등점 3개, 2등점 21개, 3등점 19개와 4등 삼각점이 31개로 구성되어 있다. 제주지역의 삼각점망 구성은 육지부의 3점을 이용해 대삼각본 점망을 구성하였는데 당시 육지부의 추자도삼각점, 태랑도삼각점, 거문도 삼각점과 연결관측하여 성과를 계산한 후 단계적으로 후속측량을 실시하였다.

본 연구에서는 제주지역의 대삼각 본점과 보점인 1, 2등 삼각점들로 관측망을 구성하기 위해 기준점 조서에 기록된 삼각점들을 선정한 후 최초 측량시의 망을 재 구성하여 GPS관측을 수행하였다.

그림 1은 최초 측량당시 육지부와 제주도의 1등 삼각점인 고내봉, 한라산, 지미봉점과 연결된 관측망도를 재현한 기준점망을 나타낸다. 또한 제주지역에 분포한 74개의 삼각점을 이용하여 최초측량당시의 관측망을 재구성하면 그림 2와 같다.

GPS관측을 위한 선점은 그림 2와 같은 전체 삼각망도를 참고 하여 제주전역에 고르게 분포된 1, 2등점을 기준으로 최종 19점을 선별한 후 GPS관측망도를 작성하였다.

그리고 관측자료의 처리에 있어 고정점으로 이용하기 위해 GPS상시관측 3곳을 관측망에 포함시켰으며 포함된 상시관측소는 제주 기상청에 위치한 국토지리정보원의 관측소, 탐라대학교의 천문연구원 관측소, 한라산 성판악

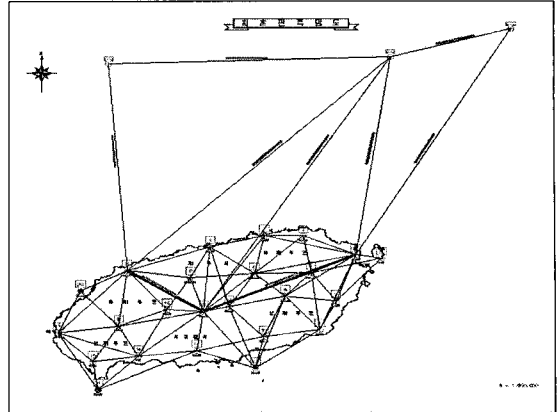


그림 1. 육지부와 연결망도

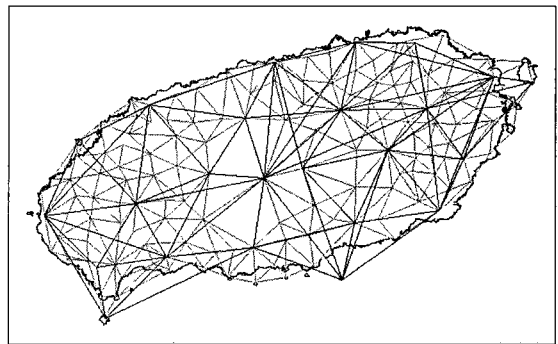


그림 2. 제주지역 삼각점 망도

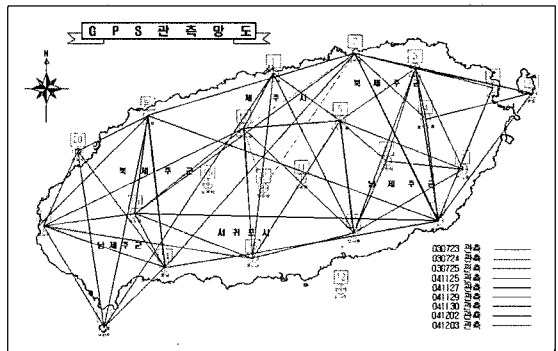


그림 3. GPS 관측망도

에 있는 행정자치부의 관측소들이 여기에 해당된다.

위와 같은 상시관측소를 기준으로 GPS로 관측된 삼각점에 대해 ITRF 좌표와 현행 성과를 동시에 산출 하였다. 이는 향후 제주지역의 삼각점 성과가 세계좌표계로 전환되더라도 이번 연구에서 산출된 성과를 그대로 활용 할 수 있게 하기 위함이다.

관측은 정지측량(STATIC)방식으로 삼각점당 4시간이 상씩 관측하였으며 관측장비는 Sokkia Radian과 Leica 500 2주파 수신기 5대를 이용하였다. 관측을 위한 세션은 이용하고자 하는 수신기 대수를 기준으로 관측날짜를 달리하여 2003년 7월부터 2004년 12월까지의 기간 중 총 9일간 관측하였다.

3. 자료처리 및 분석

3.1 기선해석 및 ITRF좌표 산출

GPS관측자료의 처리는 기선해석을 시작으로 해서 3차원 망조정 후 세계좌표를 산출한 후 좌표변환을 통해 현행 벡셀성과를 산출하게 된다.

