

2006년 2월

박사학위 논문

도서지역 기준점의 정확도 해석에
의한 측지 기준망 활용

조선대학교 대학원

토목공학과

양 영 보

도서지역 기준점의 정확도 해석에
의한 측지 기준망 활용

*The Utilization of Geodetic Network by means of
Analysis for Accuracy of Ground Control Points
In Island*

2006년 2월 일

조선대학교대학원

토목공학과

양 영 보

도서지역 기준점의 정확도 해석에 의한 측지 기준망 활용

지도교수 정 영 동

이 논문을 공학박사학위 논으로 제출함.

2005년 11 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

토목공학과

양 영 보

양영보의 박사학위 논문을 인준함

위원장 연세대학교 교수 _____ (인)

위 원 광주대학교 교수 _____ (인)

위 원 조선대학교 교수 _____ (인)

위 원 조선대학교 교수 _____ (인)

위 원 조선대학교 교수 _____ (인)

2005년 12월 일

조선대학교 대학원

목 차

목 차	1
표 목차	3
그림목차	5
<i>ABSTRACT</i>	7
제 1 장 서론	1
1.1 연구목적	3
1.2 연구동향	4
1.3 연구내용 및 방법	8
제 2 장 기준점 관측	10
2.1 최초측량당시 기준점 측량	10
2.1.1 대상각 본점 측량	10
2.1.2 기선측량	13
2.1.3 수준측량	15
2.2 GPS위치 관측	17
2.2.1 절대위치 관측	20
2.2.2 상대위치 관측	22
2.3 관측 오차	27
2.3.1 체계 오차	27
2.3.2 관측 수신기의 오차	30
2.3.3 위성의 배치상태에 따른 오차	31
2.4 기준계 좌표조정	33
2.4.1 측지 좌표계	33

2.4.2 지구중심 좌표계	34
2.4.3 기준타원체	37
2.4.4 세계 측지계	41
제 3 장 관측망 자료 분석	49
3.1 제주지역 삼각점	49
3.2 관측망 구성 및 관측	54
3.3 관측자료 분석	56
제 4 장 관측자료 처리 및 해석	67
4.1 기선해석 및 <i>ITRF</i> 좌표 산출	67
4.2 관측 성과처리	73
4.2.1 좌표변환	73
4.2.2 삼변망 조정	88
4.2.3 현황분석	92
제 5 장 결론	96
참고 문헌	98
부록1 제주지역 관측자료	103
부록2 변환결과 3차원 표준편차	108
부록3 제주지역 기선해석 및 점검	116
부록4 제주시내 <i>RTK-GPS</i> 측량도	122
부록5 제주시내 <i>RTK-GPS</i> 좌표계산부	126
부록6 제주지역 삼각점 성과대비 좌표	129
부록7 제주지역 삼변망 조정결과	133

〈 표 목 차 〉

표 2.1	최초측량당시 한, 일 연결망도	11
표 2.2	최초측량당시 삼각망의 정확도	13
표 2.3	기선측량 시 인원배치 현황	14
표 2.4	기선장 명칭 및 거리, 관측일수	14
표 2.5	힘조장별 평균해면 및 수준점 표고	15
표 2.6	년도별 수준측량 매설점수 및 거리	16
표 2.7	수준측량 거리 및 관측 오차	16
표 2.8	제주지역 대삼각 본점 높이	17
표 2.9	GPS 위치관측의 종류	18
표 2.10	절대위치 관측과 상대위치 관측의 비교	19
표 2.11	절대위치 관측과 상대위치 관측의 특징	20
표 2.12	후처리 방식의 분류	24
표 2.13	RTK-GPS와 DGPS의 비교	26
표 2.14	GPS 체계 오차	28
표 2.15	GPS 수신기오차	30
표 2.16	DOP의 종류	32
표 2.17	DOP의 정도	33
표 2.18	지역기준 타원체 상수	38
표 2.19	WGS84 와 GRS80 결정인자	39
표 2.20	WGS84 와 GRS80 타원체상수	40
표 3.1	좌표 역계산 및 대수의 거리	50
표 3.2	제주지역의 삼각점 매설점수	50
표 3.3	제주지역의 최초측량당시 삼각점 성과표	51
표 3.4	1939년 당시 굴14 계산자료	52

표 3.5	최초측량당시 삼각점간 거리	53
표 3.6	session 중복도	54
표 3.7	관측월일 및 관측시간	57
표 3.8	제주지역의 상시관측소	60
표 4.1.	기선해석을 위한 처리항목 설정값	69
표 4.2	기선해석 결과	72
표 4.3	삼각점관리 이력사항	75
표 4.4	고정점 명칭 및 점수	76
표 4.5	고정점 변화에 따른 7매개변수	76
표 4.6	ΔX , ΔY , ΔZ 성분별 변환오차와 3차원 표준편차	79
표 4.7	session 관측 교차계산	81
표 4.8	불부합점에 대한 변환결과	85
표 4.9	망조정을 위한 입력성과(Bessel)	88
표 4.10	망조정을 위한 WGS84 입력성과	89
표 4.11	삼변망 조정결과 경·위도 좌표	90
표 4.12	RTK를 위한 제주시내 보조점의 위치	92
표 4.13	RTK-GPS 측량위치 이동량	94
표 4.14	본 연구와 전국지적기준망 구축자료비교	95

<그림 목차>

그림 2.1 절대위치 관측 후처리 상대위치 관측	23
그림 2.2 실시간 이동식 위치관측	25
그림 2.3 전리층과 대류권 굴절오차	29
그림 2.4 고도실행 영역	29
그림 2.5 다중경로 오차	31
그림 2.6 측지 좌표계	34
그림 2.7 WGS84 좌표계	37
그림 2.8 단일 천문점에 의한 지역기준계 정의	43
그림 2.9 평면직교 좌표계	44
그림 2.10 좌표계의 변환과정	45
그림 2.11 Bursa-Wolf의 7매개변수를 이용한 변환모형	47
그림 3.1 최초측량당시 제주지역 관측망도	53
그림 3.2 제주지역 삼각점 망도	54
그림 3.3 GPS 관측망도	55
그림 3.4 DOP(정밀도 저하율)	58
그림 3.5 가시위성 그래프	58
그림 3.6 우리나라의 GPS 상시관측소	59
그림 3.7 군산 정지식 측량모습	60
그림 3.8 도두봉 정지식 측량모습	61
그림 3.9 RTK - GPS 측량 전 모습	61
그림 3.10 RTK - GPS Rover 측량모습	62
그림 3.11 전 세계 지각변동 벡터도	63
그림 3.12 GPS 위성 기준점의 변동 벡터도	63
그림 3.13 수치지도(1:5,000)와 지적도와의 비교	64

그림 3.14 추자도 지역의 수치지도와 임야도 비교	65
그림 4.1 자료처리 흐름도	68
그림 4.2 자료처리 초기화 영상화면	71
그림 4.3 7매개변수 변화량	77
그림 4.4 고정점 변화에 따른 오차변화량	78
그림 4.5 ΔX , ΔY , ΔZ 성분별 변환오차와 3차원 표준편차	80
그림 4.6 유심 삼각망도(추정)	82
그림 4.7 사변형 관측망도(추정)	84
그림 4.8 불부합점에 대한 ΔX , ΔY , 거리 오차량	86
그림 4.9 불부합점에 대한 X , Y 상한별 이동량	87
그림 4.10 삼변망 조정결과	91
그림 4.11 제주시내 보조점 및 RTK-GPS 측량 위치도	93
그림 4.12 본 연구와 전국지적기준망 구축과의 오차량	95

ABSTRACT

The Utilization of Geodetic Network by means of Analysis for Accuracy of Ground Control Points In Island

Yang, Young-Bo

Advisor : Prof. Ph.D. Jung Young-Dong

Department of Civil Engineering

Graduate School, Chosun University

Ground control point is important element for precise positioning.

Recently, surveying connected with setting up of ground control point by GPS, analysis of world geodetic coordinate system (ITRF), and information techniques(ie : GIS, UIS, LIS, ITS, Ubiquitous, etc.) by means of transformation of positioning data are rapidly developing for generation of informations and land use planning on national projects.

This study present device to increase effectiveness to apply geodetic control network by analysis of problems for accuracy of ground control points for JEJU in island area.

We have obtained the following results for feasible application of present ground control points and land use planning by means of GPS and calculate new coordinates.

First, We have distinguished that possibility estimate relation of coincidence between triangulation points in JEJU and triangulation points

exceed duplicate results and tolerance on same triangulation points.

Second, We have presented tolerance limit of triangulation points that now recognize good results and possibility of application when world geodetic coordinate system is converted.

Third, We could confirm that disparity between digital map made by RTK-GPS surveying and conventional cadastral map cause disparity of conventional triangulation points.

Thus, main result of this study is that direction to accomplish rationally present on planning of land use in JEJU to apply geodetic control network using coincidence between triangulation points in JEJU and accuracy analysis of ground control points.

Key words : ground control point, GPS, world geodetic coordinate system, ITRF, GIS, UIS, LIS, ITS, Ubiquitous, triangulation point, geodetic control network, RTK-GPS, cadastral map

요지(ABSTRACT)

측량기준점은 정확한 위치 설정에 중요한 요소이다.

최근 GPS에 의한 측량기준점의 설정, 새로운 좌표계에 의한 위치자료 해석 및 위치자료 적용 기법 개발(GIS, UIS, LIS, LBS, ITS, Ubiquitous등)로 국토 관련 정보의 생산과 활용 등에 측량의 활용도가 날로 증대되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 도서지역인 제주도에 대한 기준점의 정확도 해석으로 측지 기준망의 활용의 문제점과 효과를 증대시키는 방안을 제시하고자 하였다.

본 연구를 위하여 제주지역의 삼각점을 GPS로 관측하고 새로운 좌표 산출을 통하여 현 성과의 활용가능성과 토지 이용 등을 분석한 결과 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

첫째, 제주 지역의 삼각점 간의 부합관계여부의 판단 가능성, 동일 삼각점에 대한 이중성과 및 허용오차를 초과하는 삼각점 등을 선별할 수 있었다.

둘째, 현재 가장 양호하다고 인정되는 삼각점의 정확도 허용 한계와 세계좌표계로 전환 시 활용가능성을 제시하였다.

셋째, 새로운 성과를 기준으로 한 RTK-GPS 측량으로 제작된 수치도면과 기존의 지적도와와의 불 부합이 기존의 삼각점 간의 불 부합으로 인한 원인이라는 것을 확인 할 수 있었다.

이상과 같이 제주지역의 현행 삼각점간의 부합관계의 적절한 판단과 GPS측량에 의한 기준점의 정확도 해석을 통한 측지 기준망을 활용하므로서 제주지역 토지이용계획을 합리적으로 수행할 수 있도록 방향을 제시할 수 있는 것이 본 연구의 큰 성과라 하겠다.

제 1 장 서 론

측량 기준점은 정확한 위치 선점이 중요한 요소로서 위성측량, 무선네트워크, 전자칩 기술의 기초로 이용되고 있다. 사용자가 장소와 시간에 구애받지 아니하고 자유롭게 네트워크에 접속하여 원하는 정보를 얻을 수 있는 '유비쿼터스(Ubiquitous)' 라는 새로운 통합기술에서도 위치자료는 필수적인 자료로 요구되고 있다.

우리나라의 지적정보가 가지고 있는 문제점은 행정구역 간, 축척 간, 도면 간 접합에 따라 이격, 중첩 등 경계선의 불일치로 경계분쟁 해소를 위한 보완측량이 필요하며, 행정관청에서 현황과악을 목적으로 많이 사용하고 있는 수치지형도와 중첩하여 분석할 수 있는 방법에는 문제점이 대두되고 있다. 지적도면은 2차원 측량에 의해 제작된 것으로 정보기술의 발달과 더불어 증가하고 있는 민원인의 다양한 행정 서비스 요구를 만족시킬 수 없는 상황이다. 지적도는 국민의 재산권과 직접적으로 관련이 있고 단순한 자료정비 차원에서 수정 및 보완을 할 수 없으며 이해관계자의 요구로 강제접합을 시킬 수 없는 자료이다. 따라서 이를 위해서는 일관성 있는 계획이 있어야 한다.

제주지역은 최초측량당시 육지부에서부터 삼각 및 수준측량 성과를 이용하여 제주도를 측량하여 현재에 이르렀다. 그러나 측량성파에서 정확성 확보의 필요성이 요구되는 문제는 현재 매설되어 있는 삼각점 성과가 부정확하다는 것과, 특히 제주 도서지역인 경우 기준점이 망실, 훼손, 복구 등 삼각점 성과에 대한 의문점이 많아 시급한 대책이 요구되며 특히 도서지역에 대한 기준점은 체계적인 정비가 필요한 실정이다.

GPS(Global Positioning System)의 유비쿼터스 활용은 위치결정에 핵심적 역할을 수행하고 있으며, 수치 사진측량, 원격탐측(RS : Remote Sensing)기술 등과 연계하여 각종 지형공간정보 취득에 큰 기여를 하고 있다. 현재 국내

GPS활용은 측지측량보다 자동차항법체계(car navigations system)의 활용도가 더 많아지고 있는데 이는 DGPS(Differential GPS) 분야가 위성을 이용한 보정자료 전송방식을 이용해 광역서비스를 실현하는 SBAS(Satellite-Based Augmentation System)가 되기 때문이다. 또한 수치사진측량, 원격탐측, Lidar 기술개발 등의 발전은 GPS와 결합되어 각종 지형공간정보를 빠르고 정확하게 취득할 수 있게 되었다. 전자통신기술의 발달로 사물의 위치를 정확히 파악하고 수치지형도와 지적도 기반에서의 위치정보 취득과 추적이 가능한 위치기반 서비스 LBS(Location Based Service)는 중요한 요소이며, UIS(Urban Information System)기법으로 인구, 교통, 건물, 환경 등 도시종합정보체계에 관한 급속히 증대되고 있는 추세다.

측지측량 분야에서도 GPS를 이용한 측량방법이 정착되어 건설교통부는 2005년 7월1일부로 현재의 좌표체계를 새로운 좌표계로 전환할 계획으로 수치지도와 함께 새로운 좌표계로 전환될 전망이다.

GPS를 대표하는 위성위치 관측체계는 측량 및 측지분야는 물론 지능형 도로체계(ITS : Intelligent Transport System)와 같은 응용분야 및 지각변동 조사 등 일상생활에 필수요건을 담당하고 있다.

지적도면은 종이로 제작되어 그 지역별로 자료특성이 다를 수 있으며 장기간 사용으로 인한 도면의 신축, 마모, 훼손 등으로 토지 경계분쟁, 불부합지 발생, 도곽 접합 시 이격, 중첩 등 많은 문제점이 나타나고 있다.

지적공부에 사용하는 도면은 매우 다양한 종류의 축척이 있으며, 종이 지적도는 축척에 의하여 실지 경계선을 축소하여 도화하였기 때문에 측량기술자 별로 판독에 차이가 있을 수 있으며 수치지도상에 표시하는 데는 한계가 있고 측량에 대한 오차 인정범위는 지적법 시행규칙에 정하여 적용하고 있다.

그러나 이러한 종이 지적도를 경계측량 시 소유자가 인정하느냐 하는 의문점은 각각의 소유자가 측량의 정확도를 알 수가 없어 아직까지는 별 무리 없이 측량을 하였으나 일관성이 없고 많은 문제점이 대두되고 있는 실정이다. 제주

지역의 경우 지리정보체계(GIS : Geographic Information System)도면을 지적도와 중첩하여 지하수, 생태계, 경관도면을 발급하고 있으나 이는 수치지도(1:5,000)와 지적도를 단순 비교하는 실정이며 1필지 단위의 완결된 도면을 완성하기 위해서는 지적도면의 정확성을 제고할 필요가 있다. 현재 행정관청에서 사용 중인 연속지적도면은 강제접합방식(1:500, 1:600, 1:1,200, 1:6,000등)에 의하여 연속도면으로 그 정확성이 담보되지 않고 있다. 이로 인하여 지적도와 지형도를 중첩활용은 한계가 있으며 제주지역 지적도의 발급은 전산 처리된 한 장의 도곽으로 발급하고 있고, GIS 도면발급은 연속지적으로 전산발급이 되고 이에 따른 오차가 수반되어 문제점으로 대두되고 있다.

본 연구에서는 동일한 삼각점이지만 이중성과가 있는 삼각점들도 다수 있고 하나의 산 정상에 2개의 삼각점이 매설되어 측량 종사자는 혼란을 초래하고 있으며, 기준점으로 성과가 불부합한 삼각점들도 다수 있어 단계적인 분석을 통하여 대삼각 본점 및 대삼각 보점을 관측하여 3차원 망조정을 실행하여 제주지역의 삼각점을 재정립 하고자 한다.

1. 1 연구목적

건설교통부 국토지리정보원에서는 이미 GPS 좌표와 측지성과의 실시간 호환과 세계 측지계로 변경이라는 국제적인 흐름에 따라 측량의 기준을 현행국지 좌표계에서 세계 측지 좌표계로 변경 시행하고 있다(국토지리정보원, 2003).

개정된 측량법(2002. 7. 24)에 따라 2003년 1월 1일부터 측량의 기준이 세계 측지 좌표계로 시행하여 종래의 국지 좌표계는 2006년 12월까지 병행 사용하고, 2007년 1월부터는 세계 측지 좌표계로 전환적용하게 될 계획이다. 국내 측지 기준계는 세계 좌표계의 전환이라는 현실적인 측면에서 측량 종사자들은 기존국지 좌표계의 전환이라는 시점에 직면해 있다.

우리나라 삼각점은 대삼각점과 소삼각점으로 구분되고 해방이후 명칭을 대삼

각 본점을 1등, 대삼각 보점을 2등, 소삼각 1등 삼각점을 3등, 소삼각 2등 삼각점을 4등 삼각점으로 각각 변경하였다. 한국동란 등 혼란기를 거치면서 75%가 망실 되거나 훼손된 삼각점을 정비하기 위해 1, 2등 삼각점으로 구성되는 정밀 1차 기준망과 3, 4등 점으로 구성되는 정밀2차 기준망으로 구분하여 1975년부터 1986년까지 정비 완료하였고 현재 국토지리정보원에서는 정비된 삼각점 성과에 대해 신성과(新成果)라는 명칭으로 변경 발급하고 있다.

그러나 도서지역의 경우 정비된 성과에 대한 검증이 이루어지지 않아 시급한 정비가 필요하다. 제주지역의 삼각점은 최초, 복구 또는 재설한 삼각점은 상호 연관성 불비로 측량 종사자는 성과이용에 혼란을 초래하고 있다.

따라서 본 연구는 제주지역의 현행 삼각점간 부합관계를 점검하기 위해 대삼각 본점과 대삼각 보점을 기준으로 최초측량당시의 측지망을 재구성 하여 GPS 관측 결과와 성과해석을 통해 삼각점 간 부합한 성과를 추출하여 기준점의 정확도 해석에 의한 측지망 활용을 위해 제주지역을 그 대상지역으로 연구하여 활용방안을 제시하고자 하는데 목적을 두고 있다.

1. 2 연구동향

국가의 측지 기준계(GRS : Geodetic Reference System)는 위치정보의 기준이 되는 것으로 적용범위는 국가단위를 대상으로 하는 경우와 국제협력을 통하여 전 세계적으로 활용되는 경우 등 다양하다.

국가단위의 측지 기준계는 일반적으로 법령에 기초하여 국가가 정의하고 유지·관리하고 있으며, 측지 기준계의 골격이 되는 측지 기준점(삼각점, 수준점)은 지도제작, 지적측량, 각종 건설공사 등 국토개발 및 방제사업 등에 정확한 위치기준을 제공하여 주고 있다.

Collins, J와 Leick, A.(1985) 등은 1984년 초에 Montgomery County(Pennsylvania)의 측지망의 고도화를 수행하고 관측점간의 관계정확도는 10km에 대해

1-2ppm으로 기존 측지망보다 정확도를 높게 할 수 있는 방법을 연구하였다.

Remondi, B. W.(1985)는 RTK-GPS를 개발하였고 RTK-GPS 수신기를 이동하면서 수초 동안에 cm의 상대정확도를 얻을 수 있었다. 또한 관측점 위치에 좌표를 얻을 수 있는 방법도 연구하였다. Seeber, G.와 Wubbena, G.(1989) 등에 의해 RTK-GPS 측량이 실현되었으며 Seeber, G.와 Wubbena, G는 반송파를 사용하여 OTW(On The Way)에서 불확정 정수를 해결하는 이동식 측량기법을 발표하기에 이르렀다.

다중경로 오차는 인공위성에서 오는 오차가 아니고 반사되어 들어오는 신호를 받아들인 것이다. 반사된 신호는 더 길어진 경로로 인해 틀린 신호를 받아들임으로서 틀린 위치를 관측하게 된다. 이러한 다중경로 오차는 약 1.0 - 2.0m 정도의 크기를 가지고 있으며, Ray, J. K., Cannon, M. E.와 Fenton, P. 등은 대부분 수신기가 저고도 위성의 신호를 수신함에 있어서 생겨나는 결과로서 관측자가 확인 할 수 없다. Loomis, P. V. W.(1989)는 미지정수를 칼만 필터의 상대변수로 사용함으로써 최초로 이동식 측량에 보조 위성군을 적용하는 기법을 제시하였다. 전리층의 지연은 GPS 오차원인 중 매우 큰 부분을 차지하며 일반적으로 약 2m 정도의 크기를 가진다. 그러나 전리층의 지연은 주파수에 반비례하는 특성이 있으므로 2주파 수신기(dual-frequency GPS receiver)를 사용하면 정확하게 시간지연을 관측할 수 있으나 1주파 수신기를 사용할 경우 전리층에 의한 지연된 량으로 GPS 정밀도에 큰 영향을 주게 된다.

최근까지 세계 각국은 천문관측 결과를 기초로 하여 결정한 경·위도 원점으로부터 측지망을 전개하여 각 국가별로 독자적인 측지 기준계를 사용하여 왔으나 최근 들어 VLBI(Very Long Baseline Interferometry), SLR(Satellite Laser Ranging), GPS, DORIS(Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite) 및 GLONASS(Global Navigation Satellite System) 등과 같은 우주·위성 측지기술이 급속하게 발전하면서 지구의 질량중심을 원점으로 하는 전 지구규모의 고정밀 측지 기준계(세계 측지계)로 개발되어 사용되

고 있다(Hofmann-Wellenhof, B. 외2인. 1994, Kanazawa. 1989, Seeber, G. (1993). Shumpter, C. W와 Asher, G. W.(1994) 는 Kinematic GPS를 이용하여 비용을 절감하고 효과적으로 좌표점의 위치를 결정하였다. Lucas, J. R.과 Mader, G. L.(1989) 등은 GPS 관측값에 의한 수신기 위치 정확도가 10cm 보다 좋은 정확도로 결정하는 역할을 하였으며, Lapine, L. A.(1991)에 의해 정밀도 및 정확도 향상을 위한 검정 기법이 연구되었다.

우리나라의 연구동향을 보면 이영진(1998)은 3차원 기선 벡터망 조정기법에 의한 국가 기본점 성과산정을 연구하였으며, 이용창(1997)은 정밀절대위치 관측기법에 의한 GPS 기준점 좌표산정을 하였다. 정영동(2002)은 최적기준점 선정을 위한 GPS와 EDM의 수치계산 조합분석을 하였으며, 정영동과 양영보(2005)는 제주지역의 국가 기준점 분석을 한국측량학회에 발표하였다. 강상구(2003)는 GPS에 의한 정밀측지좌표결정을 위한 지역변환 계수를 산정하였으며, 최한영(2004)은 지적 불부합지 정리의 효율성 제고를 위한 지적측량기법에 관한 연구에서 RTK-GPS와 EDM을 비교 분석 하였다. 행정자치부(2005)에서는 GPS를 이용한 지적측량 기술등에 관한 연구가 있었고 대한지적공사(1998)에서는 전국동시관측 및 RTK-GPS 측량실험사업을 연구하였으며, 2003년 전국지적망 구축에 따른 static 방법으로 우리나라 전역을 관측하여 GPS를 이용한 모바일 측량의 기본 자료제공을 연구하였다. 광재하, (1995) 윤홍식, 최재하는 GPS 측량에 의한 안정된 기준점의 이용에 관한 연구하였고, 권대하, (1995) 윤홍식, 최재하는 7매개변수 좌표변환에 의한 우리나라 측지 좌표계와 WGS84 좌표변환 연구를 하였다.

김용일, (1995) 김동현, 박민호는 GPS 상대위치 관측에서 기준점 오차로 인한 기선 오차모형을 개발을 연구하였으며, 정용식(1997)은 GPS에 의한 측지학적 절대위치 결정에 관한 연구를 수행하였다.

강상구, (2005) 차득기, 이용문, 이창언은 통합 관측방식에 의한 독도의 지적측량 성과도 작성을 연구 발표하였고 박정현, (2005) 박준규, 이용욱, 강준묵은 단기선 Stop & Go GPS 이동식 측량프로그램 개발에 관한 연구를 하였다. 오윤석, (2005)

“등”은 유비쿼터스 시대의 위치정보제공을 위한 인텔리젠트 기준점 설계를 연구하였으며 최석근, (2005) 박경식, 정성혁, 이재기는 GPS 현장 Calibration에 의한 해상구조물의 위치결정 정확도 향상을 수행하였으며, 손동식, (2005) 윤홍식은 지각판 모델별 남한 지역의 지각 변동량을 비교연구 발표하였고, 정래성, (2005) 강상구, 김준식, 양철수는 지적측량 분야에서의 전국 GPS 동시관측 및 활용방안 연구에서 우리나라의 기준점을 2003년 461점, 2004년 881점, 2005년 337점, 2005년 337점을 관측 처리하여 발표한 바 있다.

우리나라에서 사용된 Bessel타원체는 현재 국제측지학협회 (IAG; International Association of Geodesy)에서 사용하도록 권장하고 있는 GRS80(Geodetic Reference System 1980) 타원체와는 장반경이 약 740m, 단반경 약 673m의 차이가 있고, 한국측지 기준계의 원점과 지구의 질량중심을 원점으로 하는 세계 측지 기준계의 원점과의 차이가 남·동 방향으로 약 370m 정도 차가 있는데 이러한 원점의 차이량은 지도좌표에도 대략적으로 같은 양만큼 변화가 발생한다.

측지기준의 전환에 따라서 약 370m의 좌표 변이량을 고려하여야 하는데, 세계 측지 기준계가 지형 공간자료 취득, 관리 및 표현을 위한 기준으로 사용됨에 따라 기존의 종이지도나 수치화된 지형공간정보의 변환조정이 불가피하다. 우리나라는 21C를 고도정밀측량에 대비한 국가 기준점체계 확립은 세계 측지계의 전환을 위해 (2000년 4월 6일 건설교통부장관 방침), 측지 2002사업으로 추진하고, 지도의 체계적인 수정과 갱신을 위한 계획 (02.11.15 원장방침)과 세부추진계획(03.1.23)을 추진하고 있다. 측량법에 의거 2003년 1월 1일부터 세계 측지계로 전면적으로 시행하여야 하나 측량에 관한 경과조치에 의거한 기존의 동경 측지계와 세계 측지계를 2006년 12월 31일까지 병행 사용하도록 고시 (02.12.31)한 바 있다(국토지리정보원. 2003).

1. 3 연구내용 및 방법

1910년 토지조사 최초측량당시 제주도의 삼각점은 한라산, 고내봉, 지미봉을 대삼각 본점으로 관측 후 계산을 거쳐 후속 삼각측량으로 2등점, 3등점, 4등점을 매설 관측하였고 이 삼각점에서 도근측량을 실시하여 독일제 모눈종이 가로(3mm)-세로(3mm) 격자형 도면에 전개하여 평판측량을 실시하였다. 최초측량당시 제주도 토지측량원도(1:1,200)는 부산 정부기록연구소에 비치되어 있고 삼각측량 후 도근측량을 거쳐 평판측량은 도해법으로 측량을 하여 측량도면을 제작하여 지적도 및 임야도가 오늘날까지 근 90여 년 동안 지적도면의 조제를 거치면서 현재까지 사용하고 있다.

제주도 삼각점은 총 74점이 매설되었고 삼각망 구성은 본토(本土)의 1등 삼각망 3점을 이용해 이루어졌는데 당시 육지부의 대삼각 본점은 추자도(楸子島) 삼각점, 태랑도(太浪島) 삼각점, 거문도(巨門島) 삼각점을 연결하여 제주도에 고내봉, 한라산, 지미봉 3점을 연결 관측하여 성과를 계산 후 단계적으로 이루어졌다. 제주도지역의 삼각점은 1939년(대정 25년)에 14점이 복구재설 되었으나 관측결과만 있을 뿐 계산 성과는 찾을 수 없었다.

본 연구는 대삼각 본점 및 대삼각 보점 24점 중 훼손, 망실 등으로 그 위치가 불명확한 삼각점은 제외하고 최초측량당시 삼각점과 최근에 복구, 재설된 21점을 관측 하였으며, RTK(Real Time Kinematic)-GPS 측량을 위하여 제주 시내에 보조점 4점을 포함하여 총 25점을 정지식 관측방법으로 관측을 수행하였다. GPS 관측은 두 가지 방법으로 수행되었으며 삼각점 성과점검과 새로운 좌표산출에 있어서는 정지식 측량방식으로 Sokkia Radian과 Ashtech 2주파 수신기를 이용해 삼각점 당 4시간 이상 관측하였다.

GPS 관측자료 처리는 제주지역의 상시관측소를 이용 제주기상청 국토지리정보원 관측소, 탐라대학교 천문 연구원 관측소, 한라산 성판악 행정자치부 관측소의 성과를 고정하여 기선처리를 한 후 3차원 망조정을 통해 관측한 삼각점에

서 좌표를 산출하였고 좌표변환과 삼변망 조정을 통해 베셀좌표를 계산하였다. 새로 결정된 성과를 이용하여 제주시 지역 지적도와 부합성 여부를 판단하기 위해 제주시내에 4점의 보조점을 관측하여 실시간 RTK-GPS 이동식 측량을 수행하였고 기준국 1대와 Rover 3대를 사용하여 관측하였다.

본 연구에서는 모든 측량을 좌표화 하여 측량성과와 지적도의 지번과 토지대장 및 수치지적부에 기재된 좌표를 편집하여 거리 및 이동방향 등을 비교 분석하고자 한다.

제 2 장 기준점 관측

2. 1 최초측량당시 기준점 측량

우리나라 토지조사 측량은 전 국토의 광무(廣은 동서길이,袤는 남북 길이로 넓은 면적)를 감안 정확한 측량기계를 사용, 각관측법으로 관측하고 르장드르 계산법을 적용하여 토지조사국 사업의 목적에 맞는 측량 기준점을 설치하였다.

2. 1. 1 대삼각 본점 측량

가. 선점

대삼각 본점은 한반도중앙(韓半島中央)에 설치하여 직접 여지학상(與地學上)의 위치를 결정하기로 하였지만 경비 및 시일 관계상 이를 허용할 수 없기 때문에 일본 경·위도 원점을 기준으로 거제도과 절영도(지금의 영도)를 일본 유명산(有明山)과 어악산(鰲嶽山) 삼각망에 연결하여 대삼각 본점 400점(기선 확대점 78점, 대삼각 본점 322점)을 관측하여 성과를 산출하였으며 우리나라의 대삼각 본점 1등 삼각점은 일본의 2등 삼각점에 해당된다. 대삼각 본점 설치는 각조의 담당으로 1910년 60점, 1911년 195점, 1912년 109점, 1913년 32점, 1914년 4점등, 모두 400(기선 확대점 포함)점을 매설하였다.

나. 관측

대삼각 본점 측량은 각관측법(角觀測法)에 의하여 각은 평균값으로 산출하고 계산은 최소자승법(最小自乘法)에 의하여 평균을 취하며 수평각 관측은 기선은 1/100mm 까지 전장에 영향을 미치는 모든 조건을 충족하여야 한다. 관측기계는 독일제 반베르히 제품인 경위의(트렌시)를 사용하였는데 망원경 길이 45.4cm, 배율 35~40배, 0.5초까지 독정할 수 있는 그 당시 경위의로서는 가장 우수한 측량기였다.

시준측점에 일광회조기를 배치하고, 임시토지조사국의 특제품인 제광판을 병용하여 각관측법에 따라 작업을 하였고 사각망(우리나라와 일본연결)관측은 24대회, 기선망 관측에는 12대회, 대삼각 본점은 6대회를 관측하여 평균값을 택하였다. 관측시간은 일출시부터 오전 10시까지, 오후 3시부터 시작하여 일몰시까지 관측하였다. 구름이 끼고 무덥지 않으면 종일 관측할 때도 있었고, 규정시간 이내라도 비온 뒤 습기가 많을 때에는 관측을 하지 않았다. 초창기에 인원의 배치, 기계의 설비 등이 불충분 하였으며 기선망 확대 및 대삼각 본점 계산은 육지측량부의 계산방법에 따랐다.

다. 계산

삼각형의 계산은 르장드르(Legendre)의 정리에 따라 정현비례식(SIN 법칙)에 의하여 기지(既知)의 1변과 관측각을 사용하였고, Log 함수는 소수이하 7위까지 계산하여 점차 다른 변을 계산하였으며 구과량을 계산한 후 평면각으로 환산하였다. 특히 기선망 및 대삼각 본점은 미소한 오차도 다음 대삼각 보점 측량에 영향을 미치므로 작업자는 기술이 우수한 자를 선발하였으며 대마도 연결망은 일본 본토 1등 삼각점에 연결하여 그 결과는 매우 양호하여 0.09초 이내의 오차였고 삼각점의 경·위도와 표고는 표 2.1과 같다.

표 2.1 최초측량당시 한, 일 연결망도

名 稱	위 치	위 도	경 도	표고(m)
有明山	일본 장기현	34-12-04.331	129-16-02.148	558.17
	하현군 엄원정	X=21445.83	Y=133228.84	
籓嶽山	일본 장기현	33-33-41.873	129-22-19.228	457.82
	상현군 상현정	X=173185.64	Y=-11743.57	
巨濟島	거제시 일운면	34-50-56.7771	128-41-446272	554.73
		X=-349665.0678	Y=-28088.1940	
絶影島	영도구 청학동	35-04-46.969	129-03-26.6719	394.60
		X=-324062.5784	Y=-4971.4921	

각 대삼각 본점에 평면직각 종횡선(X, Y)치수를 주기 위하여 미리 그 계산을 행하였다. 실지와 투영상의 차이를 크지 않게 하기 위하여 우리나라 동부·중부·서부의 3대 가상원점(위도 38도선상 129도, 127도, 125도 교차점)으로 원점간 종선 50만(제주 55만), 횡선 20만m의 수치를 주었고 대삼각 본점의 X, Y값을 산출 하였으며 대삼각 본점 삼각점계산 적용 베셀값의 계산식 중 수치는 다음과 같았다(이진호. 2001).

계산식 중 수치

a = 지구의 장방경 l = 심차울

그 베셀치의 적용한 수치는

$\log a = 6.804643467$ (6377397.145m)

$\log l^2 = 7.8244104237 - 10$

M = 대수근율

P = 원호 1초에 대한 초수로서

$\log M = 9.6377843113 - 10$

$\log P = 5.3144251332$ (206265.8062초)

관동대지진으로 파괴된 일본 경·위도 원점을 복구하는 과정에서 천문관측을 실시하여 새로운 경·위도 좌표계를 기준으로 채택함으로써 기존의 경도 값과는 10.405초의 차이가 발생하여 일본 문부성(文部省)은 1918년 9월 17일 고시호외(告示號外)로써 도쿄천문대의 대자오선의 중심(中心) 경도에 10.405초를 가하여 사용하도록 개정하였다(원영희. 1975).

라. 삼각망의 정확도

최초측량당시 삼각망의 배치도는 대삼각 본점은 경도20분, 위도15분에 1

점 배치시 약 30km이며 대삼각 보점은 경도20분, 위도15분에 대삼각 본점을 포함하여 9점의 비율로 배치하여 각 삼각점의 거리가 10km 정도로 매설하였다 (대한측량협회, 1993). 표 2.2는 최초측량당시 삼각망의 정확도이다.

표 2.2 최초측량당시 삼각망의 정확도

구 분	대삼각 본점	대삼각 보점
평균 변장	30km	10km
관측 기계	0.5초	0.5초
관측 오차	5초이내	7초 이내
관측 대회수	6대회	6대회
위치 정확도	10cm	-
삼각형 내각	60도 전후	30도 이상
평균 계산 방향수	2방향	5방향 이내
평균 차수	3차	5차 이내
관측차 제한	2초	4초
관측 방법	각 관측법	방향 관측법

2. 1. 2 기선측량

기선측량은 1910년 8월에 시작하여 1913년 9월 완료 하였는데 기선은 13개소로 최장거리는 평양기선 4625m이고 최단거리는 안동기선 2,000m이다. 기선장의 위치는 평탄, 견고한 지반을 선택하였지만 기선망 확대관계상 선정 지역을 정하는 것은 매우 힘들었다. 13개 기선장의 총 길이는 39,359m이고 1개의 평균기선 길이는 3,028m이며 측량의 정도는 1/515만 이었다. 13개소의 전체 기선의 관측일수는 4,412일이며 1개의 평균 기선관측기간은 324일이었다.

표 2.3 기선측량 시 인원배치 현황

구분	인원 배치 현황	인원
1	기선척 전단(前端) 독정자(讀定者)	1명
2	기선척 후단(後端) 독정자(讀定者)	1명
3	온도 독정자(讀定者)	1명
4	길이 및 온도 기록자(記錄者)	1명
5	풍속도(風速度) 관측자(觀測者)	1명
6	풍속도 기록자(記錄者)	1명
7	높이 관측 기록자(記錄者)	1명
8	각정치(脚定置), 높이 검측자(檢測者)	1명
9	전후 양단 현추자(懸錘者)	2명
10	철각자(撤脚者)	1명
11	각 운반자	1명

표 2.4 기선장 명칭 및 거리, 관측일수

순번	기선장	거 리(m)	확률오 차(mm)	정 도	관측일수	기선확대점수
1	대 전	2500.39410	±0.7201	1/347만	300	6
2	노량진	3075.97442	±0.9727	1/316만	276	4
3	안 동	2000.41516	±0.5506	1/363만	293	6
4	하 동	2000.84321	±1.2275	1/163만	252	6
5	의 주	2701.23491	±1.5673	1/172만	166	6
6	평 양	4625.47770	±1.2082	1/383만	270	6
7	영산포	3400.89002	±0.2860	1/1,189만	325	6
8	간 성	3126.11155	±0.4979	1/628만	406	6
9	함 흥	4000.91794	±0.4600	1/870만	370	4
10	길 주	4226.45669	±1.6022	1/264만	360	6
11	강 계	2524.33613	±2.0183	1/125만	305	8
12	해산진	2175.31361	±0.3598	1/604만	392	6
13	고건원	3000.81838	±0.2369	1/1,267만	497	8

기선측량은 한 기선척에 12명의 관측자가 같은 보조(步調)로 2시간 이상 연속하여 각기 임무를 수행하는 것으로 인원의 배치는 측량 시작부터 매우 깊은 주의를 요하였다. 관측 전에 충분한 교육을 하였으며, 표 2.3은 기선측량시 인원배치 현황이며 표 2.4는 기선장의 명칭 및 거리, 관측 일수이다.

2. 1. 3 수준측량

수준측량은 우리나라의 삼면의 해수면을 5개소에서 평등(평균)조위를 관측하는 것이다. 驗潮(조위관측소)장은 청진, 원산, 목포, 진남포, 인천의 5개소에 설치하고 나선식(螺旋式) 자기기록계(自記記錄計) 장치를 설치하여 1년 이상 관측 결과로부터 각점의 평균조위를 관측하였다. 협조장에서 관측한 평균조위 MSL(Main Sea Level)를 0으로 관측하여 진남포, 평양, 원산을 통하는 수준선에 의하여 남북의 두 망을 최소방정식을 적용하여 규약방정식, 비윤방정식, 법방정식을 적용하여 소수이하 5위 대수를 사용하여 각 교차점의 표고는 mm까지 산출하였다. 표 2.5는 협조장별 평균해면 및 수준점 표고를 나타낸 것이다(이진호. 2001).

표 2.5 협조장별 평균해면 및 수준점 표고

협조장	완공년월일	평균해면	수준점표고	표고차	위 치
청진	1911. 07. 30	1.660m	2.636m	+0.976	검조소에서 동방80m 세관부지
원산	1911. 07. 31	1.863m	1.931m	+0.068	검조소에서 남동80m 세관부지
목포	1912. 06. 26	3.229m	2.155m	-1.074	검조소 반대측 공지
인천	1914. 05. 29	7.007m	5.477m	-1.530	억양기 반도의 동남쪽 세관부지
진남포	1912. 12. 24	5.369m	6.144m	+0.775	영국대사관 남서단도로 세관부지

표 2.6 년도별 수준측량 매설점수 및 거리

측량 년도	1 등 결 선			2 등 결 선		합 계		삼각수 준점수
	매설 점수	중간 표석	거리(km)	매설 점수	거리(km)	수준 점수	거리(km)	
1911	77		296.613			77	296.613	
1912	231		942.424			231	942.424	
1913	674	485	2,716.732			1,159	2,716.732	314
1914	317	318	1,259.740	341	674.331	976	1,954.071	865
1915	92	117	441.000	171	342.150	380	783.150	460
계	1391	920	5,656.509	512	1,036.481	2,823	6,692.990	1,639

표 2.7 수준측량 거리 및 관측 오차

연결번호	측량 거리(km)	관측 오차(mm)
1	690	40
2	760	41
3	600	37
4	780	42
5	635	38
6	555	32
7	620	37
8	690	40
9	870	45

표 2.6은 년도별 수준측량 매설점수 및 거리를 표현한 것이고 표 2.7은 수준측량 거리 및 관측 오차이며 제주지역은 최초측량당시 수준측량의 힘조장을 설치하여 관측한 것이 아니고 육지부 대삼각 본점 측량시 거리 및 고도각을 이용하여 거문도 삼각점에서 제주의 대삼각 본점의 높이 표고를 측량한 것으로 추정되며, 표 2.8은 최초측량당시 제주지역의 대삼각 본점 삼각급 수준측량에 의한 높이를 나타내었다.

제주지역은 1963년도에 조위관측소를 설치하였으며 현재 관측 중에 있다.

표 2.8 제주지역의 대삼각 본점 높이

대삼각 본점	높 이
고내봉	175.31m
한라산	1,950.11m
지미봉	165.32m

2. 2 GPS위치 관측

측지분야에 종사하는 전문가들은 GPS를 이용하여 정밀한 관측을 시행하고 있다. 한점의 위치를 수 mm정도 까지 정밀도로 정지식(static)위치 관측하는 것으로, 간섭계(interferometry)의 원리를 GPS에 적용하므로 가능하였다 (Hofman-Wellenhop 외2인, 1994, seeber, G. 1993). DGPS에서처럼 2개 이상의 수신기를 이용하여 장시간 동안 관측하므로 높은 정확도의 값을 얻을 수 있다. 측지분야 종사자들이 이용하는 이러한 기술들은 일반 사용자들이 구현하기에는 다소 전문적이지만 현재는 1주파 GPS 수신기에도 이러한 기술들이 서서히 적용되고 있다. GPS와 같은 거리 관측방식은 편도거리 관측방식(one way ranging)이라고 한다. 최근 GPS 간섭 위치관측은 static으로 관측 시 mm 수준의 정확도를 확보할 수 있다. 이는 지구자전관측, 지각변동관측, 지진예측 등 지구과학, 측지분야에 중요한 역할을 담당하고 있다. 이미 국제적으로는 GPS 관측망이 구축되어 있어 활발한 활동이 이루어지고 있으며, 이처럼 수 mm의 정확도를 구하기 위해서는 static 간섭 위치관측으로 장시간 관측방법을 이용하고 있다. 반송파의 경우 수신된 파가 언제 위성으로부터 출발하였는지 알 수 없으므로 2주파 측량용 수신기로 GPS 위성이 방송하는 C/A(Clear and Acquisition 또는 Coarse and Access 약어) 코드 및 L1, L2 반송파의 위상(carrier phase)을 관측하여, 상대 위치관측을 시행함으로써 관측점간의 상대 기

선 벡터를 구할 수 있게 된다.

GPS 측량은 위치가 알려진 다수의 위성을 기지점으로 수신기를 설치한 위치를 결정하는 후방교회법(resection method)에 의한 측량방법이다(오창수, 2001). 2주파 수신기 GPS는 GPS 시간체계를 세계시(UCT : Universal Coordinated Time)와 연관시키며 전리층에 대한 보정을 실시한다.

표 2.9 GPS 위치관측의 종류

절대위치 관측	C/A 코드 이용(정밀도 100m), L1 대의 1주파만을 수신
	P 코드 이용(정밀도 16m), L1 및 L2 대의 2주파 수신
	도플러 위치관측(정밀도 수cm), L1대의 1주파, L1 및 L2 대의 2주파 모두 가능, 속도 벡터를 관측할 수 있다.
상대위치 관측	코드처리, 복수 점에 의한 단독 위치관측(실시간 운용가능) C/A 코드이용(정밀도 2~3m), P코드 이용
	정지식 위치관측(2주파 이용가능) 반송파 위상 위치관측, 해석시간이 많이 소요
	이동 위치관측(정밀도 2~3cm) 반송파 위상 위치관측(실시간 위치관측가능)

표 2.9는 GPS 위치관측의 종류이며 표 2.10은 절대위치 관측과 상대위치 관측의 비교이고 표 2.11은 절대위치 관측과 상대위치 관측의 특징을 나타낸다.