관측에 이용된 GPS 수신기는 동일 기종의 수신기가 아닌 타 기종의 수신기로 관측되었기 때문에 타 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 도영명 또는 고유 명칭으로 파일명을 리네임(rename)하였고 GPS 상시 관측소데이터 취득 일시와 같은 시간대에 관측된 각 세션의 GPS 관측점들을 시간대 별로 데이터를 재구성하고 3곳의 상시관측소를 고정하여 트림블 지오메틱스 오피스(Geomatics Office)인 TGO를 이용하여 GPS 관측데이터를 처리하였다. 기선해석 하는 방법에는 각 기선에 대한 모든 벡터를 일괄적으로 동시에 최소제곱법으로 처리하는 Session Mode와 고정점으로부터 시작해서 독립된 기선을 하나씩 처리해나가는 Baseline Mode가 있다. 본 연구는 GPS수신 장비를 혼합하여 관측하였기 때문에 고정점으로부터 각 기선별 불확실정수를 최소제곱으로 해석해 가는 일괄동시처리방식(Session Mode)으로 처리하였으며 궤도력은 IGS에서 관측한 후 약 11일 후에 확정하여 공식적으로 발표하는 정밀력인 SP3(IGS Final Orbit)를 이용하여 기선처리를 수행하였다.

또한 기선처리후 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. 기선해석을 위한 기선해석방법, 고정방법, 고정변수 등에 관한 세부적인 처리 내용을 다음과

같다.

- 가. 사용 S/W : Trimble Geomatics Office
- 나. 기선해석방법 : 모든 세션 동시 처리
- 다. 고정방법
 - 3곳의 상시관측소를 고정기점으로 처리
- 라. S/W 항목설정값

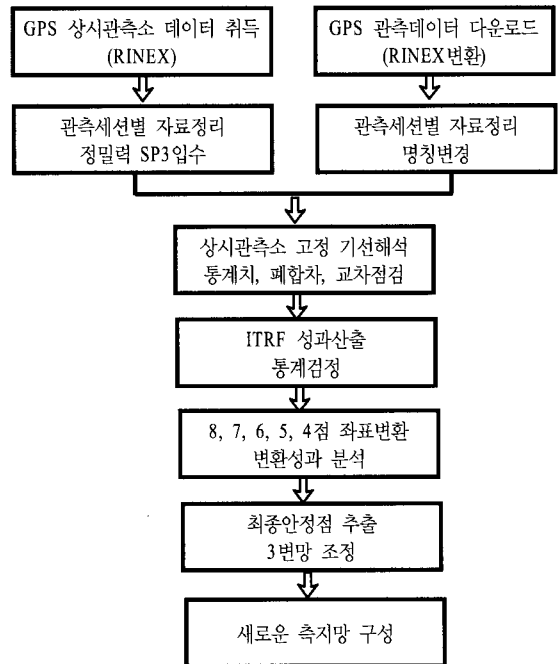


그림 4. 자료처리 흐름도

표 1. 기선해석을 위한 처리 항목 설정값

Processing Style	Value
Elevation Mask	15degree
Ephemeris	Precise
Solution type	Iono free Fixed double difference
Minimum baseline observation time	120sec
Minimum reference observation time	600sec
Tropospheric model	Hopfield
Ionospheric model	Iono free L1 fixed
Minimum OTF processing time	200sec
Epoch rate	15sec

표 1과 같이 설정된 값으로 처리된 기선해석의 결과분석은 다음과 같은 항목에 대한 통계수치와 계산 성과를 바탕으로 기선해석에 대한 신뢰성을 분석하였다.

해석된 기선의 신뢰성을 평가하기 위해 기선해석 결과의 통계 수치를 비교 분석하였다. 기선해석에 따른 통계 수치 평가 항목과 그에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다. 첫째, 표준편차는 관측치의 변동폭을 나타내는 것으로 보통 수 mm 정도이다. 표준편차가 작으면 양질의 관측데이터로부터 양호한 해석결과가 산출되었다고 판단할 수 있다. 그러나, 표준편차는 어디까지나 기선해석결과의 내부정도의 평가에 관한 것이므로, 관측치에 계통적 오차가 포함되어 있을 경우에도 표준편차가 작게 나오므로 주의해야 한다.

둘째, 데이터 폐기율에 대한 평가로서 기선해석 S/W의 대부분은 데이터 폐기율 또는 관측데이터와 채용데이터 개수라고 하는 수치를 출력한다. 이것은 각 수신기의 반송파위상 데이터 중에서 불량 데이터가 얼마나 포함되었나를 나타내는 비율이다.

이들 불량데이터는 1중 또는 2중위상차를 이용하는 처리단계에서 제거해 버린다. 불량데이터가 많다는 것은 관측이 양호하지 못했음을 의미한다. 20%이상의 데이터 폐기율이 생길 경우에는 재 계산 또는 재 관측을 해야 한다.