표 2.10 절대위치 관측과 상대위치 관측의 비교

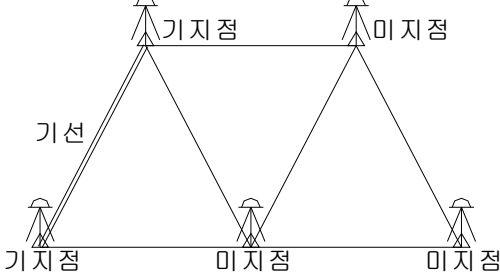
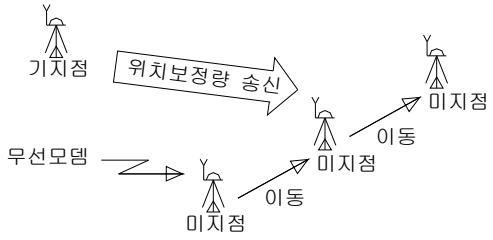
절대위치(static) 관측	상대위치(RTK-GPS) 관측
 <p>① 최소 4대 이상의 GPS 수신기로 기지점과 미지점에 망을 연결하여 동시관측(session 관측)</p> <p>② 각 수신기는 단지 위성신호만을 수신하여 자료 저장(최소 30분 이상)</p> <p>③ 수집된 관측 자료는 소정의 간섭 위치 관측(static)관측용 소프트웨어에 의해 기선해석 및 망조정 계산을 거쳐 미지점의 좌표 결정</p>	 <p>① 최소 2대 이상의 수신기가 필요함 (기지국 GPS 및 이동국 GPS)</p> <p>② 기지국 GPS는 위성에 의해 관측된 성과와 기지점 성과와의 차이값을 계산하여 위치보정 자료를 생성하고 이를 무선모뎀 등을 통해 이동국 GPS로 송신</p> <p>③ 이동국 GPS는 위성에 의해 관측되는 성과와 기지국 GPS에서 송신된 위치보정량을 수신하여 미지점의 좌표를 실시간으로 계산, 결정하는데 약 2초의 시간이 필요</p>

표 2.11 절대위치 관측과 상대위치 관측의 특징

구 분	절대위치 관측	상대위치 관측
1. 측량 조건	<ul style="list-style-type: none"> · 최소 4대 이상의 위성 관측 · 천정 개방각 15°이상유지 · 철탑, 대형 구조물 지역 회피 · 기지점 2개 이상 필요 · 상공시계 확보 	<ul style="list-style-type: none"> · 최소 4대 이상의 위성 관측 · 천정 개방각 15°이상유지 · 고압선 직하 지점 회피 · 기지점 1개 확보 · 상공시계 확보 · 무선모뎀 통달 거리 확보 · 무선모뎀 작동시 전파장애 유발지역 회피
2. GPS 수신기의 초기화	<ul style="list-style-type: none"> · 단순 위성신호 수신 기능으로 초기화 필요 없음 	<ul style="list-style-type: none"> · 상기의 모든 조건이 충족될 때까지 RTK측량 준비 시까지 초기화시간 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 2 주파형 GPS : 30초 소요 - 1 주파형 GPS : 15분 이상 소요
3. 측량중 조치 사항	<ul style="list-style-type: none"> · 위성신호 수신 및 자료 저장 상태만 관찰 하면 됨 	<ul style="list-style-type: none"> · 상기의 측량 조건 중 한 가지 항목만 결여되어도 측량 불가하며 재초기화 필요함 · DOP, cycle slip, multi path, radio modem 상태 등이 동시에 모두 고려됨
4. 위치관측 정확도	<ul style="list-style-type: none"> · 기선관측정확도: 5mm±1ppm · 망조정후 위치 정확도 : 수 mm 	<ul style="list-style-type: none"> · 실시간 좌표 관측 정확도 : 1-2cm이며 일정한 코드부호에 의해 3D도 가능함

2. 2. 1 절대위치 관측

절대위치 관측방식에는 이동국(rover) 1대로 지구상의 어느 위치에서도 관측이 가능하므로 주로 자동차, 선박, 항공기 등의 항법체제로 이용되고 있다. 이것은 GPS의 가장 기본적인 형태로 지상 또는 지구주변의 공간에서 자신의 위치를 즉시 100m 정도의 정밀도로 관측할 수 있으며 우주에서도 이용이 가능하지만, 너무 높은 고도(예를 들어 1만km 이상)에서는 사용하기 어

럽다. 항공기의 비행고도에서는 전혀 문제가 없고 인공위성, 로켓 등과 같은 고속운동 체의 순간적인 위치뿐만 아니라 속도 벡터 까지도 관측이 가능하다. 시간을 두고 위치를 2회 관측하면 속도를 구할 수 있겠지만, 여기서 말한 속도벡터는 위성전파의 도플러 효과로부터 1회 관측만으로 구할 수 있는 것이다.

절대위치 관측의 정밀도는 100m이지만 이것은 선택적 이용성(SA : Selective Availability, 2000년 5월 2일 정지)을 작동시킨 상태에서의 C/A코드, L1 대 1주파 수신에 의한 표준 위치관측의 경우이다. 현재는 SA가 해제되어 20~30m의 정밀도를 얻을 수 있으며, P코드의 사용에 따른 정밀 위치관측의 경우 정밀도는 더 좋아진다(강준목 외3명, 2000).

절대위치 관측의 원리는 4개의 GPS 위성과 이용자가 있는 지점과의 거리를 동시에 관측하는 것이다.

위성과의 거리는 식 (2.1)과 같이 전파가 위성을 출발한 순간의 시간과 이용자의 수신기에 도착한 시간과의 차에 광속도를 곱하여 계산한다.

$$r = (\Delta t - E)c \quad (2.1)$$

여기서, Δt : 도달시간의 관측값

c : 광속

E : 시간오차

r : 수신기에서 관측 위성까지의 거리

모든 위성은 매우 정확한 원자시계를 가지고 있으므로 출발시각은 정확하지만, 전파의 도착시각을 관측하는 수신기의 시계는 부정확하기 때문에 이런 시간 오차와 수신된 위치의 3차원 좌표값(X, Y, Z)에 대한 4개의 미지수를 해결하기 위해서는 최소 4개 이상의 위성을 관측하여야 한다. 3차원좌표를 알게 되면 이것을 측지좌표로 변환하여 경·위도와 높이를 구할 수 있다.

2. 2. 2 상대위치 관측

한 대의 GPS 수신기를 이용하여 측량을 수행하는 절대위치 관측은 위치 결정 정밀도가 수신기의 능력에 의해 좌우된다. GPS신호의 C/A 코드를 이용하여 관측점의 위치를 결정하는 1주파 상용수신기는 그 정밀도가 수십 미터에 이르며, 암호화된 P코드를 사용하는 수신기의 경우에도 1m 이하의 정밀도를 갖기가 어렵지만 측지측량, 지각변동감시 등과 같이 수mm 이하의 고정밀 위치결정이 요구되는 분야에서는 절대위치 관측에 따른 GPS의 위치 결정 한계를 극복하기 위하여 상대위치 관측기법을 이용한다(유복모, 2003, 정용식, 1997, Malys, S 외 3인, 1992). 이 기법은 절대위치 관측과는 달리 정밀한 위치를 알고 있는 지점과 위치관측이 요구되는 지점에서 동시에 GPS관측을 수행하고, 두 수신기에 수신된 고주파 확산스펙트럼 형식인 반송파를 이용한 자료처리로 정밀도를 현격히 증가시키는 방법이다.

상대위치 관측기법은 미지점의 위치를 기지점의 위치에 연결하여 결정하는 방법으로 두 점간의 벡터량, 즉 기선을 결정하는데 그 목적이 있다(이영진, 1998).

$$\text{미지점 벡터}(\vec{B}) = \text{기지점 벡터}(\vec{A}) + \text{기선 벡터}(\vec{b})$$

또는,

$$\text{기선벡터} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

이때 좌표차는 위성과의 거리를 구할 수 있으며 좌표는 WGS84 좌표에 의한 것이며, 기지점과 미지점에서 동시에 관측하면 최대의 효과를 얻을 수 있다.

상대위치 관측기법에 의해 측량을 하는 경우 측량의 목적과 요구정밀도에 따라 크게 후처리방식과 실시간처리방식으로 나눌 수 있다.

가. 절대위치 관측 후처리방식

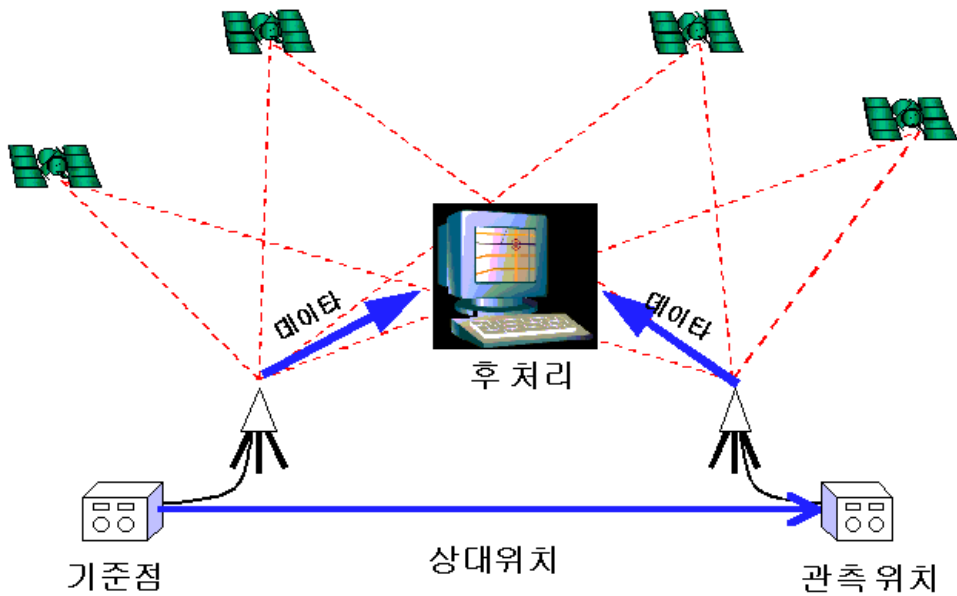


그림 2.1 절대위치 관측 후처리 상대위치 관측

후처리방식은 그림 2.1과 같이 GPS 수신기를 기준점과 관측점에 설치하여 GPS위성이 반송하는 코드자료와 반송파 위상자료를 수신한 후 실내에서 GPS측량 소프트웨어로 계산 처리하는 방식으로 정지식 측량(static survey), 이동식 측량(kinematic survey), 고속 정지식 측량(FSS : Fast Static Survey)으로 분류할 수 있다. 정지식 측량과 고속 정지식 측량은 기준점 측량에 주로 사용하고, 이동식 측량은 지형측량에, 그리고 고속 정지식 측량도 지형측량에 주로 사용한다. 후처리 방식으로 최근에는 DGPS방

식이 활용되고 있는데, 후처리 DGPS는 기준국에서 작업기간 동안 연속적으로 GPS 자료 및 속성자료 등을 취득하여 이동국 파일을 만든 후 이들 자료를 후처리 소프트웨어로 DGPS보정을 행하는 방식이다. 현장에서 얻어지는 자료는 100m 2D RMS(Root Mean Square)의 오차를 지나 후처리 후에는 정확한 DGPS 위치를 얻게 된다. 여기서 관측 오차가 100m 2D RMS라는 것은 100m(twice the Root Mean Square horizontal error의 약어)로 평면에서 95% 오차확률범위 내에서 위치오차가 100m 발생됨을 의미하며 표 2.12는 후처리할 때의 방식분류이다.

표 2.12 후처리 방식의 분류

측량방식	정지식 측량		고속 정지식 측량		이동식 측량	
	1주파 수신기	2주파 수신기	1주파 수신기	2주파 수신기	Stop & Go	연속 이동
측량 소요시간	30분 이상	30분 이상	5분-6위성 15분-5위성	5분-6위성 15분-5위성 20분-4위성	2분 이내	2초
정밀도	수평, 수직 10mm+2ppm	수평, 수직 5mm+1ppm	수평, 수직 10mm+1ppm		수평:10mm+1ppm 수직:20mm+1ppm	
위성수	4개 이상 확보					
특징	- 가장 정밀. - 장 기선에 적합.				-초기화 필요. -100km이내. -위성을 놓치면 재초기화 필요	
응용분야	- 측지측량. - 기준점 측량.		- 기준점 측량. - 도로 측량.		-지형 측량. -도로 측량.	

나. 실시간 이동식 위치관측

그림 2.2는 실시간 이동식 위치관측(RTK-GPS) 방식은 기지점의 보정정보를 실시간으로 미지점에 보내주는 것이 후처리 DGPS와는 다르다(정영동, 2001). 즉 일반 GPS측량에 무선통신을 이용하여 보정정보를 알려줌으로써 두 점간의 거리, 방위, 고도차를 실시간으로 측량할 수 있는 측량방식이다. GPS의 신호체계상 반송파에 의한 위치결정방법이 코드에 의한 위치결정정보보다 정밀도면에서 많은 향상이 있지만, 반송파에 의한 단독측량 역시 후처리 상대관측 기법보다는 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 광범위한 관측점의 정밀좌표들을 빠른 시간 내에 취득하기 위해서는 이동식 관측을 수행하는 동시에 후처리 자료기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 방법이 요구된다.

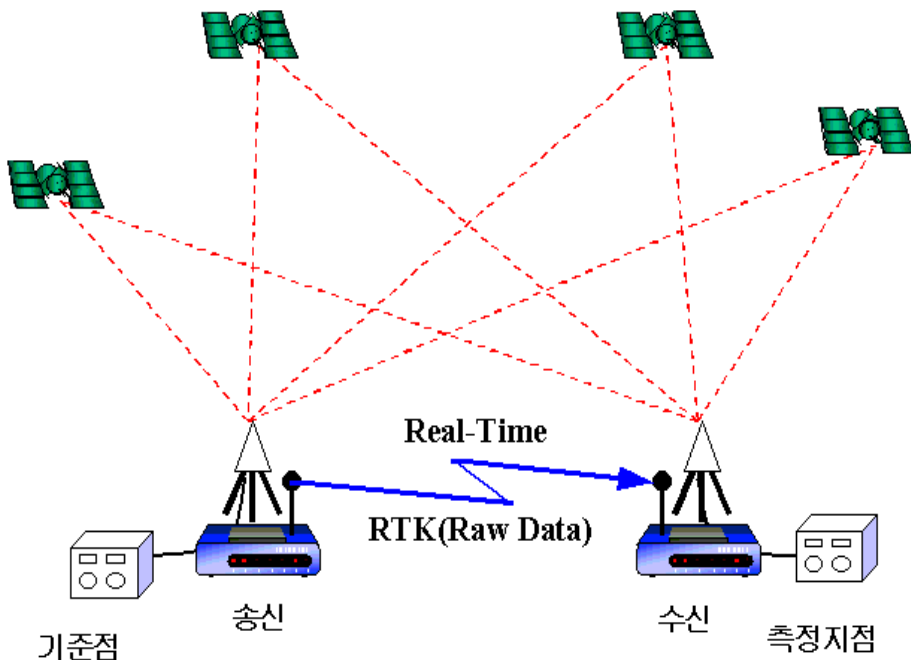


그림 2.2 실시간 이동식 위치관측

이러한 목적을 위해 개발된 것이 고정밀 이동식 측량기법인 RTK-GPS로서, 기본개념은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정값을 이용하여 사용자가 실시간으로 수cm의 정밀도를 유지하는 관측값을 얻을 수 있게 하는 것이다. RTK-GPS의 기본개념은 오차보정을 위해 기준국에서 전송되는 자료가 반송파 수신 자료라는 것을 제외하고는 DGPS의 개념과 거의 유사하지만 다만 RTK-GPS가 각 위성에 대한 반송파 관측값을 지속적으로 제공하여야 하고, 정보의 전송장애로 발생할 수 있는 오차의 한계가 DGPS보다 상대적으로 크기 때문에 보다 안정적이고도 신속한 정보전달 통신체계가 요구된다. 현재 GPS를 응용하는 여러 분야에서 DGPS와 RTK-GPS가 주로 사용되고 있으며, GIS나 측량, 항법 등 모든 응용분야가 RTK-GPS기법의 사용에 초점을 맞추어 실용화되고 있다. 표 2.13은 RTK-GPS와 DGPS를 비교한 것이다.

표 2.13 RTK-GPS와 DGPS의 비교

측량기법	RTK-GPS		DGPS
	정지식 초기화	이동식 초기화	
측량 소요 시간	초기화 1분	2 초	1초
정밀도	5 mm +1ppm(수평) 10mm +1ppm(수직)	10mm +1ppm(수평) 20mm +1ppm(수직)	
특징	-통신망 사용 -위성을 놓치면 재초기화 필요		-통신망 사용 -의사거리 보정방식 사용
응용분야	-기준점 측량 -지형 측량 -도로 측량	-수로 측량 -기준점 측량 -지형 측량 -측설 측량 -해양구조물측량	-자동차 항법 -해양 측량 -자원 탐사

2. 3 관측 오차

위성과 수신기에는 서로 다른 정밀도의 시계가 부착되어 이들에 의한 오차와 전파를 수신하기까지 여러 오차가 수반 될 수 있는데 크게 체계오차와 수신기 오차 및 위성의 배치상태에 따른 오차로 구분할 수 있다.

28개 위성이 똑같은 주파수로 송신하고 있음에도 불구하고 혼선이 발생하지 않은 것은 확산스펙트럼(SS : Spread Spectrum) 통신방식이라는 기술을 사용하고 있기 때문이다(대한측량협회, 2004).

2. 3. 1 체계 오차

체계 오차는 상대위치 관측으로 보정이 가능하며 표 2.14와 같이 위성 시계오차, 위성 궤도오차, 전리층 굴절오차, 대류권 굴절오차 및 SA(선택적 이용성)에 의한 오차로 구분할 수 있다. 위성 시계오차와 궤도 오차는 위성의 궤도력에 포함된 오차로 인해 야기되는 것으로 궤도력에는 예보된 방송 궤도력과 사후 적합평가를 거친 정밀 궤도력으로 구분된다.

그림 2.3은 전리층과 대류권에서 전파의 굴절을 나타내는 것으로 전리층 굴절오차는 전기적으로 굴절된 전리층(이온층)을 위성신호가 통과하면서 굴절로부터 야기되는 오차를 말한다. 1주파 수신기 사용자는 항법메시지를 통해 전송되는 전리층 근사모형을 이용해 대략적인 보정값을 결정할 수 있으며(약 50%), 2주파 수신기 사용자는 L1신호와 L2신호가 전리층에서 굴절되는 비율이 서로 다르기 때문에 L1/L2 선형조합을 통해 전리층 굴절을 보정할 수 있다.

대류권 굴절오차는 중성자로 구성된 대기의 영향에 따라 위성신호가 굴절되어 야기되는 오차를 말한다. 중성자는 15GHz 이하의 주파수를 갖는 라디오파에 대해서 비확산 매개물이 존재하므로 대기권에 대한 전자파의 전달은

주파수에 무관하게 되며, L1신호나 L2신호로부터 유도된 반송파 위상과 코드 의사거리를 구분할 필요가 없게 된다. 즉 대류권 굴절은 전리층 굴절과는 달리 2주파 수신기를 이용해 소거 할 수 있다.

대류권 굴절오차는 고도각 5° 정도에서 약 25m 정도의 굴절오차가 야기 된다. 따라서 대류권 굴절오차는 신호경로에 대한 고도각, 온도, 기압 및 습도의 함수가 된다. 대류권 굴절오차의 90% 정도는 건조상태에서 야기되며, 나머지 10% 정도는 습윤 상태에서 야기된다. 표 2.14는 GPS 체계 오차이며 일반적인 대류권 모형(Saastamoinen, Modified Hopfield, Hopfield 모형)을 적용해 10~20cm의 정확도로 대류권 지연량을 결정할 수 있다.

표 2.14 GPS 체계 오차

GPS 오차	오차범위(m)
위성 시계 오차 (Satellite Clock Error)	0~1
위성 궤도 오차 (Satellite Ephemeris Error)	1~5
전리층 굴절오차(Ionospheric Refraction)	0~30
대류권 굴절오차(Tropospheric Refraction)	0~30
선택적 이용성 (Selective Availability)	0~30

전리층과 대류권 굴절오차는 위성이 수평면에 근접할수록 증가하며, 이는 통과 층의 길이가 증가하기 때문이다. 특히 2주파 수신기를 사용할 경우 대기층에 따른 오차를 최소화하기 위해 고도실행 영역(EM : Elevation Mask)은 사용자가 적당히 조절하는 것이 좋다. 본 연구에서 EM는 15°를 설정하여 관측 하였으며 그림 2.4는 EM을 설정하였을 때의 고도각 양상을 보여준다.

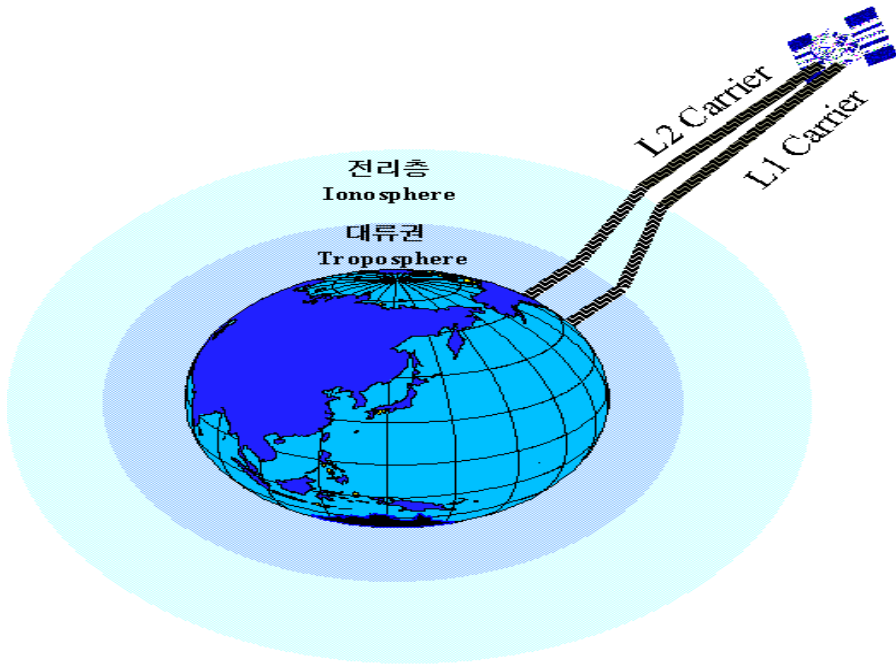


그림 2.3 전리층과 대류권 굴절오차

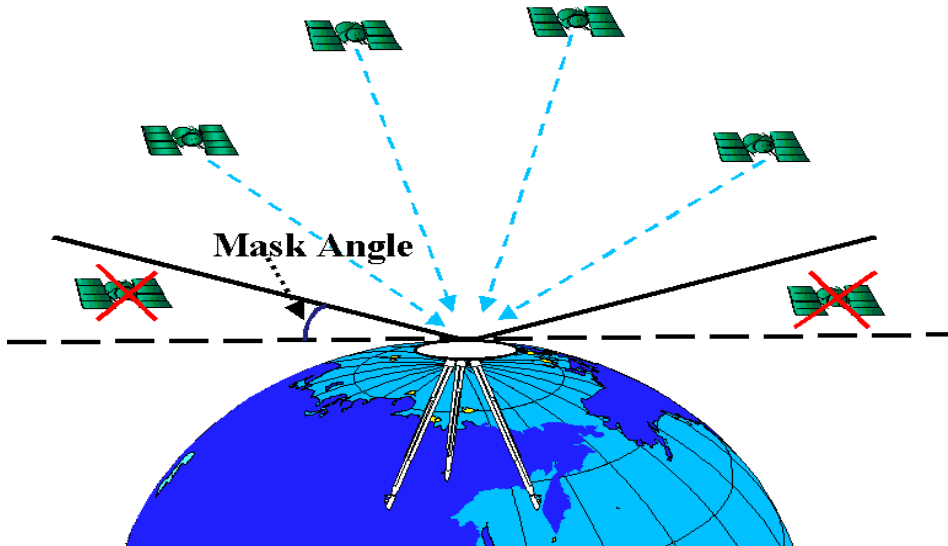


그림 2.4 고도실행 영역

2. 3. 2 관측 수신기의 오차

수신기 주파수의 잡신호(channel noise)는 수신기 자체가 갖는 전기적 잡신호를 말하며, 일반적으로 검정(calibration) 과정을 통해 주파수 편차(channel biases)를 결정하고 모든 연속적인 관측값에 이를 적용하는 방법을 사용한다. 그러나 수신기의 노후화로 인해 잡신호가 증가하므로 수신기 주파수의 잡신호가 높을 경우 다른 수신기로 교체 사용하는 것이 바람직하다.

GPS 수신기 오차는 수신기와 관련된 오차를 말하며, DGPS와 상대위치 관측을 통해 보정할 수 없는 오차들로 구성되며 표 2.15와 같다(Clynch, J. R 외 1인. 1986).

표 2.15 GPS 수신기의 오차

GPS 수신기 오차	오차범위(m)
수신기(channel noise)오차	0~10
다중경로(multi - path)오차	0~1

그림 2.5는 다중경로(multi-path)오차로 상대적으로 미소한 오차로서 수신기내의 multi-path rejection 프로그램에 의한 신호비교를 사용해 보정할 수 있다(Dennis Bredlhauer and steven Malye. 1994). 측지용 수신기는 안테나에 ground plane을 장착하고 있어 이런 영향을 최소화할 수 있으나 다중경로의 원인이 되는 장애물에서 멀리 떨어져 직접 수신할 수 있는 것이 가장 이상적인 방법이며 고층빌딩이나 주위 장애물이 있는 경우 다중경로 오차가 발생함을 알 수 있다.

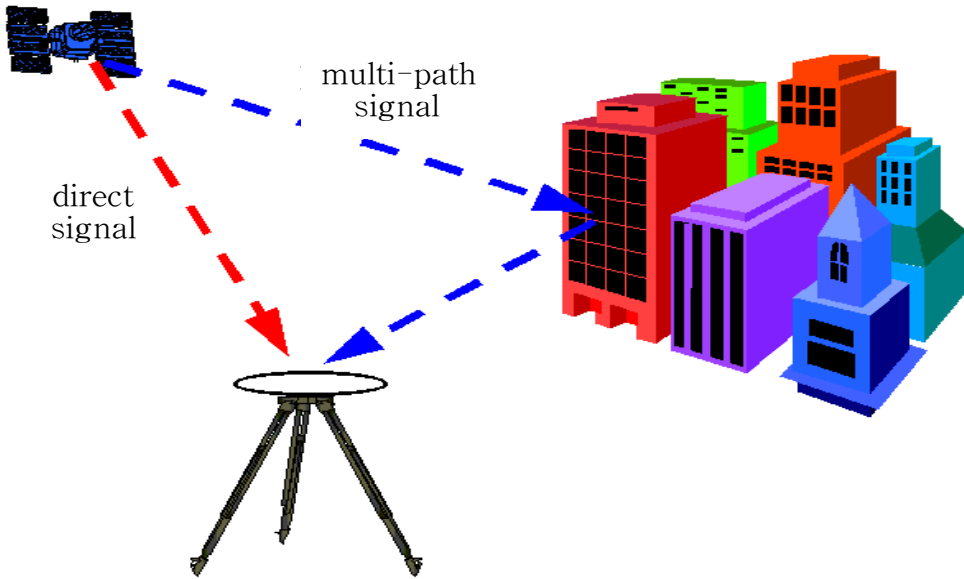


그림 2.5 다중경로오차

2. 3. 3 위성의 배치상태에 따른 오차

GPS를 이용한 위치결정에서 사용하는 위성의 배치에 따라 그림 2.4와 같이 위치결정의 결과가 영향을 받으며, 4개의 위성으로부터 전파를 수신하더라도 위성의 배치가 한쪽으로 치우쳐 있으면 충분한 정밀도(3D RMS)가 얻어지지 않는 경우가 있다.

위성의 배치상태에 따른 오차는 정밀도 저하라는 의미의 정밀도 저하율(DOP : Dilution of Precision)지수로 표시되며, DOP는 수신기와 위성들 간의 위치관계를 수신기가 계산하는 위치관측 결과의 품질(quality)을 가늠케 하는 수치이다. DOP라는 수치는 자체가 오차량을 직접 의미하는 것이 아니고, 실제의 정밀도는 DOP에 단위관측 정확도를 곱하여 얻는다.

표 2.16 DOP의 종류

DOP 종류 구분	구분 (정밀도 저하율)
GDOP (Geometric Dilution of Precision)	기하학적 정밀도 저하율
PDOP (Positional Dilution of Precision)	위치 정밀도 저하율(3차원 위치)
HDOP (Horizontal Dilution of Precision)	수평 정밀도 저하율(2차원수평 위치)
VDOP (Vertical Dilution of Precision)	수직 정밀도 저하율(높이)
TDOP (Time Dilution of Precision)	시간 정밀도 저하율

표 2.16에 나타난 바와 같이 DOP에는 기하학적 정밀도 저하율 GDOP, 3차원(X, Y, Z)위치정밀도 저하율 PDOP, 2차원(X, Y) 위치정밀도 저하율 HDOP, 수직정밀도 저하율인 VDOP, 시간정밀도 저하율 TDOP 등이 있다. 이들은 모두 GPS 위성으로부터 얻어지는 정보이다(유복모, 2002).

○ DOP의 특징

표 2.17은 DOP 수치상 정밀도를 나타내며 수치가 작을수록 정확하고 지표에서 가장 좋은 배치 상태일 때를 1로 한다. 1~5까지는 실용상 지장이 없으나, 10이상인 경우는 좋은 조건이 아니며 수신기를 가운데 두고 4개의 위성이 정사면체(위성이 수신기의 천정과 방위각 0도, 120도, 240도의 방향에 배치될 때)를 이룰 때, 즉 최대 체적일 때 GDOP, PDOP 등 모든 DOP가 최소가 된다.

표 2.17 DOP의 정도

품 질(quality)	Dilution of Precision
아주양호(very good)	1~3
양 호(good)	4~5
보 통(fair)	6
부 정(suspect)	> 6

2. 4 기준계 좌표조정

2. 4. 1 측지 좌표계

측지 좌표계는 지상에서 위치관계를 표시하는 가장 일반적인 좌표계이다. 지표상의 자오선(경선)은 북극과 남극을 지나는 큰 원의 두 극에서 끝나는 반원을 가리킨다. 본초자오선(prime median)은 영국 그리니치 천문대를 지나 는 자오선이며 본초자오선과 적도의 교점이 원점이다. 어느 지점의 경도(λ)는 적도면에서 본초자오선으로부터 적도를 따라 그 지점의 자오선까지 켄 각도로써 동·서로 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 로 구분된다.

그림 2.6은 측지 좌표계로 적도에 평행한 평면이 지표와 만나 이루는 작은 원이 평행선(위도선)이다. 위도(ϕ)란 어떤 지점에서 기준타원체의 법선이 적도면과 만나는 각으로 남, 북으로 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 까지 표시된다.

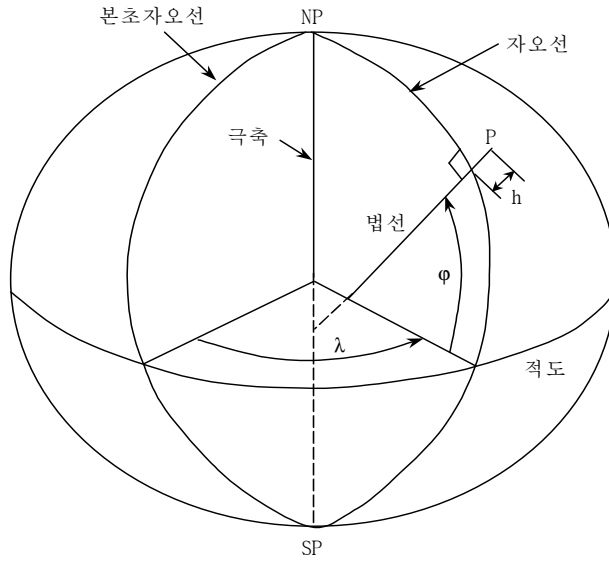


그림 2.6 측지 좌표계

2. 4. 2 지구중심 좌표계

지구중심 좌표계는 지구고정 지구중심 좌표계(ECEF : Earth Centered Earth Fixed)를 3차원 직교좌표계라 부르기도 하며 지구와 같이 회전하는 좌표계로서 수신기의 위치(경도, 위도, 높이)를 결정하는데 가장 적절한 좌표계이다. 이 좌표계 CIO(Conventional International Origin)에 의하여 정의된 지구의 평균 회전축을 Z축으로 한다. 한편, X축은 그리니치 자오선(경도 0°)으로 하고 경도 90° E를 Y축으로 한다. 따라서 X, Y축은 지구와 함께 회전하며 더 이상 관성공간에서의 고정된 방향을 필요로 하지 않는다. 이러한 좌표계를 TRF(Conventional Terrestrial Reference Frame)라 하며, SLR, VLBI 관측에 의하여 결정된 일련의 지상관측소의 위치에 의하여 결정된다.

ITRF에서는 3차원 직교좌표(X, Y, Z)와 지리좌표(ϕ , λ , h)로 표시한다. 물론, GPS 수신기의 위치를 계산하기 전에 천구기준 좌표계에 의하여 표시된 위성력 자료들은 지구중심 좌표계로 변환되어야 한다. 이러한 계산은 위성의

위치와 속도 벡터에 대한 회전행렬에 의하여 이루어진다. GPS 위성의 궤도 계산과정에 의하여 수신기의 3차원 직교좌표가 지구중심 좌표계로 계산되고 동시에 수신기의 경도, 위도 및 높이가 계산된다.

대표적인 지구중심 좌표계에는 ITRF 좌표계(International Terrestrial Reference Frame)와 WGS84 좌표계(World Geodetic System 1984)가 있다 (Kanazawa. 1989).

가. ITRF 좌표계

1988년 1월 국제천문연맹(IAU ; International Astronomical Union)과 국제측지 및 지구물리연맹(IUGG ; International Union of Geodesy and Geophysics)이 함께 국제기준 좌표계의 필요에 의해 국제지구자전 서비스(IERS ; International Earth Rotation Service)를 설립하였다. IERS는 국제시보국과 국제극운동국의 기능을 합친 것으로 현재의 고정밀 우주측지기술에 기반을 둔 지구중심 좌표계와 외부은하의 전파성(Radio Source)의 방향에 기반을 둔 천구기준 좌표계를 정의 및 유지하고, 지구중심 좌표계와 천구기준 좌표계를 연결하는 지구극운동과 자전속도 등의 요소를 시간의 함수로 산출하여 지구운동을 감시하는 것이 주요 기능이다.

IERS는 1990년부터 우주측지 기술인 SLR 이나 VLBI기술을 이용하여 매년 지구자전축의 회전을 계산하고, 이를 준거한 정밀한 지구좌표계를 계산하여 발표하고 있는데 이를 ITRF라 한다. ITRF는 VLBI, LLR, SLR, GPS 및 DORIS(Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite)와 같은 우주측지 기술의 관측결과로부터 구한 관측점좌표(SSC)와 관측점속도를 결합하여 결정되며, 연도별 결과는 IERS연보와 기술보고서로 간행되고 있다. 최근의 전 지구적인 결과는 ITRF88, 89, 90, 91, 93, 94, 96, 97, 2000이다.

나. WGS84 좌표계

1940년대까지는 경제적 또는 군사적인 필요와 자국의 영토관리를 위하여 각국의 편의에 따라 서로 다른 기준타원체를 이용한 좌표체계를 사용하여 왔으나, 기술의 발전과 함께 처리대상이 확대되고 대륙과 대륙간의 측지가 이루어짐에 따라 하나의 통합된 측지측량 좌표계가 필요하게 되었다. 이러한 필요에 의하여 1950년대 말에 미 국방성에서 전 세계를 하나의 통일된 좌표계로 나타낼 수 있도록 세계 측지 기준계인 WGS60(World Geodetic System 1960)을 만든 것을 시작으로 현재의 WGS84에 이르게 되었다.

GPS는 1987년 이후부터 WGS84라고 불리는 기준 좌표계를 사용하고 있으며, 따라서 GPS 관측에 의하여 결정된 좌표는 모두 WGS84를 기준으로 나타낸 것이다.

WGS84는 GPS를 비롯한 여러 가지 관측 장비를 가지고 전 세계적으로 관측해온 지구의 중력장과 지구모양을 근거로 1984년에 만들어진 지구고정 지구중심 좌표계(ECEF : Earth Centered Earth Fixed)로써 지구질량중심을 원점으로 한 직교좌표계이다.

WGS84 좌표계의 Z축은 1984년에 국제시보국에서 정의한 지구자전축의 방향과 평행하며, X축은 WGS84의 기준 자오선면과 적도면과의 교차선으로서, 이 기준자오선은 국제시보국 관측소들에 의해 채택된 경도좌표를 기준으로 국제시보국에서 정의한 영점자오선(zero meridian)과 평행하다. 그리고 Y축은 X축과 Z축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의되며 그림 2.7은 WGS84 좌표계이다.

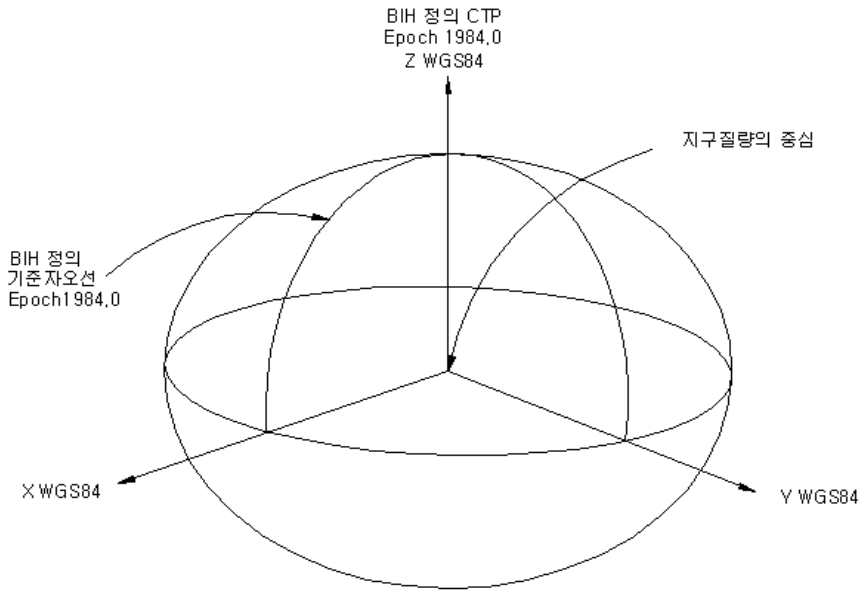


그림 2.7 WGS84 좌표계

2. 4. 3 기준타원체

지구는 그 반경이 약 6357~6378km 이며, 표면이 약 72%의 바다와 약 28%의 육지로 구성된 타원체(ellipsoid)이다. 한 타원의 주축을 중심으로 회전하여 생기는 입체를 회전타원체라 하며, 지구는 단축주위로 회전하는 타원체에 가까운 모양이다. 따라서 부피와 모양이 실제 지구와 가장 가까운 회전타원체를 지구의 형상으로 규정하고 있는데, 이때의 회전타원체를 지구타원체라고 부른다. 지구타원체는 기하학적 타원체이므로 굴곡이 없는 매끈한 면이다. 이전까지는 나라마다 관용적으로 각기 다른 지구타원체를 사용하여 왔는데, 이 때문에 전 세계적으로 일관된 대지측량 값을 사용하기 곤란하므로 1924년 국제측지학·지구물리학연합 총회에서는 국제적인 측량 및 측지작업에는 하나의 통일된 지구타원체 값을 사용하기로 처음 결의하였다. 이것을

국제지구타원체라 부르는데, 1950년대 말에 미국 국방성에서는 전 세계에 대하여 하나의 통일된 좌표체계를 사용할 수 있도록 WGS 1960이라는 지구중심 좌표계를 만들었다. WGS 1960의 개발에 있어서 그 당시에 이용할 수 있었던 모든 표면중력자료, 천문측량자료 등을 종합하여 WGS 1960타원체를 얻었다. 이후 여러가지 자료들을 적용하여 개선된 WGS 1984타원체가 개발되었다.

측량결과를 이용하여 넓은 지역의 지도를 제작할 경우에 얻어진 결과를 기준이 되는 지구타원체에 투영하여 지도를 만들게 되는데, 이때 측량지역의 지오이드에 가장 가까운 지구타원체를 선정하여야 하며 어느 지역의 대지측량계의 기준이 되는 지구타원체를 기준타원체라 부른다.

가. 지역 기준타원체

각 국에서 사용하는 지구타원체의 종류와 지역 측지기준은 각각 다르게 사용되고 있다. 미국, 캐나다 등지에서는 Clark 1866타원체를 사용하고 있으며, 남미, 영국 등지에서는 1924년 국제측지연합인 IUGG가 추천한 Hayford 타원체를 사용하고, 우리나라와 일본 등은 Bessel 1841타원체를 사용하고 있다. 표 2.18은 지역기준 타원체상수를 나타낸다.

표 2.18 지역기준 타원체상수

타원체명	장반경(m)	단반경(m)	편평률
Clark	6,378,206.4	6,356,583.8	1/294.98
Hayford	6,378,388.0	6,356,911.9	1/297.00
Bessel	6,377,397.2	6,356,079.0	1/299.15

나. 범 지구타원체

지역 기준타원체는 지구내부의 밀도분포의 불균일성으로 인하여 지역적으로 실제 지오이드에 적합할 수 있으나 지구전체를 표시할 수 없는 것이 큰 단점이다. 그러나 최근 들어 인공위성과 대륙간 유도미사일의 출현으로 전체를 단 하나의 좌표체계로서 표시할 수 있는 체계, 즉 세계 측지계의 필요성을 불러 일으켜 위성 측지기술의 발달로 실현이 가능하게 되었다.

하나의 통일된 측지 좌표계로 전체를 표시하고자 하는 노력은 1924년 제2회 국제측지학 및 지물리학연맹 총회에서 표준장력을 기준으로 하여 설정된 헤이포드(Hayford)타원체를 국제타원체로 사용하도록 추천된 이래, WGS67 또는 WGS72, WGS84 등 매우 향상된 측지 기준타원체가 제시되었다. WGS84 타원체는 4개의 인자에 의하여 결정되는 회전타원체이며 단반경 및 편평률 등 다른 타원체 상수는 수학적 계산에 의하여 얻어진다.

WGS84 타원체는 실제적으로 GRS80 타원체 결정인자를 그대로 사용하였다. 표 2.19에서와 같이 단반경, 편평률 등 타원체의 상수가 약간 다른 것을 알 수 있다.

표 2.19 WGS84 와 GRS80 타원체상수

이름	WGS84	GRS80
a	6,378,137.000	6,378,137.000
b	6,356,752.31424518	6,356,752.314140347
f^{-1}	298.257223563	298.2572221008827
e^2	6.694379990141317D-03	6.694380022903416D-03
r	6,367,449.145822624	6,367,449.145770252

표 2.20 WGS84와 GRS80 결정인자

타원체요소	기호	단위	WGS84	GRS80
장반경	a	m	6,378,137	6,378,137
지심인력상수	GM	$10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$3,986,005 \times 10^8$	$3,986,005 \times 10^8$
회전각속도	ω	$10^{-11} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$	$7,292,115 \times 10^{-11}$	$7,292,115 \times 10^{-11}$
역학적형상인자 (비정규화)	J_2	10^{-8}	-	$108,263 \times 10^{-8}$
역학적형상인자 (정규화)	$C_{2.0}$	10^{-6}	$-47,416,685 \times 10^{-6}$	-

표 2.20은 WGS84와 GRS80 타원체 상수는 NIMA(National Imagery Mapping Agency)에서 맨 처음 WGS84 타원체의 결정인자인 역학적 형상인자 즉 중력장의 제2차 조화함수의 계수를 결정할 때, GRS80 타원체에서의 비정규 값인 $J_2 = 108,263 \times 10^{-8}$ 을 사용하는 대신에 정규화 된 값, 즉 $C_{2.0} = -484.16685 \times 10^{-6}$ 을 사용하였기 때문이다(DMA. 1976, Malys. S 외 2인. 1993). 이것으로 인한 두 타원체의 편평률에 대한 차이는 $\Delta f = f_{\text{GRS80}} - f_{\text{WGS84}} = 16 \times 10^{-12}$ 에 불과하며 지상에서 좌표차이는 0.1mm에 불과하다.

1979년 12월 오스트리아 캔버라에서 열린 IUGG 제17차 총회에서는 1980 측지기준타원체(GRS80)가 채택되었다. GRS80 타원체는 CIO 극운동을 하며 BIH 정의의 기준자오선을 사용하는 회전타원체로써 구를 가장 근접하게 닮은 타원체로서 널리 이용되고 있다.

이러한 범 지구타원체는 지역에 따라 지오이드 기복이나 연직선 편차가 지역 기준타원체를 사용했을 경우보다 더 큰 오차가 생길수도 있으나 지표 위 어느 곳에서나 하나의 측지계로 통일하여 사용할 수 있다는 장점이 있어 그 활용성이 높아지고 있다. 특히, 미국은 1983년 북미주 측지망(NAD83 North American Datum)을 재조정하면서 Clarke 1866타원체 대신 GRS80 타원체를 채택하였다.

2. 4. 4 세계 측지계

GPS는 WGS84라고 불리는 기준 좌표계를 사용한다. 즉 GPS에 의한 모든 위치결정은 WGS84 좌표상에서 구현된다. WGS84는 여러 가지 관측 장비를 가지고 전 세계적으로 관측해온 중력장과 모양을 근거로 해서 1984년에 만들어진 ECEF(Earth Centered Earth-Fixed)좌표계로서 전체를 대상으로 하는 범지구 좌표계이다.

WGS84 좌표는 지구의 질량중심을 원점으로 하는 3차원 지심직교 좌표계로서 Z축은 1984년에 국제시보국(BIH)에서 채택한 지구자전축(CTP : Conventional Terrestrial Pole)과 평행하며, X축은 본초자오선과 지구의 적도면과 교차하는 선이고 Y축은 X축과 Z축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의된다.

세계 측지계란, 세계에서 공통에 이용할 수 있는 위치의 기준을 말한다. 측량의 분야에서는, 지구상에서의 위치를 경·위도에서 나타내기 위한 기준이 되는 좌표계 및 지구의 형상을 나타내는 타원체를 총칭해 측지 기준계라고 한다. 즉 세계 측지계는 세계 공통이 되는 측지 기준계를 말한다. 세계 측지계라는 말이 「세계 공통의 것」에 중점을 둔 표기인데 대해, 지구 중심계라는 말은 「좌표계의 원점을 지구 중심점」으로 중점을 둔 표현이다. 하지만 세계 측지계가 지구중심계를 채택하고 있으므로 같은 의미로 사용되고 있다.

개정된 測量法 제 5조 測量의 基準은 다음과 같이 정의하고 있다.