셋째, 간섭측위법에서는 수신기 및 위성간의 반송파위상의 이중차 (Double Difference)를 계산에 이용한다. 그러나 이중위상차에는 정수배의 파수에 대한 정보가 불명확하여, 기선해석의 계산에서는, 추정된 실수치를 가장 가까운 정수치로 변환시켜 버린다. 이것을 정수치화정(integer fix)이라고 한다.

정수파수결정 비율(bias ratio)은 불확정정수 결정의 신뢰도를 나타내는 지표이다. 이것은 불확정 정수치를 추정했을 때 실수치에 가장 가까운 정수치(제1후보)에 의한 관측치의 분산과 다음으로 가까운 정수치(제2후보)에 의한 관측치의 분산을 계산하여, 제2후보에 의한 분산치를 제1후보에 의한 분산치로 나눈 비율(Ratio)로 나타내고 있다. 거의 모든 수신기 부속의 S/W는 정수파수 결정비를 출력한다. 이 비율이 클수록 정수치의 신뢰도는 높아지고, 1에 가까울수록 신뢰도가 낮아진다. 본 연구에서 처리된 기선해석에 대한 통계수치 값은 정수파수결정비, 기준분산, 표준편차를 나타내는 Ratio, Reference Variance, RMS들을 토대로 기선해석에 대한 신뢰성 여부를 분석하였다. 일반적으로 Ratio값은 1.5이상이 되어야 하고,

Reference Variance가 큰 경우는 현장에 장애가 있는 것으로 볼 수 있고, 1과 같거나 1보다 적은 경우는 현장관측이 양호함을 나타낸다. 또한 RMS는 기선거리에 대한 정밀도의 척도로 판단되는데 일반적으로 정도는 5mm±1ppm을 이용하게 되는데 이는 기선거리가 길어짐에 따라 부정오차전파 형태로 증가하게 되고, GPS관측망의 폐합 여부를 판단하는데 기준이 된다.

본 연구에서 처리된 모든 기선은 안정적인 결과를 보였으며 표 2는 그 결과에 대한 일부이다. 기선해석을 완료하고 ITRF성과 산출을 위해 3곳의 상시관측소를 고정으로 하는 고정망조정을 수행하였다. 기선해석을 통해 결정된 각 기선에 대한 3차원벡터에 대해 신뢰성을 부여하여 최적의 3차원 절대좌표를 결정하기 위해서는 먼저 우연오차의 추정과 제거를 통해 단일화를 구하고 관측치에 적용하는 보정치를 최소화 시켜 추정 정밀도를 분석 하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 망의 내적 일관성과 과오, 부적절하게 맞추어진 관측치를 찾아내고, 정확한 관측치 추정오차를 얻기 위해 고정망조정을 수행하였고, 망 조정에 대한 신뢰성 분석을 위해 카이제곱 검정을 통해 관측치가 얼마나 상호 부합하는지를 망 기준계수와 비교분석 하였다. 망 조정시 카이제곱에 대한 신뢰한계는 95%로 설정하였고, 1회 계산에서 카이검정을 통과하지 못한 경우는 추정오차에 스칼라값을 적용하여 카이제곱 검정에 통과 할 때까지 반복 연산을 수행하였다. 또한 안테나 높이 오차와 구심에 대한 오차를 최소화하기 위해 안테나 높이오차의 범위는 ±0.001으로, 구심오차에 대한 범위는 ±0.001로 설정하여 처리하였다. 3곳의 상시관측소를 고정으로 하는 고정망 조정과 망폐합에 대한 종합통계수치가 수용