- 위치는 地理學的 經緯도와 平均海面으로부터의 높이로 표시한다. 다만 地圖製作 등에 필요한 경우에는 直角座標 및 平均海面으로부터의 높이, 極座標 및 平均海面으로부터의 높이 또는 地球中心直交座標로 표시할 수 있다.
- 地理學的 經緯도는 世界測地系에 따라 測定한다.
- 距離 및 面積은 回轉 橢圓體面上的 값으로 표시한다.
- 測量의 原點은 大韓民國經緯度原點 및 水準原點으로 한다. 다만, 島嶼

의 測量 기타 특별한 사유가 있는 경우에 國土地理情報院長의 승인을 얻을 때에는 그러하지 아니하다.

측량법 제5조 2항에서 세계 측지계는 시행령 2조4항 세계 측지계라 함은 지구를 편평한 회전타원체로 상정하여 실시하는 위치측정의 기준으로서 다음 각호의 요건을 갖춘 것을 말한다.

- 회전타원체의 장반경 및 편평률은 다음과 같을 것
 - ① 장반경 : 6,378,137m
 - ② 편평률 : 1/298.257222101
- 회전타원체의 중심이 지구의 질량중심과 일치할 것
- 회전타원체의 단축이 지구의 자전축과 일치할 것

지금까지 각국의 측지 기준계가 측량기술의 제약 등으로 인해 역사적으로 주로 자국만을 대상으로 구축된 것인데 비해, 세계 측지계는 세계 각국에서 공통으로 이용할 수 있는 것을 목적으로 구축된 것이다. 세계 측지계에서는, 지구를 가장 잘 나타내고 있는 타원체(준거타원체)로 지구상의 위치(경·위도 및 평균 해면으로 부터의 높이)를 나타낸다. 또 이 대신 지구중심을 원점으로 하는 3차원 직교 좌표계를 이용해 나타낼 수도 있다.

따라서 우리나라는 세계 측지계는 ITRF2000 좌표계와 GRS80 타원체를 채택해 사용하고 있다. 표고에 대해서는 현재와 같이 인천만 평균해면을 기준으로 나타낸다.

그림 2.8 단일 천문점에 의한 지역 기준계 정의는 세계 측지계의 수평위치의 산출은, 우주측지기술을 구사한 VLBI나 GPS를 이용해 GPS 상시관측소의 관측값에 근거해, 전국의 삼각점을 새롭게 계산을 실시하여야 한다.

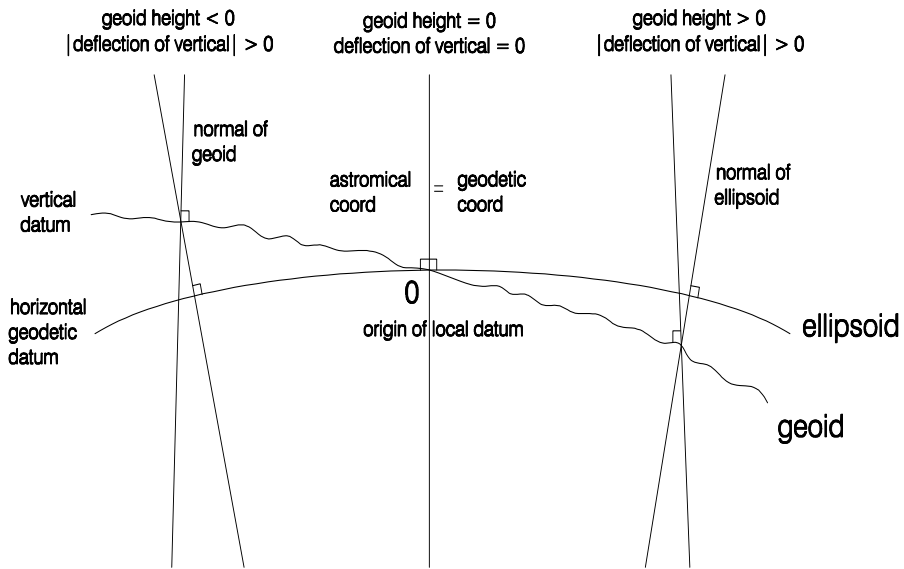


그림 2.8 단일 천문점에 의한 지역기준계 정의

가. 좌표체계

평면 직교좌표는 어느 한 점을 좌표의 원점으로 하고 그 원점을 지나는 자오선을 X축, 동서방향을 Y축으로 하여 각점의 직교좌표 X, Y로 표시된다. 평면 직교좌표는 어떤 지점에서 다른 지점을 표시하는 방향은 그 지점에서 X축에 평행한 축의 북방을 기준으로 하여 시계방향으로 관측각을 방위각이라고 하며 남북을 기준으로 좌우 각도를 방위라 표현하고 있다.

그림 2.9는 평면직교 좌표계이며 측선 A, B의 방위각 V_A^B 와 거리를 L을 계산하면 다음과 같다.

$$\tan\theta = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \quad (2.3)$$

중형선차가 1상한에 있으므로 방위각 $V_A^B = \theta$ 이다.

$$L = \frac{X_B - X_A}{\cos V_A^B} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin V_A^B} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (2.4)$$

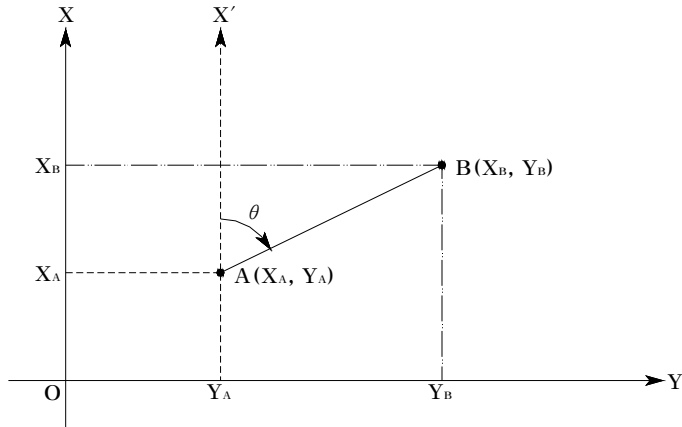


그림 2.9 평면직교 좌표계

$\Delta X = X_B - X_A$ 와 $\Delta Y = Y_B - Y_A$ 는 종횡선차이며 $\tan\theta = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ 또는 $\cot\theta = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$ 의 값은 +1과 -1사이에 있으며, AB의 거리 L의 계산공식은

$L = \frac{\Delta X}{\cos\theta} = \frac{\Delta Y}{\sin\theta}$ 로 점검할 수 있다.

$$L = (\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{\frac{1}{2}}$$

1) Bessel과 WGS84 타원체간 좌표변환

① GPS 경·위도 좌표의 변환

GPS는 WGS84 타원체의 가우스 상사 이중 투영법에 의한 직교 좌표계를 사용한다. 그러므로 GPS에서 제공하는 WGS84 지심좌표를 측량의 프로그램에서 사용하기 위하여 WGS84 타원체의 경·위도 좌표를 Bessel 1841타원체의 직교 좌표계로 변환할 필요가 있다.

그림 2.10은 WGS84 타원체의 경·위도 좌표를 Bessel 1841타원체의 직교 좌표계로 변환하는 단계를 나타내고 있다.

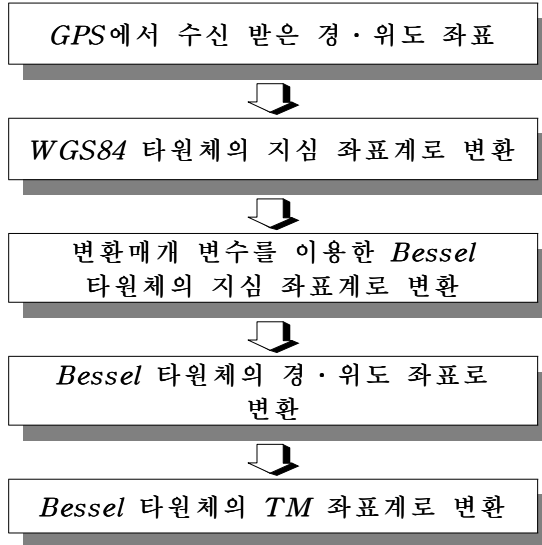


그림 2.10 좌표계의 변환과정

② 경·위도 좌표를 지심좌표로 변환

3차원 직교좌표계는 타원체의 회전축을 Z축, 그리니치 자오면과 타원체의 적도면이 만나는 방향을 X축, 이러한 2축에 대해 오른손 법칙에 따르면 Y축이 된다.

3차원 공간에서의 P점의 경·위도 좌표요소인 경도(λ), 위도(ϕ), 높이(h)와 지심 좌표계 요소인 (X, Y, Z) 성분이다.

GPS 수신기로부터 WGS84 경·위도 좌표의 요소인 경도, 위도, 높이값을 취득하여 WGS84 지심 좌표계의 요소인 (X, Y, Z)으로 변환하기 위해 식 (2.5)를 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 X &= (N + h) \times \cos \phi \cdot \cos \lambda \\
 Y &= (N + h) \times \cos \phi \cdot \sin \lambda \\
 Z &= (N(1 - e^2) + h) \sin \phi
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

여기서 a : 타원체의 장반경, b : 타원체의 단반경, N : 황곡률 반경,
e : 이심률, h : 타원체고 이며 N, e, f는 식 (2-6)과 같다.

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}} = \frac{a^2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (2.6)$$

$$e = f(2 - f)$$

$$f = (a - b)/a$$

③ WGS84 좌표를 Bessel 좌표로 변환

지심좌표의 타원체간의 변환은 Bursa-Wolf의 방법과 Molodensky-Badekas의 방법이 있다. 본 연구에서는 Bursa-Wolf의 방법을 사용하였다. Bursa-Wolf의 방법이 제시한 7매개변수를 이용한 변환모형 식은 (2.7)과 같다 (Wolf, P.R. 1980).

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = (1 + \Delta s) \times \begin{pmatrix} 1 & k & -\phi \\ -k & 1 & w \\ \phi & -w & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta s \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

그림 2.11은 Bursa-Wolf의 7개변수를 이용한 변환모델 식에서 사용된 인자의 좌표축에서의 개념도이며 Bursa-Wolf의 7개의 변수를 이용한 변환모형 식의 인자 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는 각각 x, y, z 축에 대한 이동량이며, Δs 는 축척계수(ppm)이다. w, ϕ, k 는 각각 x, y, z 축에 대한 회전량이며, (X_B, Y_B, Z_B) Bessel 1841좌표이며 (X_W, Y_W, Z_W) 는 WGS84 좌표이다.

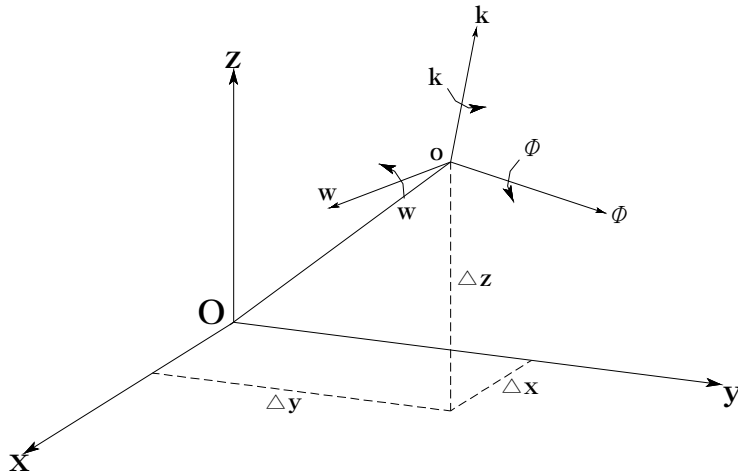


그림 2.11 Bursa-Wolf의 7매개변수를 이용한 변환모형

④ Bessel 지심좌표를 경·위도 좌표로 변환

지심좌표를 경·위도 좌표로 변환하기 위해 식 (2.8)을 이용하였다.

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Z}{l}\right)$$

$$\lambda = \tan^{-1}\frac{Y}{X}$$

$$h = \frac{p}{\cos\phi} - N \tag{2.8}$$

식 (2.8)에서 $l = \sqrt{\left(\frac{b^2}{a^2}N+h\right)^2 - Z^2}$, $p = \sqrt{X^2 + Y^2} = (N+h) \times \cos\phi$

이다.

⑤ Bessel 경·위도 좌표를 직교좌표로 변환

Bessel은 1841년 경·위도 좌표를 직교좌표로 변환하기 위해 식 (2.9)를 이용하였다.

$$\begin{aligned} \frac{x}{N} &= \frac{\lambda}{\rho} \cos\phi + \frac{\lambda^3 \cos^3\phi}{6\rho^3} (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{\lambda^5 \cos^5\phi}{120\rho^5} (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2) \\ &+ \frac{\lambda}{5,040\rho^7} \cos^7\phi (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)\phi \end{aligned} \quad (2.9 \text{ a})$$

$$\begin{aligned} \frac{y}{N} &= \frac{S_p}{N} + \frac{\lambda^2}{2\rho^2} \sin\phi \cos\phi + \frac{\lambda^4}{24\rho^4} \sin\phi \cos^3\phi (5 - t^2 + 9\eta^2 - 4\eta^2) + \frac{\lambda^6}{720\rho^6} \\ &\sin\phi \cos^5\phi (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2) + \frac{\lambda^8}{40,320\rho^8} \sin\phi \cos^7\phi \\ &(1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) \end{aligned} \quad (2.9 \text{ b})$$

식 (2.9)에서 (λ, ϕ) 는 Bessel 1841 경·위도 좌표이고 (x, y) 는 구하고자 하는 Bessel 직교좌표이며 나머지 인자들의 값은 다음 식 (2.10)과 같다.

$$\begin{aligned} \gamma &= \lambda \sin\phi \left[1 + \frac{\lambda^2 \cos^2\phi}{3\rho^2} (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) + \frac{\lambda^4 \cos^4\phi}{15\rho^4} (2 - t^2) \right] \\ S &= \frac{1}{N \cdot \cos\phi} \cdot \frac{\partial x}{\partial \lambda} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2\gamma - \frac{1}{8} \tan^4\gamma + \frac{1}{16} \tan^6\gamma - \dots \right) \quad (2.10) \\ \sigma &= \frac{N}{R} = 1 + \delta \cos^2\phi, \quad \delta = \frac{6^2}{1 - 6^2} \quad t = \tan\phi \quad \eta^2 = \delta \cos^2\phi \end{aligned}$$

제 3 장 관측망 자료 분석

3. 1 제주지역 삼각점

본토 대삼각 본점과 제주도 1등 삼각점 3점과는 그 시통거리가 53~83km가 되어 관측 시 많은 문제점이 있었을 것이다. 최초측량당시 제주도 측량은 본토 육지로부터 90리가 떨어진 주위 40리 고도(孤島)로서 왕복이 매우 불편하여 소삼각 측량은 시일과 경비상 본 측량과 동시관측을 하여야 이로움이 있어 대삼각 보점 2등, 3등, 4등을 동시에 시행하였다(이진호. 2001).

삼각급 수준측량 성과표에 의하면 2등, 3등, 4등 삼각점을 동시에 관측 계산된 것이 확인이 되었으며, 제주도(82점 중 추자도 포함)에 74점이 매설되어 관측 계산이 완료 되었으며 삼각급 수준점 1점이 관측 되었으나 문헌을 찾을 수가 없었다. 또한 1939년에 2등, 3등, 4등 점의 14개 삼각점에 대해 재 매설 후 관측되었으나 관리가 제대로 이루어지지 않아 지금에야 관측 자료가 발견되었다.

이중 1, 2등 삼각점 중 1939년 재 매설된 삼각점은 군산, 모슬봉, 가파도, 당산봉 4점 이었고 1993년에 군산, 가파도 점이 재설되어 성과들을 검증할 수 없었으며 모슬봉은 현재 삼각점이 없다. 기존문헌을 찾았으나 최초측량당시 관측 야장과 계산부는 찾을 수가 없어 계산된 양식지에 있는 거리의 대수와 좌표를 역계산한 거리는 한라산을 기준으로 고내봉 0.72m, 지미봉 0.43m가 틀리는데 그 이유는 찾을 수가 없었다.

고내봉 - 한라산 - 지미봉 기선간 거리오차를 발견하지 못한 이유는 고내봉은 1993년 재설이 되어 위치가 8.05m, 한라산이 1977년 복구되어 2.63m, 지미봉은 1993년 복구되어 0.87m의 과대오차가 발생되어 0.72m 이상 성과 차이가 있어서 좌표 역 계산 및 대수의 거리와 차이의 오차발견을 할 수 없었다. 표 3.1은 최초측량당시 좌표 역 계산 및 대수의 거리를 비교하였다.

표 3.1 좌표 역 계산 및 대수의 거리

삼 각 점 명		좌표상 거리	대 수 거 리	차 이	거리의 대수	등 급
한라산기준	고내봉	20598.99m	20598.27m	0.72m	4.3138307	대삼각 본점
	지미봉	37908.69m	37908.26m	0.43m	4.5787339	대삼각 본점

제주지역의 삼각점에 대한 등급별 점수와 삼각점의 매설점수는 표 3.2와 같 으며 대삼각 본점과 대삼각 보점은 1, 2등 삼각점을 나타내고 3, 4등 삼각점은 로마식 표기법 I, II로 등급을 표현 하였다.

표 3.2 제주지역의 삼각점 매설점수

등 급	점 수	부 호	비 고
대삼각 본점	3		1등 삼각점
대삼각 보점	21	굴 1 - 굴 21	2등 삼각점
I	19	굴 1 - 굴 19	3등 삼각점
II	31	굴소20 - 굴소50	4등 삼각점
계	74		

제주지역의 대삼각 본점 1등점과 대삼각 보점 2등점은 표 3.3과 같고 대삼각 본점은 부호가 없고 대삼각 보점 2등 삼각인 경우는 굴 1에서 굴 21까지 표현 하였고, 3등 삼각점도 굴 1에서 굴 19까지 표현하였다. 4등인 경우는 굴소 20부터 굴소 50까지 부호를 설정하였다. 여기서 ‘堀’은 관측 기사의 성명자 중 하나이다.

표 3.3 제주지역의 최초측량당시 삼각점 성과표

급 수	등급	부 호	명 칭	위 도	경 도	최초측량당시 측량성과		1939년재매설성과	
						X	Y	X	Y
1등삼각	본점		지 미 봉	33-29-45.876	126-54-05.807	50326.54	190858.28		
1등삼각	본점		한 라 산	33-21-29.488	126-31-42.918	35129.87	156128.90		
1등삼각	본점		고 내 봉	33-27-21.953	126-20-25.416	46083.12	138683.42		
2등삼각	보점	굴 1	사 라 봉	33-30-52.832	126-32-38.250	52477.97	157635.42		
2등삼각	보점	굴 2	서 우 봉	33-32-33.394	126-40-36.305	55529.59	169981.09		
2등삼각	보점	굴 3	만 장 굴	33-32-30.187	126-46-22.534	55407.07	178912.32		
2등삼각	보점	굴 4	높은오름	33-27-11.422	126-47-32.074	45583.35	180686.51		
2등삼각	보점	굴 5	바늘오름	33-27-01.915	126-39-10.686	45325.11	167738.31		
2등삼각	보점	굴 6	대 록 산	33-23-45.246	126-43-43.372	39245.58	174764.25		
2등삼각	보점	굴 7	독 자 봉	33-23-05.168	126-51-09.734	37987.74	186296.35		
2등삼각	보점	굴 8	우 도 봉	33-29-18.897	126-57-52.052	49491.61	196697.36		
2등삼각	보점	굴 9	매 오 림	33-18-51.962	126-48-46.062	30193.62	182569.41		
2등삼각	보점	굴10	자 배 봉	33-17-51.904	126-40-33.975	28374.67	169836.43		
2등삼각	보점	굴11	성널오름	33-22-14.554	126-35-27.084	36493.66	161929.26		
2등삼각	보점	굴12	지 귀 도	33-13-16.104	126-39-20.012	19884.75	167895.09		
2등삼각	보점	굴13	고 근 산	33-15-48.726	126-30-43.310	24639.56	154538.83		
2등삼각	보점	굴14	군 산	33-14-59.459	126-22-11.060	23192.84	141273.09	성과별도	표3.4참조
2등삼각	보점	굴15	노 루 악	33-21-46.840	126.26-18.368	35706.00	147741.75		
2등삼각	보점	굴16	모 슬 봉	33-14-07.802	126-15-26.656	21648.06	130794.24	21650.16	130794.04
2등삼각	보점	굴17	거문오름	33-26-22.358	126-29-45.266	44166.28	153131.13		
2등삼각	보점	굴18	돌 오 림	33-19-21.010	126-19-13.472	31278.96	136728.95		
2등삼각	보점	굴19	당 산 봉	33-18-16.148	126-10-19.541	29380.65	122904.50	29380.62	122904.51
2등삼각	보점	굴20	비 양 도	33-24-23.576	126-13-34.844	40661.06	128040.52		
2등삼각	보점	굴21	가 파 도	33-10-01.456	126-16-16.769	14072.32	132038.83	14075.08	132040.33

표 3.4 1939년 당시 굴14 계산자료

측선	좌 표		거 리	방 위 각	△ X		△ Y		X	Y	비 고
					N(+)	S(-)	E(+)	W(-)			
	X								23,192.84	141,273.09	최초 성 과
	Y										
굴41 -굴14	X	25,421.24	3,714.27	233-07-59		2,228.41		2,971.53	23,192.83	141,273.09	1939년 계 산 정 과
	Y	144,244.62									
굴10 -굴14	X	23,703.45	7,621.33	266-09-36		510.40		7,604.22	23,193.05	141,273.10	“
	Y	148,877.32									
굴16 -굴14	X	21,650.16	10,592.36	81-37-00	1,544.32		10,479.18		23,194.48	141,273.22	“
	Y	130,794.04									
굴21 -굴14	X	14,075.08	12,976.00	45-21-34	9,117.68		9,232.80		23,192.76	141,273.13	“
	Y	132,040.33									
굴43 -굴14	X	17,454.58	9,713.52	53-47-23	5,738.27		7,837.40		23,192.85	141,273.11	“
	Y	133,435.71									
							평 균		23,193.19	141,273.13	

표 3.4의 관측 자료에 의하면 최초측량당시 성과와 1939년 재 매설된 삼각점 성과간의 부합관계를 판단하기 위해 굴14 주변의 5개 삼각점에서 관측된 성과를 계산하여 비교 분석 하였다. 2등 삼각점은 1등 삼각점이나 2등 삼각점에서 관측을 하여야 되는데 측선에 나타난 굴10, 굴16, 굴21은 2등 삼각점에서 관측이 되었고 굴41과 굴43은 4등 삼각점에서 관측이 되어 성과가 차이가 있었음을 알 수 있었다.

굴14주변의 어느 삼각점과 연결 관측되더라도 성과가 완전히 일치되어야 하는데 삼각점간 성과차이가 크게 나타남을 알 수 있었다.

제주지역에 삼각점 관측 현황을 보면 크게 두번의 재설이 있었는데 1939년과 1993년이였다. 1972년, 1976년에도 부분적으로 복구가 되었으며 제주지역은 수 없이 재설, 매설, 복구가 되었다.

그림 3.1은 1910년 최초측량당시 추자도, 태랑도, 거문도 삼각점을 이용하여 제주도의 대삼각 본점 및 대삼각 보점의 관측망도를 재현 한 것이다.