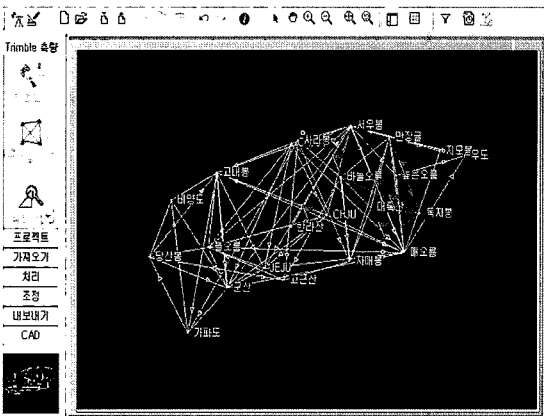


그림 5. 데이터처리

표 2. 기선해석 결과

From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Ref.Var	RMS
고내봉	군산	23032.042m	Iono free fixed	1.5	1.715	0.014m
돌오름	매오름	45855.453m	Iono free fixed	2.7	0.979	0.012m
고내봉	서우봉	32686.198m	Iono free fixed	3.2	3.133	0.019m
돌오름	서우봉	41157.671m	Iono free fixed	2.2	1.515	0.013m
서우봉	매오름	28292.353m	Iono free fixed	1.8	0.852	0.010m
매오름	서우봉	28292.362m	Iono free fixed	2.6	4.648	0.023m
대록산	독자봉	11605.668m	Iono free fixed	5.8	5.076	0.030m
만장굴	독자봉	16894.256m	Iono free fixed	8.2	4.355	0.025m
바늘오름	독자봉	19961.307m	Iono free fixed	5.6	4.679	0.028m
만장굴	바늘오름	13868.044m	Iono free float	11	1.937	0.014m
고내봉	가파도	32678.833m	Iono free fixed	10.6	1.421	0.013m
가파도	당산봉	17816.380m	Iono free fixed	5.5	0.694	0.009m
당산봉	군산	19382.832m	Iono free fixed	1.8	0.51	0.008m
가파도	비양도	26875.202m	Iono free fixed	6.2	1.282	0.013m
높은오름	만장굴	7855.767m	Iono free fixed	1.9	2.042	0.015m
매오름	만장굴	23337.314m	Iono free fixed	3.5	1.382	0.013m
서우봉	만장굴	9390.209m	Iono free fixed	4.1	2.353	0.016m
높은오름	우도	16448.675m	Iono free fixed	6.6	1.375	0.013m
우도	서우봉	27364.623m	Iono free fixed	18.3	1.524	0.014m
매오름	지모봉	21774.237m	Iono free fixed	2.3	5.995	0.026m
돌오름	당산봉	13956.673m	Iono free fixed	4.3	1.473	0.013m
CHEJU	고내봉	18536.182m	Iono free fixed	21.8	2.619	0.021m
CHEJU	군산	32502.722m	Iono free fixed	6.7	1.658	0.018m

가능한가를 분석한 후 각 측점에 대한 ITRF 3차원 절대 좌표를 결정하였다.

3.2 성과분석

관측된 삼각점에 대해 산출된 ITRF 좌표를 현행 좌표로 변환하는 방법에는 여러 가지가 있지만 기본적인 알고리즘은 거의 동일하다. 본 연구에서는 7변수 변환을 통해 현행 성과를 산출하였다. 7변수 변환은 일반적으로 7-parameter 로 불리며 가장 일반적으로 이용하는 방법으로 WGS-84 타원체와 Bessel 타원체를 최대한 일치시키기 위해 각축에 대한 원점 이동량과 회전량 및 타원체 크기에 따른 축척계수를 결정하게 된다.

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 부합관

계를 판단 할 수 있다. 본 연구에서의 관측시간대는 오전 10시에서 4시간이상인 14시까지 관측하였으며 시간대별 GDOP(기하학적 정밀도 저하율)평균은 약 2.8로 나타났으며 이 정도는 가장 양호한 성과라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1차적으로 관측된 모든 삼각점을 이용해 변환계수를 산정하여 계산된 변환요소를 각 삼각점에 적용하여 현행 성과를 산출한 다음 3차원 표준편차가 큰 삼각점을 제외시키는 방법으로 삼각점간의 부합관계를 분석하였다.

최초 제주지역에는 1, 2, 3, 4등 삼각점이 74점이 있었으나 대정25년(1939)에 14점이 복구 재설되었으나 이에 대한 계산 결과가 없는 실정이다.

본 연구에서는 기존 제주지역의 1, 2등 삼각점이 24점이 있었으나 망실 훼손 등으로 본 관측에서는 19점을 관측하였으며 기존 삼각점중 재설이 안되었다고 판단되는 완전점 및 복구점 8점을 고정하여 8점부터 성과가 불량한

표 3. 삼각점관리 이력 사항

번호	점 명	상 태	8점 고정점
1	군 산	93 재설	
2	돌 오 림	93 복구	◎
3	서 우 봉	완 전	◎
4	대 록 산	93 재설	
5	바늘오름	93 복구	
6	당 산 봉	39 복구	◎
7	비 양 도	완 전	◎
8	높은오름	93 재설	
9	만 장 굴	위치이동	
10	사 라 봉	완 전	◎
11	고 근 산	93 재설	
12	고 내 봉	93 재설	
13	한 라 산	77 복구	◎
14	지 미 봉	93 복구	◎
15	매 오 림	완 전	◎
16	우 도	93 재설	
17	가 파 도	93 재설	
18	자 매 봉	93 재설	
19	독 자 봉	93 재설	

표 4. 변환점 명칭 및 점수

고정점	점 명
8점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 지모봉, 매오름, 한라산
7점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 지모봉, 매오름
6점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉, 지모봉
5점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도, 사라봉,
4점	돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도
3점	서우봉, 당산봉, 비양도

표 5. 변환 7파라미터

고정점	Xo	Yo	Zo	Rx	Ry	Rz	Scale
8점	92.035	-434.270	-646.896	2.002	-3.727	7.449	-14.988
7점	103.917	-450.043	-634.573	2.341	-3.024	7.690	-13.456
6점	107.471	-455.522	-640.117	1.749	-2.274	8.332	-12.123
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
3점	142.946	-502.775	-677.461	1.509	-1.882	8.612	-1.155

표 6. 변환결과 3차원 표준편차(8점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
돌오름	357.59	-350.75	-683.75	0.34
서우봉	357.12	-349.43	-683.42	0.47
당산봉	357.72	-351.29	-684	0.76
비양도	357.6	-351.06	-684.06	0.53
사라봉	357.26	-349.91	-683.63	0.4
한라산	357.45	-349.99	-683.42	2.13
지모봉	356.95	-348.65	-682.92	0.9
매오름	357.15	-349.02	-682.8	0.43
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.59	-350.6	-683.54	0.49
대록산	357.19	-349.29	-683.09	0.25
바늘오름	357.22	-349.54	-683.32	0.37
높은오름	357.09	-349.05	-683.06	0.36
만장굴	357.05	-349.09	-683.2	0.39
고근산	357.46	-350.1	-683.29	0.53
고내봉	357.48	-350.64	-683.92	8.2
우도	356.9	-348.43	-682.79	37.22
가파도	357.71	-350.98	-683.6	11.77
자매봉	357.28	-349.51	-683.04	0.18
독자봉	357.07	-348.86	-682.84	0.32

표 7. 변환결과 3차원 표준편차(7점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
돌오름	357.77	-350.53	-683.92	0.1
서우봉	357.17	-349.2	-683.57	0.44
당산봉	357.93	-351.07	-684.15	0.42
비양도	357.78	-350.84	-684.18	0.26
사라봉	357.34	-349.68	-683.76	0.6
지모봉	356.98	-348.42	-683.13	0.62
매오름	357.24	-348.8	-683.06	0.7
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.78	-350.39	-683.74	0.36
대록산	357.27	-349.06	-683.3	0.39
바늘오름	357.3	-349.31	-683.5	0.51
높은오름	357.14	-348.82	-683.26	0.21
만장굴	357.08	-348.86	-683.38	0.31
고근산	357.62	-349.88	-683.51	0.79
고내봉	357.61	-350.42	-684.04	8.06
한라산	357.58	-349.76	-683.61	2.45
우도	356.91	-348.21	-683.01	37.49
가파도	357.95	-350.77	-683.81	11.55
자매봉	357.41	-349.29	-683.27	0.49
독자봉	357.13	-348.63	-683.07	0.07

표 8. 변환결과 3차원 표준편차(6점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
돌오름	357.84	-350.45	-683.96	0.16
서우봉	357.04	-349.16	-683.74	0.31
당산봉	358.05	-351	-684.13	0.33
비양도	357.83	-350.81	-684.17	0.2
사라봉	357.26	-349.64	-683.88	0.59
지모봉	356.81	-348.32	-683.4	0.59
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.87	-350.26	-683.81	0.42
대륙산	357.19	-348.94	-683.51	0.52
바늘오름	357.22	-349.23	-683.67	0.55
높은오름	357.02	-348.72	-683.49	0.23
만장굴	356.94	-348.79	-683.59	0.23
고근산	357.66	-349.73	-683.65	0.94
고내봉	357.61	-350.39	-684.08	8.06
한라산	357.57	-349.65	-683.74	2.60
매오름	357.18	-348.63	-683.31	1.01
우도	356.73	-348.09	-683.31	37.62
가파도	358.1	-350.62	-683.85	11.5
자매봉	357.39	-349.13	-683.47	0.7
독자봉	357.03	-348.49	-683.34	0.3

표 9. 변환결과 3차원 표준편차(5점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
돌오름	357.78	-350.4	-684.06	0.17
서우봉	356.69	-349.51	-683.63	0.23
당산봉	358.14	-350.85	-684.23	0.13
비양도	357.9	-350.77	-684.16	0.12
사라봉	357.03	-349.89	-683.79	0.25
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.74	-350.19	-684.01	0.31
대륙산	356.74	-349.22	-683.59	0.45
바늘오름	356.86	-349.49	-683.67	0.24
높은오름	356.52	-349.07	-683.51	0.50
만장굴	356.47	-349.2	-683.52	0.41
고근산	357.4	-349.76	-683.85	0.84
고내봉	357.58	-350.46	-684.02	8.09
한라산	357.3	-349.76	-683.82	2.49
지모봉	356.21	-348.79	-683.38	1.35
매오름	356.62	-348.9	-683.5	1.31
우도	356.06	-348.59	-683.31	36.93
가파도	358.06	-350.43	-684.13	11.16
자매봉	356.96	-349.3	-683.66	0.73
독자봉	356.44	-348.84	-683.45	0.75