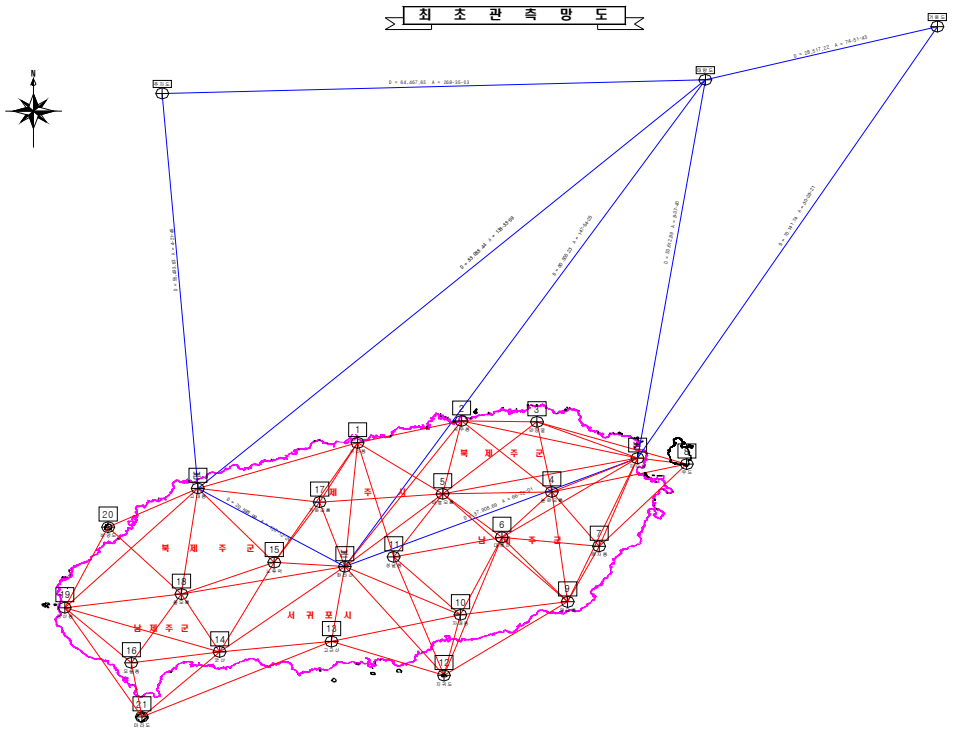


그림 3.1 최초측량당시 제주지역 관측망도

표 3.5 최초측량당시 삼각점간 거리

기 선	거리(m)	기 선	거리(m)
추자도-태랑도	64467.65	태랑도-지미봉	53612.90
태랑도-거문도	28517.22	한라산-태랑도	80505.23
추자도-고내봉	55493.63	한라산-지미봉	37908.69
고내봉-태랑도	83088.44	고내봉-한라산	20598.99
거문도-지미봉	70141.74		

3. 2 관측망 구성 및 관측

현재 제주지역에 사용 중인 삼각점은 망실, 훼손, 복구 등으로 인하여 상당수 사용을 못하고 있는 실정이고 1개의 삼각점에 이중성좌가 있는 삼각점이 다수 발견되었다. 최초측량당시 삼각점들 간 거리는 표 3.5와 같고 제주지역의 삼각점 망도는 그림 3.2와 같다.

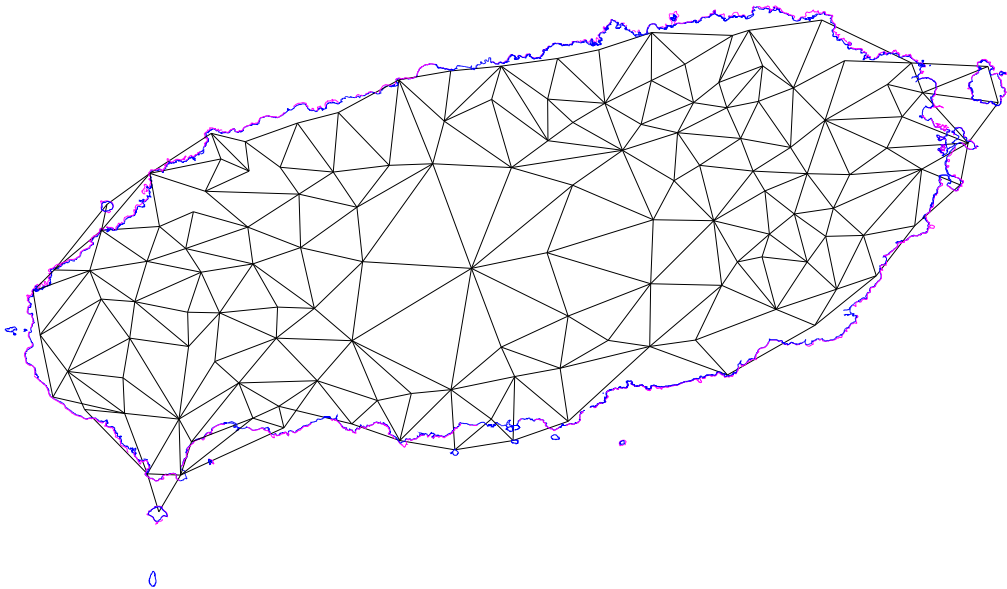


그림 3.2 제주지역 삼각점 망도

표 3.6 session 중복도

기 선 (점 명)	session 중복 관측 날짜
고 내 봉 - 군 산	2004. 11. 25 ~ 2004. 11. 30
바늘오름 - 자 매 봉	2004. 12. 03 ~ 2004. 11. 27
매 오 림 - 서 우 봉	2004. 11. 25 ~ 2004. 12. 02

기선해석을 목적으로 표 3.6의 session 중복도는 고내봉 - 군산, 바늘오름 - 자배봉, 매오름 - 서우봉등 3개 기선을 중첩 고정하여 관측을 수행하였다.

GPS 관측을 위한 선점을 그림 3.3과 같이 제주전역에 고르게 분포된 1, 2등 점을 기준으로 최종 21점을 선별한 후 GPS 관측망도를 작성하였고 RTK-GPS 측량을 위해 제주시내(신제주, 도두봉, 간드락, 원당봉)에 보조점 4점을 추가하여 25점을 관측하였다.

관측 자료의 처리에 있어서는 고정점으로 이용하기 위해 GPS 상시관측 3곳을 관측망에 포함시켰고 국토지리정보원 관측소, 천문 연구원 관측소, 행정자치부 관측소점을 이용하여 3차원 망조정을 실행하였다.

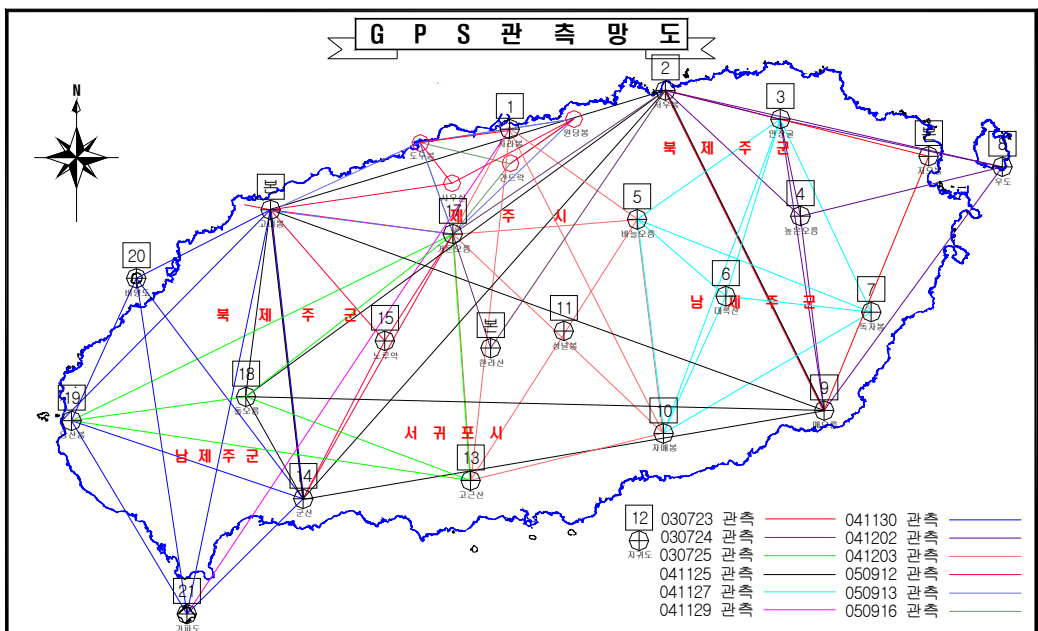


그림 3-3 GPS 관측망도

3. 3 관측자료 분석

관측 전날 현장답사를 통하여 삼각점의 위치를 확인하고 천정 개방각이 안 좋은 경우는 미리 장애물(수목)을 제거하였으며 삼각점에 기준국(reference) GPS를 설치완료 후 관측수부에 안테나 높이를 입력하고 관측수부에 기록 하였으며 메모리와 배터리를 점검하고 자료수신을 시작하였고 관측종료 전 다시 안테나 높이를 검측하였다.

관측망을 구성한 후 Sokkia Radian 2주파 수신기 및 Ashtech 2주파 수신기를 통해 정지관측(static)을 하였으며, GPS 관측은 2003년 7월 22일부터 2005년 9월 16일까지 맑은 날에 관측을 하였고 관측시간은 오전 10시 - 10시 30분에 시작하여 오후까지 관측시간을 최소 4시간 이상 GPS 수신기를 통하여 자료를 취득하였다.

관측된 자료는 전자야장과 기준국에 장착된 memory card에 저장된 file을 날자 별로 정리하여 PC에 저장 관리하였다.

12일 동안 저장된 자료와 제주도에 상시관측소 3점의 위치에 있는 행정자치부 관측소, 천문 연구원 관측소, 국토지리정보원 관측소를 통하여 얻은 그 날짜에 자료를 취합하여 정밀 망조정을 통해 성과를 산출하였다.

RTK-GPS 현황측량은 위성배치가 양호한 시간대를 선정하여 측량에 지장이 없는 장소를 선정하였다.

구획정리된지역(1:500, 1:600)과 최초측량당시지역(1:1,200)을 선택하여 3대의 RTK-GPS를 똑같은 삼각점에 배치하여 거리 및 좌표를 확인 후 일치시켜 좌표변환(calibration)은 전자야장을 통해서 확인 후 RTK-GPS 측량을 하였다. 표 3.7은 관측월일, 관측시간 및 관측방법을 나타낸다.

표 3.7 관측월일 및 관측시간

관측년도	월-일	관측시간	관측방법
2003년	07-23	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	07-24	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	07-25	AM10:00~PM15	STATIC 관측
2004년	11-25	AM11:00~PM16	STATIC 관측
	11-27	AM10:30~PM16	STATIC 관측
	11-29	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	11-30	AM10:30~PM16	STATIC 관측
	12-02	AM11:00~PM16	STATIC 관측
	12-03	AM10:30~PM16	STATIC 관측
2005년	09-12	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	09-13	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	09-16	AM10:00~PM15	STATIC 관측
	09-17	-	GPS-RTK 측량
	09-18	-	GPS-RTK 측량
	09-19	-	GPS-RTK 측량

축척 1:1,200 지역은 최초측량당시 경계의 이동으로 인하여 성과산출이 불분명한 지점들은 제4장 그림 4-11 제주시내 보조점 및 RTK-GPS 측량도에서 삭제시켰고 성과산출이 가능한 9개 지역을 선택하여 7개의 구획정리된 지역과 2개의 1:1,200지역을 비교 분석하였다.

그림 3.4는 DOP(정밀도 저하율)는 5이하의 양호한 상태에서 관측하였고 06시부터 09시 사이는 위성상태가 불량하여 모든 DOP가 20까지 올라가는 모습을 볼 수가 있다. 그림 3.5는 가시위성 그래프이며 현재 지구상에 운영중인 GPS 위성은 28개이다.

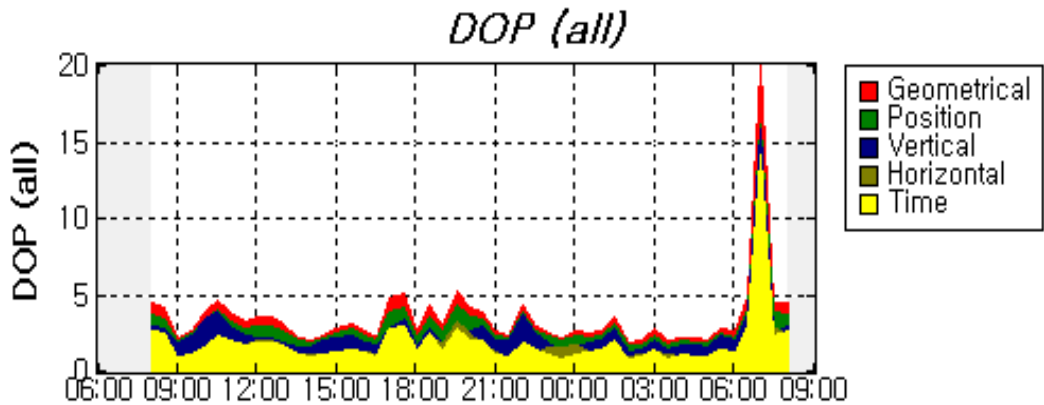


그림 3.4 DOP(정밀도 저하율)

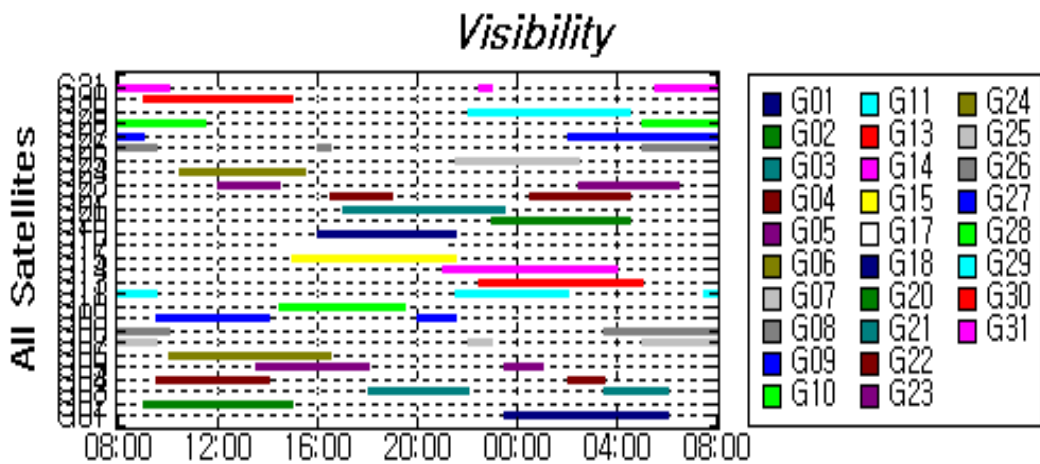
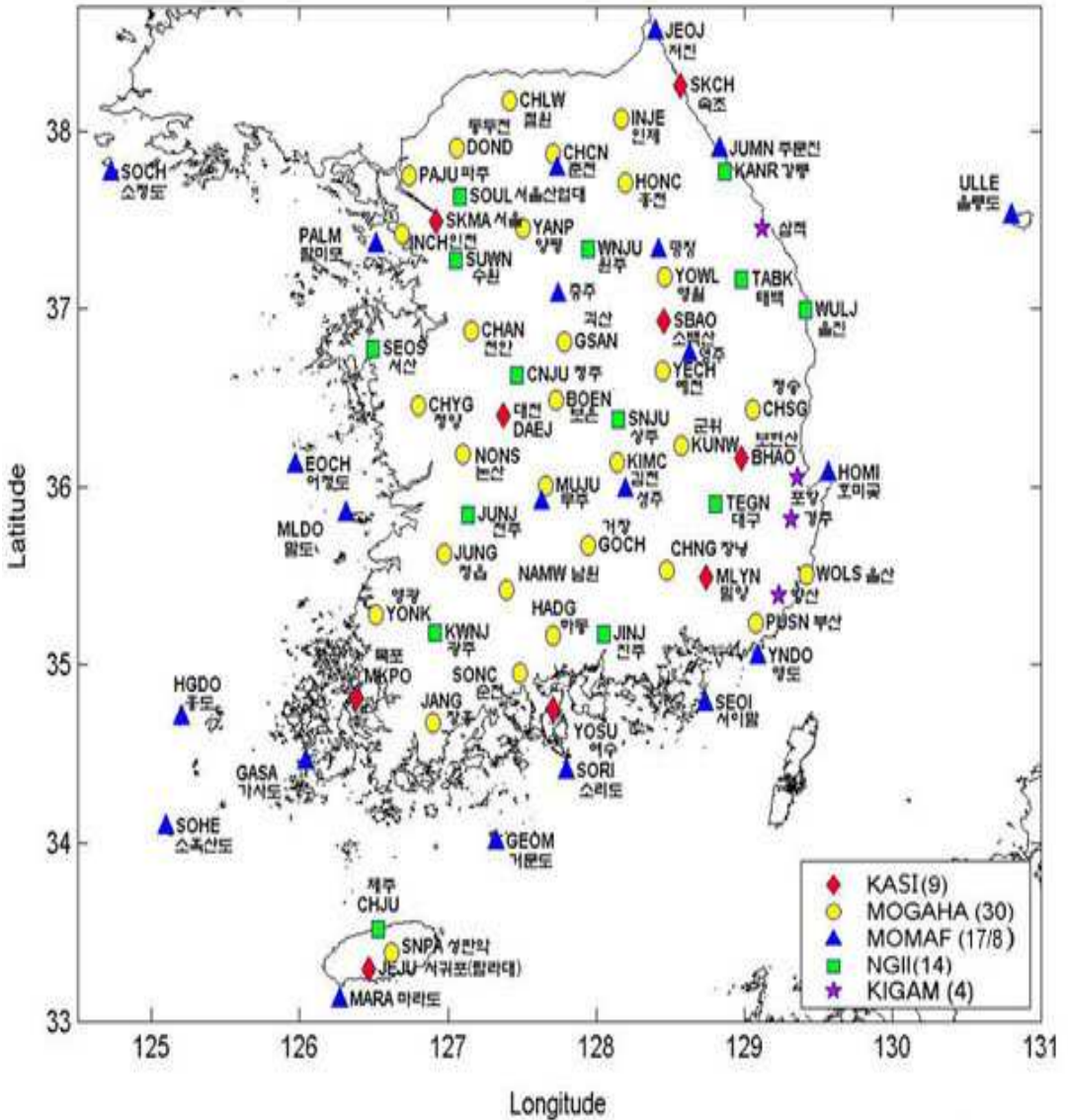


그림 3.5 가시위성 그래프

그림 3.6은 우리나라 GPS 상시관측소이며 국토지리정보원 14점, 한국천문 연구원 9점, 행정자치부(지적공사 포함) 32점, 해양수산부 18점, 한국지질 연구원 4점등 5개 연구원에서 운영중인 관측소는 현재 77여 개소이다. 본 연구에 이용된 제주지역 상시관측소에 대한 위치와 성과는 표 3.8과 같다.



- 한국천문연구원 Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI)
- 행정자치부 Ministry of Government Administration and Home Affairs (MOGAHA)
- 해양수산부 Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF)
- 국토지리정보원 National Geographic Information Institute (NGII)
- 한국지질자원연구원 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)

그림 3.6 우리나라의 GPS 상시관측소

표 3.8 제주지역의 상시관측소

<i>point name</i>	위도 (<i>latitude</i>)	경도(<i>longitude</i>)	<i>point</i>
국토지리정보원	N33-30-50.13620	E126-31-47.35120	제 주 기 상 청
행정 자치부	N33-23-05.04715	E126-37-08.61073	한라산 성판악
천문 연구원	N33-17-18.03754	E126-27-43.83129	탐 라 대 학 교



그림 3.7 군산 정지식 측량모습

그림 3.7은 군산에서 Sokkia Radian 600 Slant Receiver를 이용하여 정지식 (static)방법으로 (2005년 9월12일) 제주도 남제주군에 위치한 굴14(군산)점에서 관측하는 모습이다. 그림 3.8은 도두봉 에서 Sokkia Radian 600 Slant Receiver 를 이용하여 정지식(static) 방법으로(2005년 9월 13일) 제주시 도두동에 위치한 보조점을 관측하는 모습이며 그림 3.9는 GPS 측량 전 모습이다.



그림 3.8 도두봉 정지식 측량모습



그림 3.9 RTK - GPS 측량 전 모습



그림 3.10 RTK - GPS Rover 측량모습

그림 3.10은 RTK-GPS 측량모습이고 이동식 위치관측은 기지점에 기준국(수신기 및 안테나)을 설치하고 미지점을 관측하여 순차적으로 이동하여 가는 방식으로 이동하는 수신기를 Rover라고 하며 기준국 1대당 여러 대의 Rover를 사용할 수 있다. 이동식 위치관측에서 중요한 조건은 모든 측량이 종료 시까지 수신기에서 계속 위성으로부터 수신하여야 하는데 에포크(수신간격)가 짧고 연속적으로 수신하므로 여러 대의 위성에서 수신하다 갑자기 지장물이 있을 경우는 위성신호가 단절 될 수 있으므로 Rover 확인은 필수적이며 모든 정보는 전자야장에서 위성의 배치상태, 3D RMS, 축척계수(Δs), 경·위도 등 확인이 가능하다. 그림 3.11은 전 세계의 일년 동안 지각변동 벡터도를 표현한 것이며 그림 3.12는 2003년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 1년간 GPS-STATIC을 이용한 제주지역의 변동 벡터도를 표현한 것이고 X 이동량은 -10mm, Y 이동량은 +22mm이며 이동 거리는 연간 24mm가 이동되고 있으며 이동 방위각 115°이다. 이에 따라 지각변동 벡터도 만큼 제주지역의 삼각점들도 미소하게 이동이 되었을 것으로 판단한다.