표 10. 변환결과 3차원 표준편차(4점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
돌오름	357.82	-350.37	-684.07	0.20
서우봉	356.79	-349.39	-683.69	0.07
당산봉	358.14	-350.84	-684.23	0.12
비양도	357.9	-350.74	-684.19	0.12
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.79	-350.17	-683.99	0.36
대륙산	356.87	-349.11	-683.6	0.45
바늘오름	356.96	-349.39	-683.7	0.33
높은오름	356.66	-348.95	-683.54	0.36
만장굴	356.6	-349.06	-683.57	0.25
사라봉	357.11	-349.79	-683.84	0.38
고근산	357.48	-349.72	-683.83	0.91
고내봉	357.61	-350.4	-684.07	8.06
한라산	357.39	-349.69	-683.83	2.57
지모봉	356.37	-348.64	-683.42	1.13
매오름	356.77	-348.8	-683.49	1.24
우도	356.24	-348.43	-683.35	37.15
가파도	358.09	-350.44	-684.09	11.2
자매봉	357.08	-349.22	-683.65	0.74
독자봉	356.6	-348.72	-683.46	0.60

표 11. 변환결과 3차원 표준편차(3점고정)

점명	Sx	Sy	Sz	3d RMS
서우봉	356.79	-349.35	-683.73	0.02
당산봉	358.21	-350.78	-684.26	0.08
비양도	357.96	-350.68	-684.21	0.1
변환에서 제외시킨 점				
군산	357.84	-350.1	-684.04	0.45
돌오름	357.87	-350.31	-684.1	0.3
대륙산	356.87	-349.06	-683.66	0.52
바늘오름	356.97	-349.35	-683.75	0.4
높은오름	356.65	-348.91	-683.6	0.39
만장굴	356.59	-349.03	-683.62	0.27
사라봉	357.12	-349.75	-683.87	0.43
고근산	357.51	-349.65	-683.89	1
고내봉	357.65	-350.35	-684.09	8.02
한라산	357.41	-349.64	-683.88	2.64
지모봉	356.34	-348.6	-683.48	1.13
매오름	356.77	-348.74	-683.56	1.32
우도	356.21	-348.4	-683.41	37.19
가파도	358.15	-350.36	-684.14	11.15
자매봉	357.1	-349.16	-683.71	0.82
독자봉	356.59	-348.67	-683.53	0.65

삼각점을 하나씩 배제 시키면서 3점까지 계산을 하였다.

이상과 같은 방법으로 표준편차가 과대하게 발생하는 삼각점을 순차적으로 제외시켜 나가는 방법으로 변환계수에 대한 표준편차가 $\pm 20\text{cm}$ 내의 정도가 될 때 까지 반복 계산을 수행하였다.

변환계수 산출에 과대한 영향을 주는 점은 변환에 이용된 삼각점들과 망구성이 양호하게 되지 못함을 의미하기 때문에 이러한 점들은 복구나 하거나 재설될 때 문제가 발생된 삼각점들 이라는 것을 유추 할 수 있다.

최종적으로 표준편차가 $\pm 20\text{cm}$ 이내에서 상호 결합되는 삼각점은 4점(돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도)으로 분석되었다. 한라산과 고내봉이 대삼각 본점을 기선으로 시작하여 비양도, 당산봉, 모슬봉, 군산을 하나의 삼각점 망을 형성하여 계산하였다고 추정을 할 수가 있다.

하나의 망으로 구성된 7점의 삼각점중 모슬봉은 1939년에 재설되었고 고내봉과 군산은 최근에 재설되었으며 한라산인 경우는 복구를 하거나 위치 이동이 있는 것으로 추측 할 수가 있는데 표준편차가 작은 4점중 3점이 이망도에 해당된다.

나머지 15점은 상호간에 부합되지 못하는 점들로서 이

표 12. X,Y,Z성분별 변환오차와 표준편차

고정점수	x-성분	y-성분	z-성분	표준편차
8점고정	0.291	0.450	0.344	0.637
7점고정	0.200	0.212	0.186	0.346
6점고정	0.209	0.195	0.084	0.298
5점고정	0.077	0.105	0.069	0.147
4점고정	0.070	0.083	0.065	0.127
3점고정	0.045	0.028	0.073	0.090

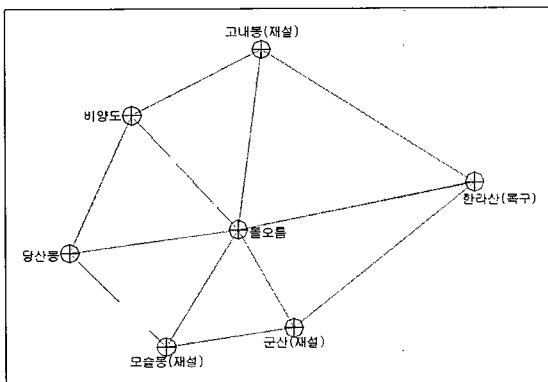


그림 6. 최초 삼각점 계산 망도

러한 삼각점은 본 연구에서 분석된 양호한 4개의 삼각점을 기준으로 성과를 다시 산출해야 할 것으로 판단된다. 현재 제주도 1, 2등 삼각점 중에서 상호 부합되지 못하는 삼각점의 변환결과는 표 13과 같다.