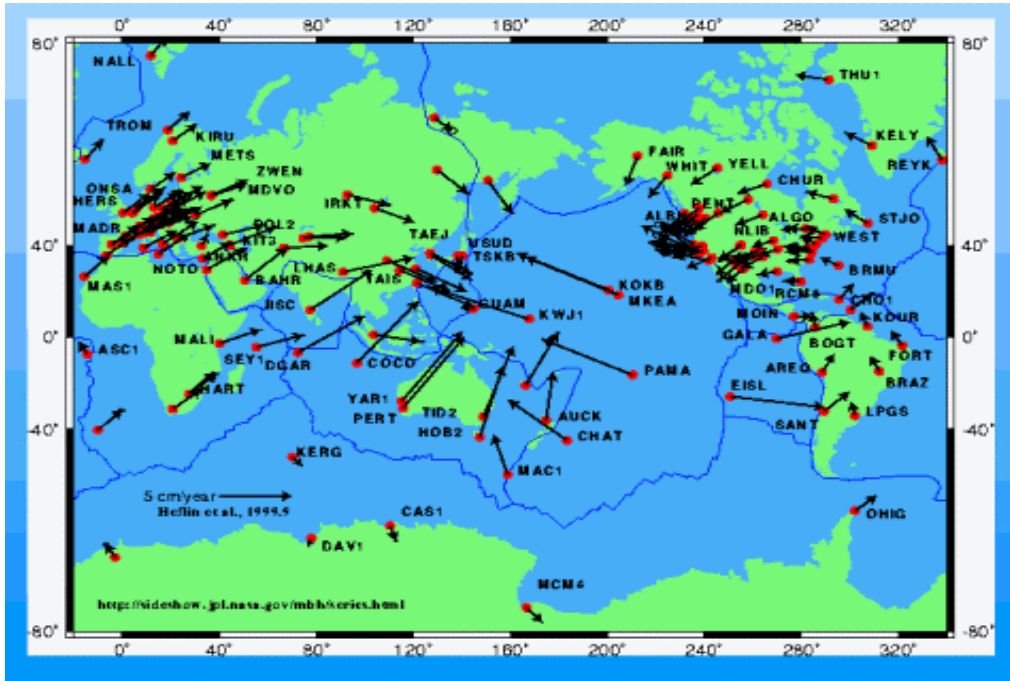


그림 3.11 전 세계 지각변동 벡터도

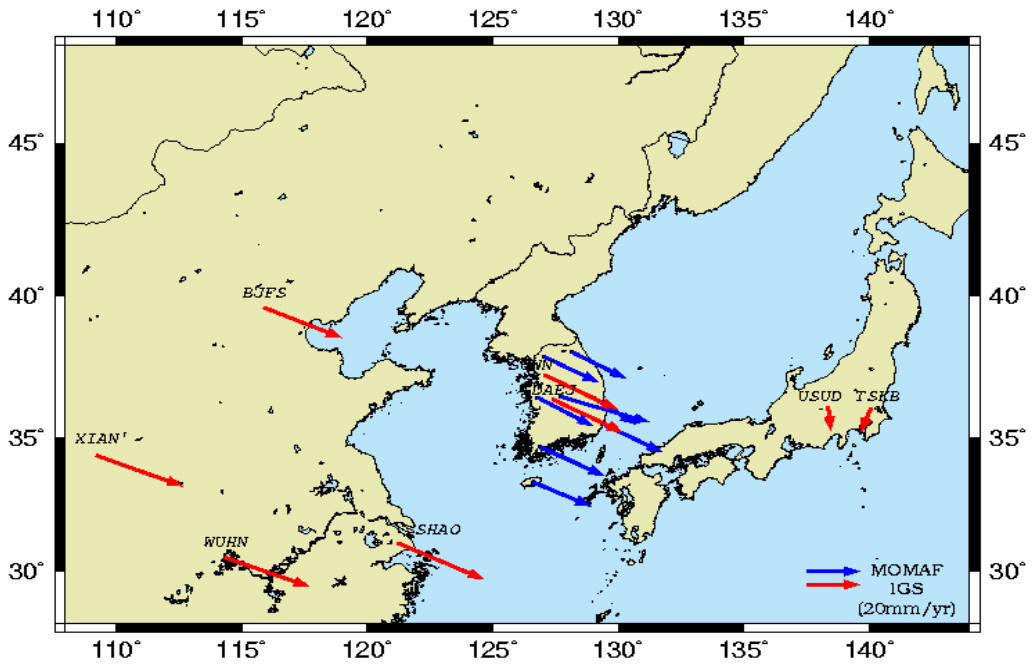


그림 3.12 GPS 위성 기준점의 변동 벡터도

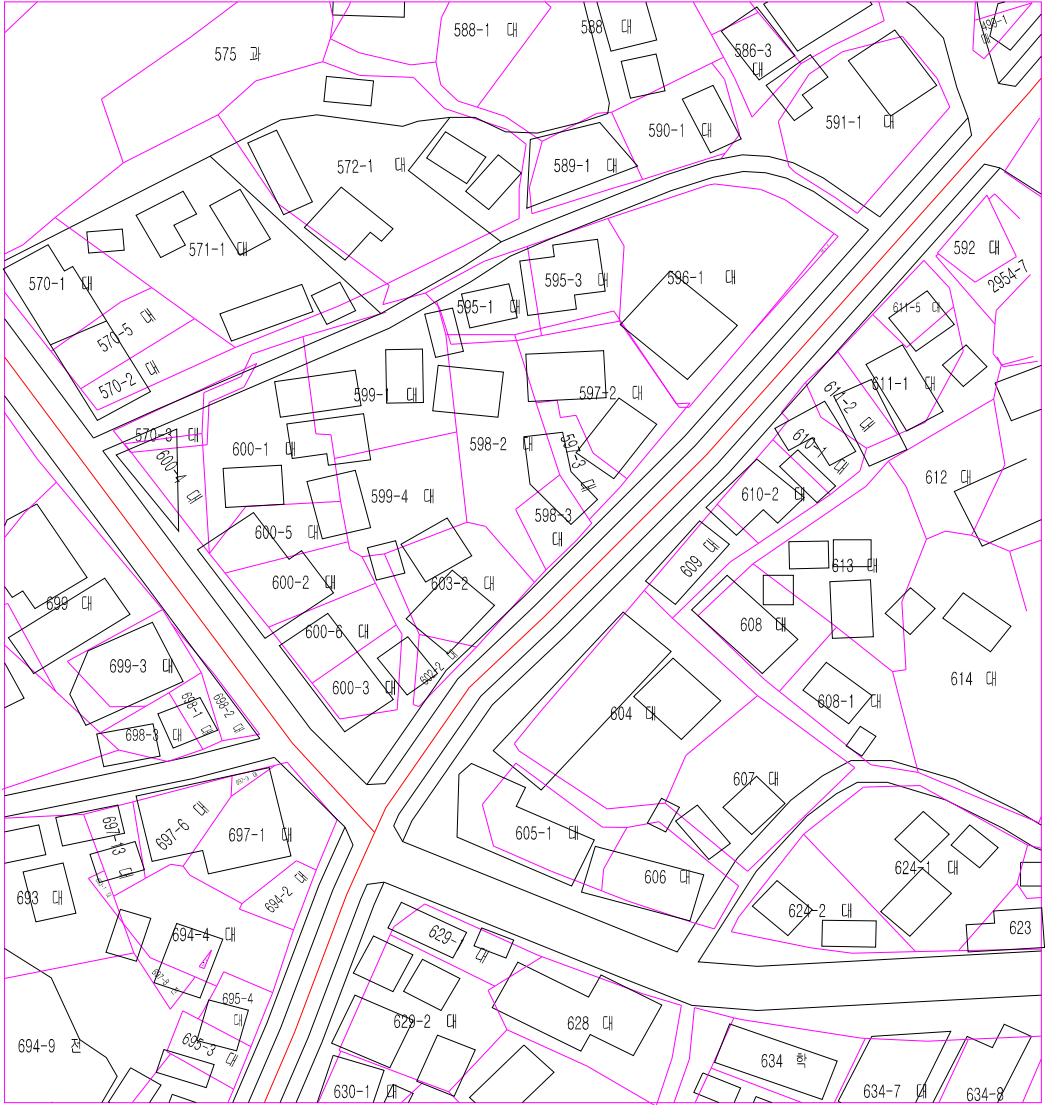


그림 3.13 수치지도(1:5,000)와 지적도와의 비교

그림 3.13과 같이 제주지역의 수치지도(1:5,000)와 지적도를 단순 비교 분석한 결과 지적도와 수치지도의 건물비교 시 한 방향으로 이동하는 것이 아니라 방향 및 거리 관독이 불가능 할 정도로 상당한 오차량을 보이고 있다. 상기 지적도와 부산 정부 기록소의 최초측량당시 지적도와 비교 분석 하였으나 불부합은 발견할 수 없었다.

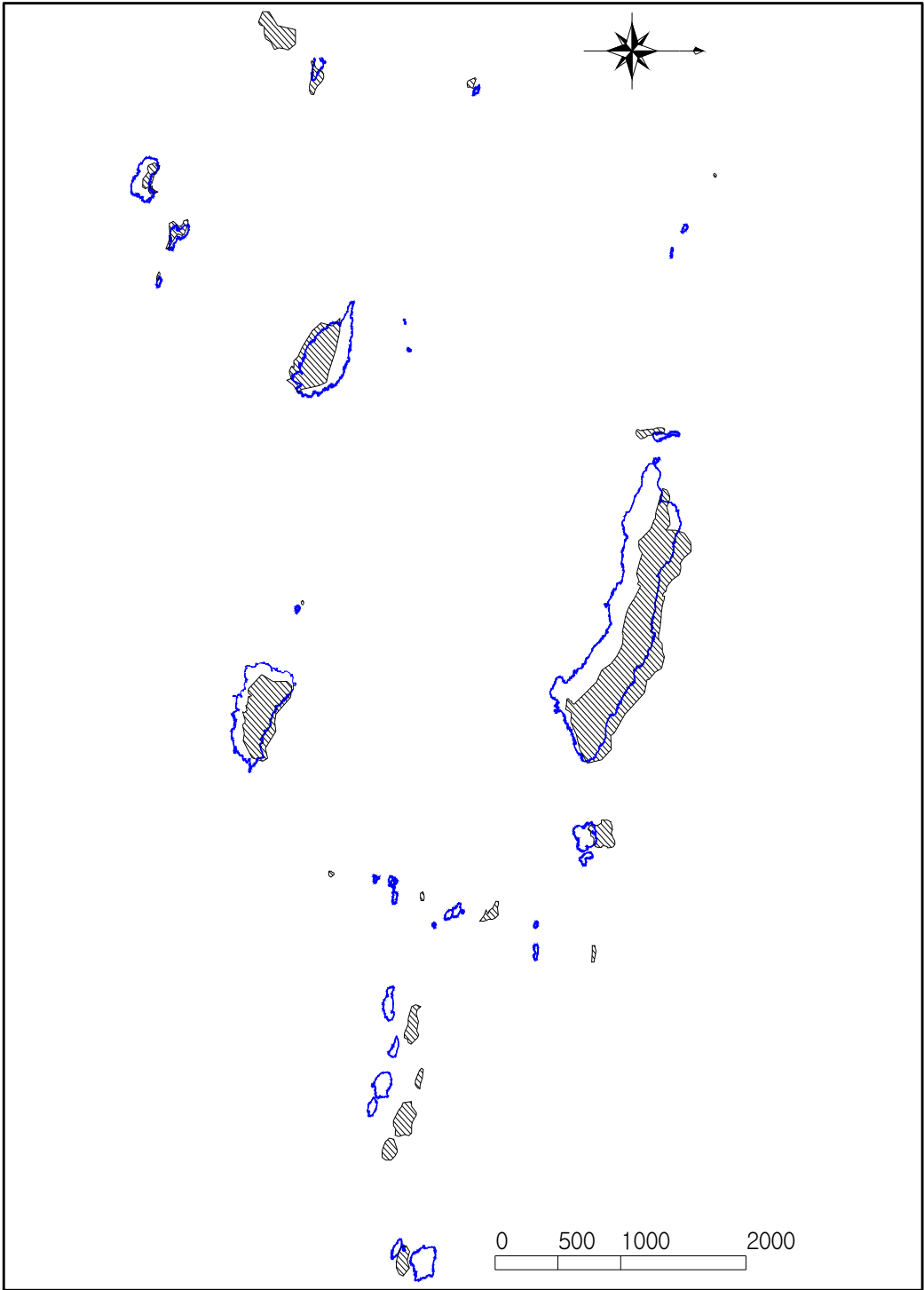


그림 3.14 추자도 지역의 수치지도와 임야도 비교

그림 3.14는 추자지역의 수치지도(1:5,000)와 지적도를 비교 분석한 결과 최초 측량당시에는 작은 섬은 삼각점이 없고 평판측량에서 전진법(보점 거리의 최소 단위는 100間 : 182m)으로 측량을 하였다. 빗금친 부분은 추자지역의 임야도와 수치지도(1:5000)를 비교한 도면이고 거리 및 방향이 서로 각각 다르게 나타나고 있음을 알 수 있었으며 도서지역인 경우는 위치개념보다 면적개념이 측량임을 알 수 있었다.

도근측량 후 방향은 도근점을 시준하지 않고 멀리 있는 삼각점을 후시로 시준 하였으며 이는 평판측량 시 평판의 표정점을 확실히 하기 위함이었으며 도근점측량 후 도근점을 전개한 표시가 없었으며 3mm-3mm(18m-18m) 격자형 도면에 1:6,000 임야도를 측량하였기에 임야도는 오차가 많이 발생한다는 사실도 발견하였다.

도서(島嶼) 측량 시 처음에는 교통이 편리하고 육지부조사(陸地部調査)에 비해서 작업시행 상 광대한 섬에 대해서만 측량을 실시하였으며 육지부 조사가 진전함에 따라 도서(島嶼)지역도 조사할 필요가 있었다.

측량방법은 일반적인 것과 큰 차이가 없지만 도근측량을 생략한 토지는 그 부근의 나침편차도(羅針偏差圖)에 따라 원도 도곽선 한 구석에 나침방위를 정하고 나침에 의해서 측판을 표정하여 적당한 지점에 세부기점을 선정해서 원도상에 표시하였다.

민유임야(民有林野)의 측량은 조직과 기획없이 산발적이고 개인적으로 시행되었고 일정한 수수료도 없었다. 대서업자와 계약하는 경우도 있고 직접 측량사를 초빙하여 임야(1:3,000, 1:6,000등)를 측량하고 민유임야약도를 첨부하여 지적보고서를 작성하여 농상공부대신에 우송하여 농상공부 식산국에서 접수증을 발급하였다(국토지리정보원. 2003).

제 4 장 관측자료 처리 및 해석

4. 1 기선해석 및 *ITRF*좌표 산출

GPS 관측 자료의 처리는 기선해석을 시작으로 3차원 망조정 후 세계좌표를 산출한 후 좌표변환을 통해 현행 베셀성과를 산출하였다.

관측에 사용된 GPS 수신기는 동일기종의 수신기가 아닌 타기종의 수신기로 관측될 경우 타기종간의 관측자료 형식을 하나의 S/W상에서 처리하기 위해서는 공통된 자료규격이 필요하다.

관측된 자료를 공통규격으로 변환하기 위해 GPS 공통자료 규격인 RINEX로 변환한 후 각관측점에 대해 도엽 명 또는 고유명칭으로 파일명을 명명하였고 GPS 상시관측소 자료 취득일시와 같은 날짜에 관측된 각 Session의 GPS 관측 점들을 시간대 별로 자료를 재구성하고 3곳의 상시관측소를 고정하여 트림블 지오메틱스 오피스(trimble geomatics office)인 TGO를 이용하여 GPS 관측 자료를 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 연구의 기선해석 방법은 GPS수신 장비를 혼합하여 관측하였기 때문에 고정점으로부터 각 기선별 불확실정수를 최소제곱으로 해석해 가는 일괄동시처리 방식으로 처리하였으며 궤도력은 IGS에서 관측한 후 약11일 후에 확정하여 공식적으로 발표하는 정밀력인 SP3(IGS final orbit)을 이용하여 기선처리를 수행하였으며 인터넷을 통하여 NGS(National Geodetic Surver) 사이트에 접속하여 전송을 받았다.

여기서 기선해석이라 함은 관측 자료로부터 WGS84 좌표계상의 3차원 위치를 결정하는 작업으로서 수신기부속품인 전용 S/W를 사용한다. 수신기전용 soft ware는 제작사간에 근본적인 차이는 없으며 유사한 통계학적, 물리학적

방법을 사용하고 있고 자료처리의 흐름과 해석결과의 적, 부 판정을 위한 통계 파라미터의 해석에는 차이가 없다. 이런 이유로 국내뿐만 아니라 선진외국에서도 GPS 수신기 제작사에서 제공하는 S/W의 활용에 전적으로 의존하고 있다 (대한지적공사, 1998).

그림 4.1은 자료 취득에서부터 마지막 단계인 새로운 측지망 구성까지의 자료처리 흐름도를 나타낸 것이다.

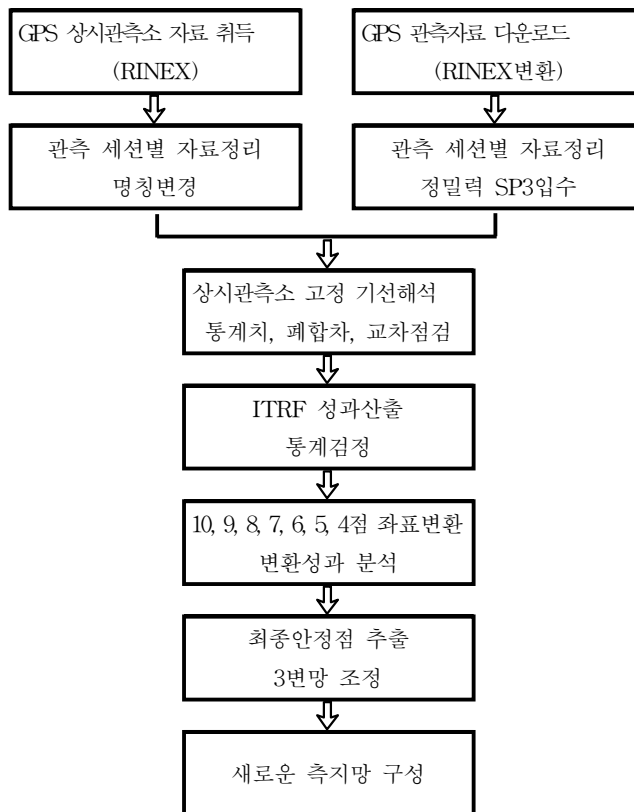


그림 4.1 자료처리 흐름도

기선처리 후 망조정은 각 폐합 망에 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 내용은 다음과 같다(Trimble. 1995).

가. 사용 S/W : Trimble Geomatics Office

나. 기선해석방법 : 모든 session 동시처리

다. 고정방법 : 3곳의 상시관측소를 고정기점으로 처리

라. S/W 처리항목 설정값

표 4.1 기선해석을 위한 처리항목 설정값

<i>processing style</i>	<i>value</i>
elevation mask	15 degree
ephemeris	precise
solution type	iono free Fixed double difference
minimum baseline observation time	120 sec
minimum reference observation time	600 sec
tropospheric model	hopfield
ionospheric model	iono free L1 fixed
minimum OTF processing time	200 sec
epoch rate	15 sec

표 4.1과 같이 설정된 값으로 처리된 기선해석의 결과분석은 다음과 같은 항목에 대한 통계수치와 계산 성과를 바탕으로 기선해석에 대한 신뢰성을 분석하고 해석된 기선의 신뢰성을 평가하기 위해 기선해석 결과의 통계수치를 비교 분석하였다. 기선해석에 따른 통계수치평가 항목과 그에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 표준편차는 관측값의 변동 폭을 나타내는 것으로 일반적으로 수 mm 정도로 나타났다.

둘째, 자료 폐기율에 대한 평가로서 기선해석 S/W의 대부분은 자료 폐기율 또는 관측 자료와 자료 중에서 불량 자료가 얼마나 포함되었나를 나타내는 비율이다.

이들 불량 자료는 1중위상차 또는 이중위상차를 이용하는 처리단계에서 제거해 버린다. 불량 자료가 많다는 것은 관측이 양호하지 못했음을 의미하며 20% 이상의 자료 폐기율이 생길 경우에는 재 관측 또는 재 계산을 하여야 한다.

셋째, 간섭 위치관측 방법에서는 수신기 및 위성간의 반송파위상의 이중차분(double difference)을 계산에 이용한다. 그러나 이중 위상차에는 정수배의 파수에 대한 정보가 불명확하여, 기선해석의 계산에서는, 추정된 실수값을 가장 가까운 정수값으로 변환시키는데 이를 정수값 확정(integer fix)이라고 한다. 그림 4.2는 자료처리를 하기위한 초기화 영상화면이다.

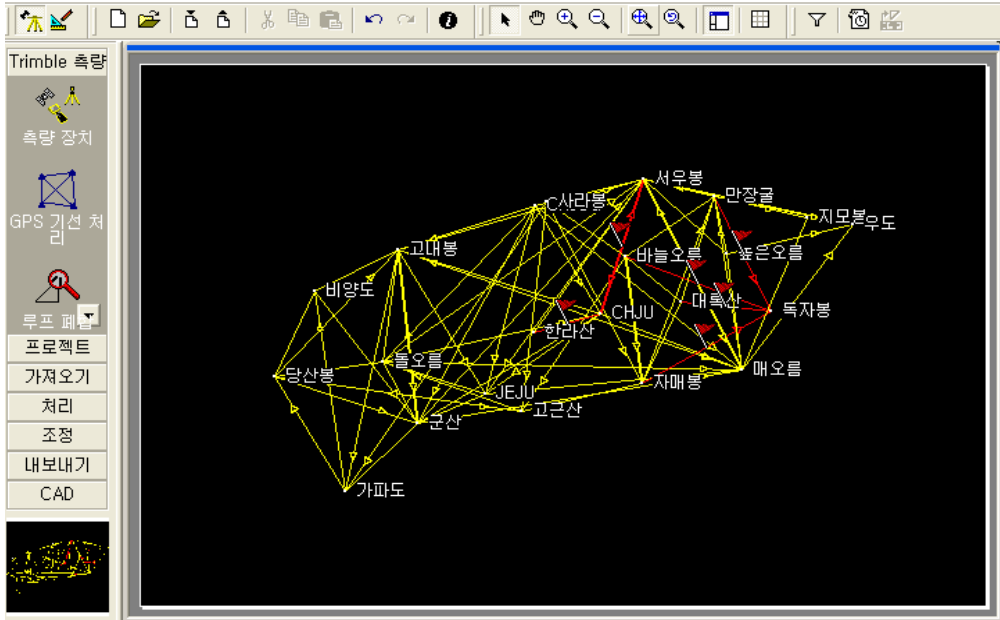


그림 4.2 자료처리 초기화 영상화면

정수과수결정 비율(bias ratio)은 불확정정수 결정의 신뢰도를 나타내는 지표이다. 이것은 불확정 정수값을 추정했을 때 실수값에 가장 가까운 정수값(제1 후보)에 의한 관측값의 분산과 다음으로 가까운 정수값(제2후보)에 의한 관측값의 분산을 계산하여, 제2후보에 의한 분산값을 제1후보에 의한 분산값으로 나눈 비율로 나타내고 있다. 거의 모든 수신기부속의 S/W는 정수과수 결정 비를 출력한다. 이 비율이 높을수록 정수값의 신뢰도는 높아지고, 1에 가까울수록 신뢰도가 낮아진다.

본 연구에서 처리된 기선해석에 대한 통계수치 값은 정수과수 결정 비, 기준 분산, 표준편차를 나타내는 ratio, reference variance, RMS들을 토대로 기선해석에 대한 신뢰성여부를 분석하였다.

일반적으로 비율값은 1.5이상이 되어야하고, reference variance가 큰 경우는 현장에 장애가 있는 것으로 볼 수 있고, 1과 같거나 1보다 적은 경우는 현장관측이 양호함을 나타낸다.

또한 RMS는 기선거리에 대한정밀도의 척도로 판단되는데 일반적으로 정도는 5mm±1ppm을 이용하게 되는데 이는 기선거리가 길어짐에 따라 부정오차 전과 형태로 증가하게 되고, GPS관측망의 폐합 여부를 판단하는데 기준이 된다.