따라서 제주지역의 정밀한 새로운 측지망을 구성하기 위해서는 본 연구에서 결정된 4곳의 양호한 점을 기준으로 삼변망 동시조정을 통해 새로운 성과를 산출하여야 한다. 본 연구에서는 GPS로 관측된 각 삼각점간의 기선거리를 벡셀타원체면상에 투영하여 기준면상의 거리로 환

표 13. 불부합점에 대한 변환결과

점명	구 분	기준좌표	변환좌표	차이량
군산	X	23192.84	23192.96	0.12
	Y	141273.09	141272.68	-0.41
대륙산	X	39245.58	39245.10	-0.48
	Y	174764.25	174764.01	-0.24
바늘오름	X	45325.11	45324.80	-0.31
	Y	167738.31	167737.96	-0.35
높은오름	X	45583.35	45583.03	-0.32
	Y	180686.51	180686.57	0.06
만장굴	X	53269.53	53269.32	-0.21
	Y	179094.99	179095.03	0.04
사라봉	X	52477.97	52477.74	-0.23
	Y	157635.42	157635.00	-0.42
고근산	X	24639.56	24639.17	-0.39
	Y	154538.83	154537.95	-0.88
고내봉	X	46083.12	46079.34	-3.78
	Y	138683.42	138690.54	7.12
한라산	X	35129.87	35127.95	-1.92
	Y	156128.90	156127.10	-1.80
지모봉	X	50326.54	50326.38	-0.16
	Y	190858.28	190859.15	0.87
매오름	X	30193.62	30192.42	-1.20
	Y	182569.41	182569.40	-0.01
우도	X	49491.61	49470.93	-20.68
	Y	196697.36	196666.10	-31.26
가파도	X	14072.32	14083.72	11.40
	Y	132038.83	132039.15	0.32
자매봉	X	28374.67	28374.02	-0.65
	Y	169836.43	169836.03	-0.40
독자봉	X	37987.74	39987.25	-0.49
	Y	186296.35	186296.48	0.13

표 14. 망조정을 위한 입력성과(Bessel)

번호	명 칭	X	Y
1	군산	23192.84	141273.09
2	돌오름	31278.96	136728.95
3	서우봉	55529.59	169981.09
4	대록산	39245.58	174764.25
5	바늘오름	45325.11	167738.31
6	당산봉	29380.65	122904.5
7	비양도	40661.06	128040.52
8	높은오름	45583.35	180686.51
9	만장굴	53269.53	179094.99
10	사라봉	52477.97	157635.42
11	고근산	24639.56	154538.83
12	고내봉	46083.12	138683.42
13	한라산	35129.87	156128.9
14	지모봉	50326.54	190858.28
15	매오름	30193.62	182569.41
16	우도	49491.61	196697.36
17	가파도	14072.32	132038.83
18	자매봉	28374.67	169836.43
19	독자봉	37987.74	186296.35

표 15. 망조정을 위한 WGS 84 입력 성과

번호	명 칭	WGS84 위도	WGS84 경도	타원체고	표고
1	군산	33-15-11.206	126-22-14.154	356.11	331.05
2	돌오름	33-19-32.7238	126-19-16.5874	462.39	437.32
3	서우봉	33-32-45.0282	126-40-39.3074	135.26	109.45
4	대록산	33-23-56.9233	126-43-46.359	497.99	471.82
5	바늘오름	33-27-13.5754	126-39-13.6901	576.32	550.16
6	당산봉	33-18-27.8753	126-10-22.7169	170.39	146.03
7	비양도	33-24-35.258	126-13-37.9989	136.72	112.11
8	높은오름	33-27-23.0824	126-47-35.0505	429.7	403.59
9	만장굴	33-31-32.4517	126-46-32.775	118.55	92.58
10	사라봉	33-31-4.4682	126-32-41.2833	172.77	147.11
11	고근산	33-16-0.4527	126-30-46.3403	419.23	393.62
12	고내봉	33-27-33.4958	126-20-28.8059	198.07	172.99
13	한라산	33-21-41.1286	126-31-45.9073	1973.06	1946.85
14	지모봉	33-29-57.5296	126-54-8.7804	188.8	162.69
15	매오름	33-19-3.6498	126-48-49.0333	159.42	133.45
16	우도	33-29-29.8872	126-57-53.7617	152.85	126.66
17	가파도	33-10-13.6011	126-16-19.9178	43.56	19.09
18	자매봉	33-18-3.6119	126-40-36.9738	234.3	208.38
19	독자봉	33-23-16.8515	126-51-12.6973	182.23	156.17

산하는 절차를 통해 4점 고정에 의한 3변망 조정을 수행하였다. 또한 기존좌표와 GPS변환좌표와의 차이량을 알 수 있다.

표 16에 나타난 내용은 두 번째 열은 삼변망 조정시 적용된 경중률을 정량적으로 나타내기 위한 숫자로 0이 의

표 16. 삼변망 조정 결과

번호	FIX	점명	입력경위도좌표 (위도) (경도)	조정경위도좌표 (위도) (경도)	조정치 (초) (초)
3변 망조정 고정점					
2	2	돌오름	33-19-21.0085	33-19-21.0085	0
			126-19-13.4718	126-19-13.4718	0
3	2	서우봉	33-32-33.3930	33-32-33.3930	0
			126-40-36.3037	126-40-36.3037	0
6	2	당산봉	33-18-16.1472	33-18-16.1472	0
			126-10-19.5431	126-10-19.5431	0
7	2	비양도	33-24-23.5769	33-24-23.5769	0
			126-13-34.8435	126-13-34.8435	0
3변 망조정된 성과					
1	0	군산	33-14-59.4575	33-14-59.4612	0.004
			126-22-11.0601	126-22-11.0442	-0.016
4	0	대록산	33-23-45.2444	33-23-45.2290	-0.015
			126-43-43.3715	126-43-43.3622	-0.009
5	0	바늘오름	33-27-01.9145	33-27-01.9044	-0.01
			126-39-10.6851	126-39-10.6717	-0.013
8	0	높은오름	33-27-11.4190	33-27-11.4086	-0.01
			126-47-32.0727	126-47-32.0751	0.002
9	0	만장굴	33-31-20.8122	33-31-20.8052	-0.007
			126-46-29.7953	126-46-29.7969	0.002
10	0	사라봉	33-30-52.8313	33-30-52.8239	-0.007
			126-32-38.2498	126-32-38.2335	-0.016
11	0	고근산	33-15-48.7239	33-15-48.7112	-0.013
			126-30-43.3082	126-30-43.2742	-0.034
12	0	고내봉	33-27-21.9520	33-27-21.8308	-0.121
			126-20-25.4148	126-20-25.6914	0.277
13	0	한라산	33-21-29.4869	33-21-29.4243	-0.063
			126-31-42.9175	126-31-42.8484	-0.069
14	0	지모봉	33-29-45.8750	33-29-45.8699	-0.005
			126-54-05.8062	126-54-05.8401	0.034
15	0	매오름	33-18-51.9605	33-18-51.9215	-0.039
			126-48-46.0604	126-48-46.0599	0
16	0	우도	33-29-18.8944	33-29-18.2230	-0.671
			126-57-52.0510	126-57-50.8403	-1.211
17	0	가파도	33-10-01.4551	33-10-01.8251	0.37
			126-16-16.7683	126-16-16.7774	0.009
18	0	자매봉	33-17-51.9017	33-17-51.8805	-0.021
			126-40-33.9737	126-40-33.9582	-0.015
19	0	독자봉	33-23-05.1657	33-23-05.1497	-0.016
			126-51-09.7331	126-51-09.7383	0.005

미하는 것은 미지점으로 두고 조정된다는 것을 나타낸다. 세 번째 열은 측점을 나타내고 네 번째 열은 조정전의 경위도 좌표를 나타낸다. 다섯 번째 열은 조정 후의 각 측

점에 대한 경/위도 좌표를 나타내며 맨 마지막 열은 삼변망 조정결과에 대한 추정오차를 나타낸다.

4. 결 론

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

1. 제주지역의 삼각점에 대한 단계적인 분석을 통해 가장 양호한 삼각점들을 선별할 수가 있었으며 오차 한계를 초과하여 기준점으로 부족한 것도 발견 할 수 있었다.
2. 제주지역의 기준점이 정확성을 기하기 위해서는 가장 양호하게 추출된 점을 고정으로 삼변망 조정을 수행하여 제주지역에 대해 새로운 측지망을 구성하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
3. 현황성과중 가장 양호하게 추출된 삼각점점들을 고정으로 삼변망 조정을 수행하였으며 추정오차 10cm 이내의 정도로 제주지역에 대해 새로운 정밀 측지망을 구축

하였다. 새롭게 구축된 삼각망의 성과는 제주지역에 대해 각종 기준점간의 오차는 최소가 될 것이며 향후 세계좌계로 전환되더라도 본 연구에서 결정한 ITRF좌표는 그대로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 이영진 (1998), 3차원 기선벡터망 조정기법에 의한 국가기본점의 성과산정(KTRF94), 한국측지학회지, 제 16권, 제 1호, pp. 141-150.
- 이용창, 정밀절대측위 기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정, 한국측지학회지, 제 17권, 제 2호, pp. 145-152
- 최재화, 최윤수 (1994), 우리나라 정밀 1차 측지망 측량의 성과 분석, 한국측지학회지, 제 12권, 제 1호, pp. 15-24.
- 최재화, 최윤수 (1995), 1, 2등 삼각점의 실용성과 정밀산정, 한국측지학회지, 제 13권, 제 1호, pp. 1-12.
- 행정자치부 (2005. 3. 2), GPS를 이용한 지적측량 기술개발등에 관한 연구, 제 1과제.
- Paul R. Wolf Charles D. Ghilani (1996), *Adjustment computatins*, a wiley-interscience publication.

(접수일 2005. 8. 18, 심사일 2005. 8. 26, 심사완료일 2005. 9. 13)