표 4.2 기선해석 결과

<i>from</i>	<i>To</i>	<i>baseline length</i>	<i>solution type</i>	<i>ratio</i>	<i>ref.var</i>	<i>RMS</i>
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	11.0	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	0.510	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
서 우 봉	만 장 굴	9390.209m	Iono free fixed	4.1	2.353	0.016m
높은오름	우 도	16448.675m	Iono free fixed	6.6	1.375	0.013m
우 도	서 우 봉	27364.623m	Iono free fixed	18.3	1.524	0.014m
매 오 림	지 모 봉	21774.237m	Iono free fixed	2.3	5.995	0.026m
돌 오 림	당 산 봉	13956.673m	Iono free fixed	4.3	1.473	0.013m
CHE JU	고 내 봉	18536.182m	Iono free fixed	21.8	2.619	0.021m
CHE JU	군 산	32502.722m	Iono free fixed	6.7	1.658	0.018m

모든 기선은 안정적인 결과를 보였으며 표 4.2는 기선해석 결과에 대한 일부이다. 기선해석을 완료하고 ITRF성과 산출을 위해 3곳의 상시관측소를 고정으로 하는 고정 망조정을 수행하였다. 기선해석을 통해 결정된 각 기선에 대한 3차원 벡터에 대해 신뢰성을 부여하여 최적의 3차원 절대좌표를 결정하기 위해서는 먼저 우연오차의 추정과 제거를 통해 단일화를 구하고 관측값에 적용하는 보정값을 최소화 시켜 추정 정밀도를 분석하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 망의 내적일관성과 과오, 부적절하게 맞추어진 관측값을 찾아내고, 정확한 관측값 추정오차를 얻기 위해 고정 망조정을 수행하였고, 망조정에 대한 신뢰성 분석을 위해 카이제곱 검정을 통해 관측값이 얼마나 상호 부합하는지를 망 기준계수와 비교 분석 하였다. 망조정시 카이제곱에 대한 신뢰한계는 95%로 설정하였고, 1회 계산에서 카이검정을 통과하지 못한 경우는 추정오차에 스칼라 값을 적용하여 카이제곱 검정에 통과 할 때까지 반복연산을 수행하였다. 또한 안테나 높이오차와 구심에 대한 오차를 최소화기 위해 안테나높이 오차의 범위는 $\pm 0.001\text{m}$ 로, 구심오차에 대한 범위는 $\pm 0.001\text{m}$ 로 설정하여 처리하였다. 3곳의 상시관측소를 고정으로 하는 고정망 조정과 망폐합에 대한 종합통계 값이 수용가능한가를 분석한 후 각 관측점에 대한 ITRF 3차원 절대좌표를 결정하였다.

4. 2 관측 성과 처리

4. 2. 1 좌표변환

관측된 삼각점에 대해 산출된 ITRF좌표를 현행좌표로 변환하는 방법에는 여러 가지가 있지만 기본적인 알고리즘은 거의 동일하다. 본 연구에서는 7매개변수 변환을 통해 현행성과를 산출하였다. 7변수 변환은 일반적으로 7매개변수로 불리며 가장 일반적으로 이용하는 방법으로 WGS84 타원체와 Bessel

타원체를 최대한 일치시키기 위해 각축에 대한 원점 이동량($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)과 회전량(ω, ϕ, k) 및 타원체 크기에 따른 축척계수(ΔS)를 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 부합관계를 판단 할 수 있다.

본 연구에서의 관측시간대는 오전 10시에서 4시간 이상인 14시까지 관측하였으며 시간대별 DOP 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 현행성과를 산출한 다음 3차원 표준편차가 큰 삼각점을 제외시키는 방법으로 삼각점간의 부합관계를 분석하였다.

본 연구에서는 기존 제주지역의 1, 2등 삼각점이 24점이 있었으나 망실, 복구, 훼손 등으로 본 연구에서는 21점을 관측하였으며 기존삼각점 중 재설이 안 되었다고 판단되는 완전점 및 복구점 10점을 고정하여 10점부터 성과가 불량한 삼각점을 하나씩 배제 시키면서 4점까지 계산을 하였으며 표4.3은 제주지역의 삼각점관리 이력사항이다. 표 4.4 고정점 명칭 및 점수를 나타내고 있다.

표 4.3 삼각점관리 이력사항

번호	점 명	상 태	10점 고정점	비 고
1	군 산	1993 재설		상부 훼손
2	돌 오 름	1993 복구	◎	
3	서 우 봉	완 전	◎	
4	대 록 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 삼각점	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 름	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	◎	최초측량당시삼각점에 하부에 거치

표 4.4 고정점 명칭 및 점수

고정 점	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 4.5 고정점 변화에 따른 7매개변수

고정 점	Xo(m)	Yo(m)	Zo(m)	w(초)	ϕ (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

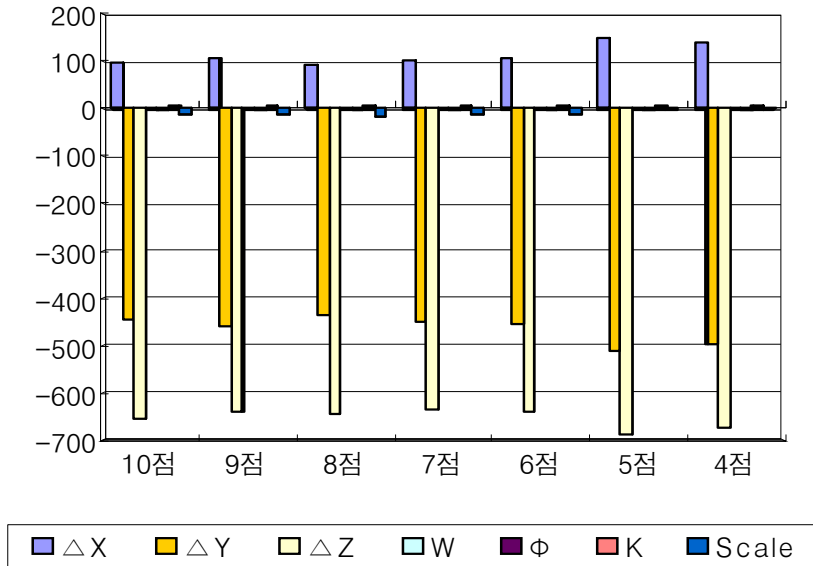


그림 4.3 7개변수 변화량

표 4.5는 ΔX , ΔY , ΔZ 는 평행 이동량(m)이며 w , ϕ , k 는 회전량(초)을 나타낸다. scale(PPM)은 측척계수를 표현하며 고정점 변화에 따른 7개변수 변화량의 값을 나타내고 있다.

그림 4.3은 고정점을 10점에서 4점까지의 고정점수에 따른 7개변수 변화에 따른 변화량을 표현하고 있다.

부록 1-1은 우리나라의 국토지리정보원 상시관측소 현황 및 성과를 나타낸 것이며 부록 1-2는 본 연구에서 관측일 및 안테나 높이, 관측시간, 소재지를 나타내고 있다.

본 연구에 주로 사용된 GPS Sokkia 수신기의 사양은 부록 1-3과 같고 본 연구에서는 새롭게 산출된 성과를 이용해 제주시내 일원에 대해 일필지 측량을 수행하고 지적도와 부합여부를 비교 판단하기 위해 4점의 보조점을 정지식 관측을 통해 성과를 산출하였다. 이 보조점들은 RTK-GPS 측량을 통해 현행성과를 산출하는데 있어 RTK-GPS를 위한 기준점으로 활용하였다.

부록 2-1에서 부록 2-7까지는 3차원 변환결과 표준편차와 변환결과표준편차를 나타내며 부록 2-7은 4점 고정(돌오름, 비양도, 당산봉, 서우봉)시 표준편차의 성분을 나타낸다.

위와 같은 방법으로 10점을 고정하여 4점까지 표준편차가 크게 발생하는 삼각점을 순차적으로 배제시켜 나가는 방법으로 변환계수에 대한 3차원 표준편차가 ±20cm내의 정도가 될 때까지 반복계산을 수행하였다.

그림 4.4는 고정점변화에 따른 오차변화량을 그림으로 나타낸 것이며 부록 2는 10점에서 시작하여 4점까지의 고정점 변화에 따른 오차변화량을 나타내며 오차가 큰 삼각점을 하나씩 배제시킨 점들은 변환계수 산출에 큰 영향을 주는 점은 변환에 이용된 삼각점 재설, 복구 시 양호하게 관리되지 못함을 의미하기 때문에 이러한 점들은 복구나 하거나 재설될 때 문제가 발생된 삼각점들 이라는 것을 추정 할 수 있다.

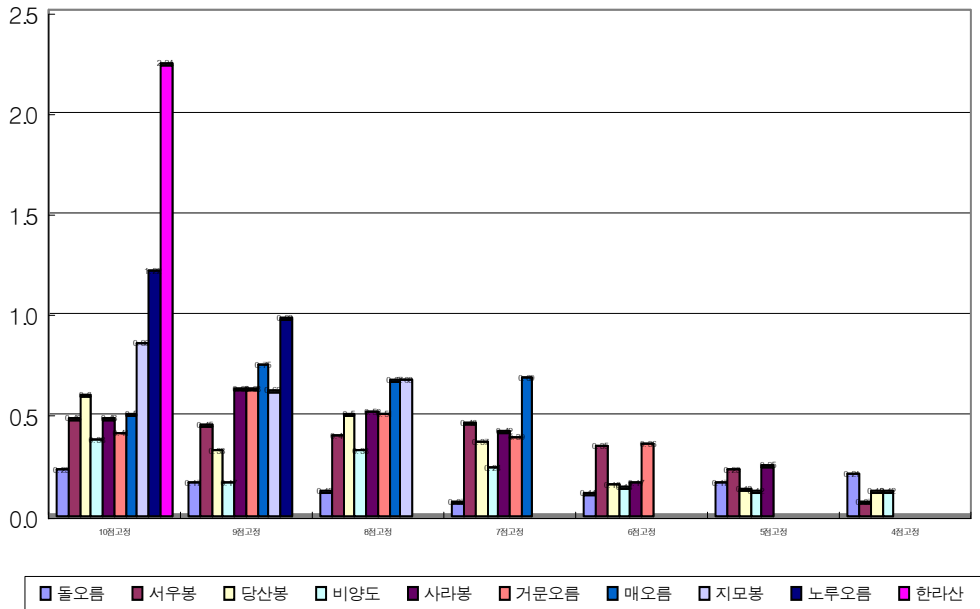


그림 4.4 고정점 변화에 따른 오차변화량

표 4.6 ΔX , ΔY , ΔZ 성분별 변환오차와 3차원 표준편차

고정점수	ΔX -성분(m)	ΔY -성분(m)	ΔZ -성분(m)	3차원표준편차
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 4.6은 ΔX , ΔY , ΔZ 성분별 변환오차와 3차원 표준편차가 10점 고정 시 0.614m이고 8점 고정 시 0.34m, 6점 고정 시 0.175m, 4점 고정 시 0.127m로 오차가 큰 점을 한점씩 배제시키면서 3차원 표준 편차가 $\pm 20\text{cm}$ 이 내에서 상호 부합되는 삼각점은 돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도 점으로 관측 21개 삼각점 중 4점이 양호한 고정점으로 분석되었다.

그림 4.5는 ΔX , ΔY , ΔZ 는 성분별 변환 오차와 3차원 표준편차도이고 부록 3은 기선해석 및 점검을 하였으며 폐합오차(1=0.043, 2=0.021, 3=0.008, 4=0.024, 5=0.045)는 평균 0.028m이고 허용오차범위(1=0.096, 2=0.136, 3=0.075, 4=0.090, 5=0.096)는 평균 $e=0.099\text{m}$ 로 양호한 성과이며 측량의 정도(1=0.60, 2=0.19, 3=0.16, 4=0.37, 5=0.64)는 평균 0.392 PPM으로 1 PPM(Part Per Million) 이내의 오차를 보이고 있다.

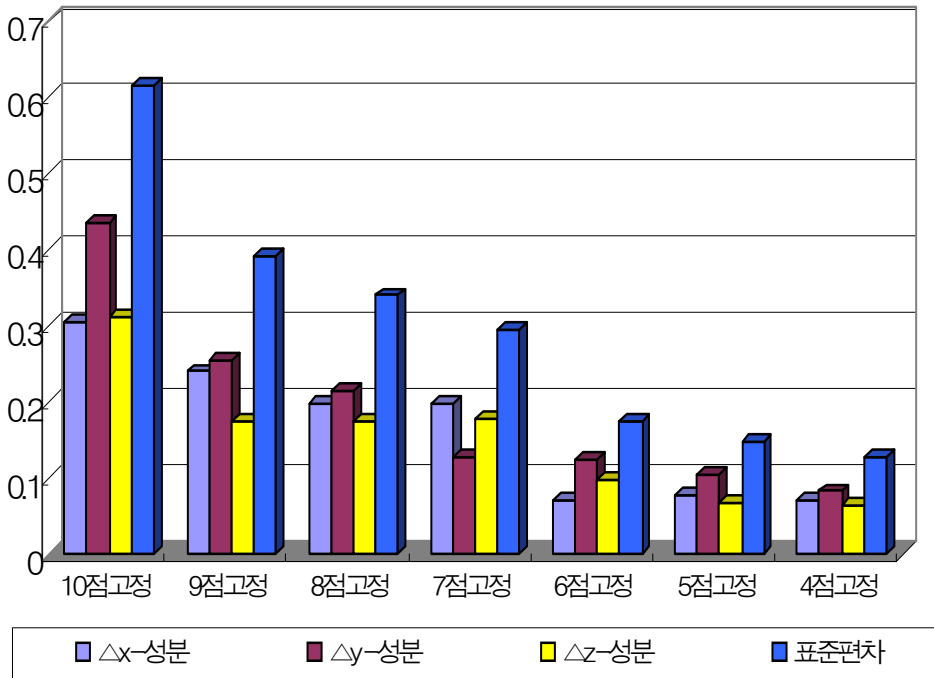
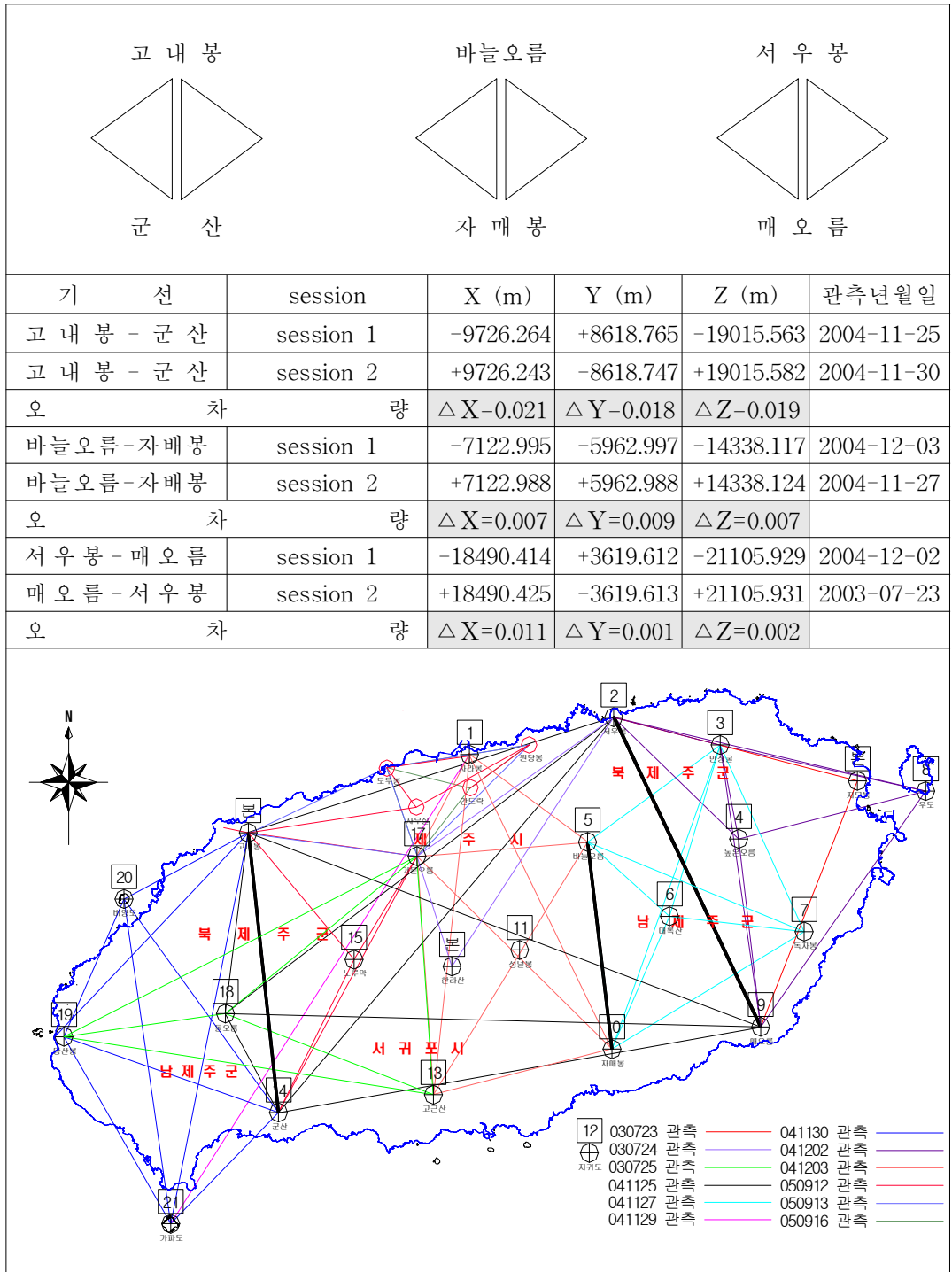


그림 4.5. ΔX , ΔY , ΔZ 성분별 변환오차와 3차원 표준편차

표 4.7은 session관측 교차 계산에서 오차량은 ΔX , ΔY , ΔZ 가 기선 바늘오름-차배봉, 서우봉-매오름은 GPS 작업규정상 15mm 이내의 오차한도 이내이며 고내봉과 군산 기선인 경우는 각 성분별 오차량은 ΔX , ΔY , ΔZ 가 15mm 오차 한계를 벗어남을 알 수가 있는데 이는 고내봉에 안테나 부지가 있어서 반송파를 수신하는데 삼각점 바로 옆 부지에 장애물이 있어 문제가 있었다고 판단된다.

표 4.7 session 관측 교차 계산



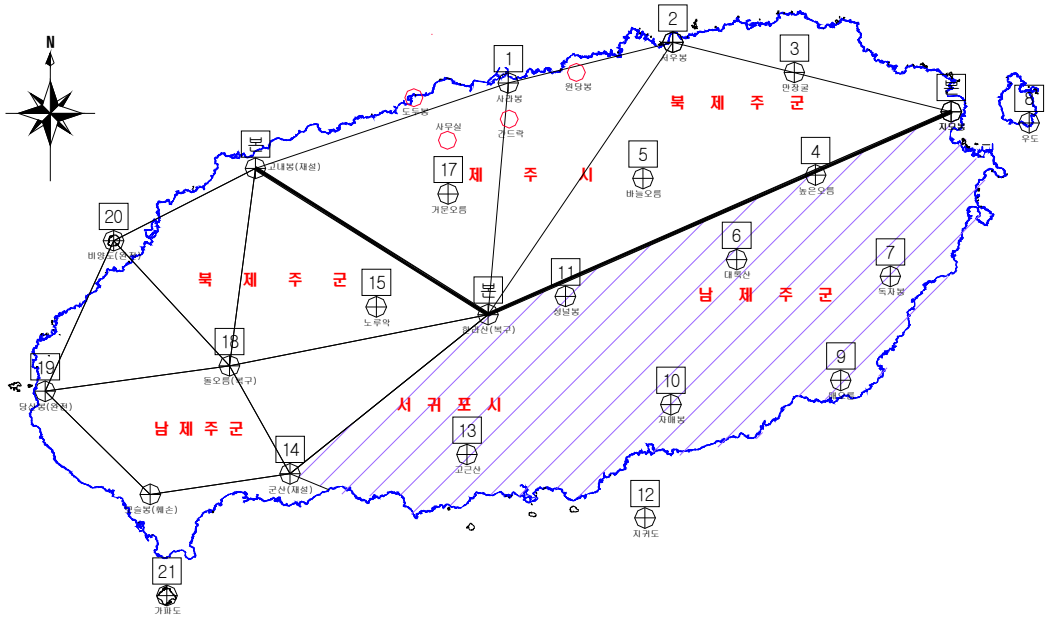


그림 4.6 유심 삼각망도(추정)

그림 4.6은 한라산과 고내봉을 기선으로 계산하여 비양도, 당산봉, 모슬봉, 군산과 삼각망도 중앙에 돌오름 삼각점으로 7점을 유심 삼각망을 형성하여 측량한 것으로 보며, 유심삼각 망도중 모슬봉은 1939년 재설되었으나 현재는 삼각점이 없고, 군산은 1993년 재설하였으나 표석상부가 훼손한 상태이고, 한라산 대삼각 본점은 1977년에 복구하였으나 오랜 기간 등산객등 사람 출입이 많아 지형·지질의 원인에 의한 지반침하 및 위치이동이 있었을 것으로 추정되었다.

고내봉 대삼각 본점은 1966년 이전에 상, 하부가 없어진 것으로 조사되었다. 돌오름 삼각점은 1993년에 복구되어 양호하며 비양도 삼각점은 섬인 관계로 사람 출입이 없어 비교적 최초측량당시 삼각점이 양호하게 보전되어 있었다. 당산봉 삼각점은 1939년 재설 복구한 성과를 고정점(stable point)으

로 사용하였다.

대삼각 본점인 한라산과 지미봉, 고내봉을 연결하여 삼입망으로 관측하여 사라봉과 서우봉 삼각점 성과를 관측한 것으로 추정되었고, 서우봉 성과는 양호하나 사라봉 성과는 서우봉 보다 조금 불부합함을 알 수 있었다. 그리고 한라산과 지미봉 남측에는 대삼각 본점과 연결된 2등 점은 없었으며 1등점 고내봉은 재설점이며 한라산과 지미봉은 1등 삼각점이라고 할 수 없을 정도의 이동량을 보이고 있다.

그림 4.6은 빗금친 부분에는 최초측량당시 2등 점으로 관측이 되었으나 관측성과를 보면 2등점에서 2등점으로 관측이 되었음을 의미하며 이는 2등 이하의 3등성과를 보이는 삼각점은 고근산, 매표, 대륙산, 높은오름, 독자봉, 우도봉, 가파도, 지귀도, 자배봉등 9개의 삼각점이며 이들 삼각점은 17개의 불부합 삼각점에 모두 해당되었다.

그림 4.7은 한라산과 고내봉을 기선으로 노루오름과 거문오름을 4변망으로 관측한 것으로 추정되며, 노루오름은 1993년 재설하여 성과검증이 불가능하였다. 거문오름인 경우 최초측량당시 삼각점의 상부가 훼손되었으며 하부는 송이(scoria)지반으로 상부훼손 자리에 빗물유입 등 요인으로 인하여 위치이동이 있는 것으로 추정되었다.

본 연구에서 관측한 삼각점 21개 중 17점은 상호점간 불부합하여 4개의 삼각점을 고정점으로 성과만을 이용하였다.

현재 제주도 1, 2등 삼각점 중에 상호 불부합점에 대한 변환결과는 표 4.8이며 기존좌표와 변환결과 좌표차 ΔX , ΔY 오차량과 거리의 오차(D)를 나타내었다.

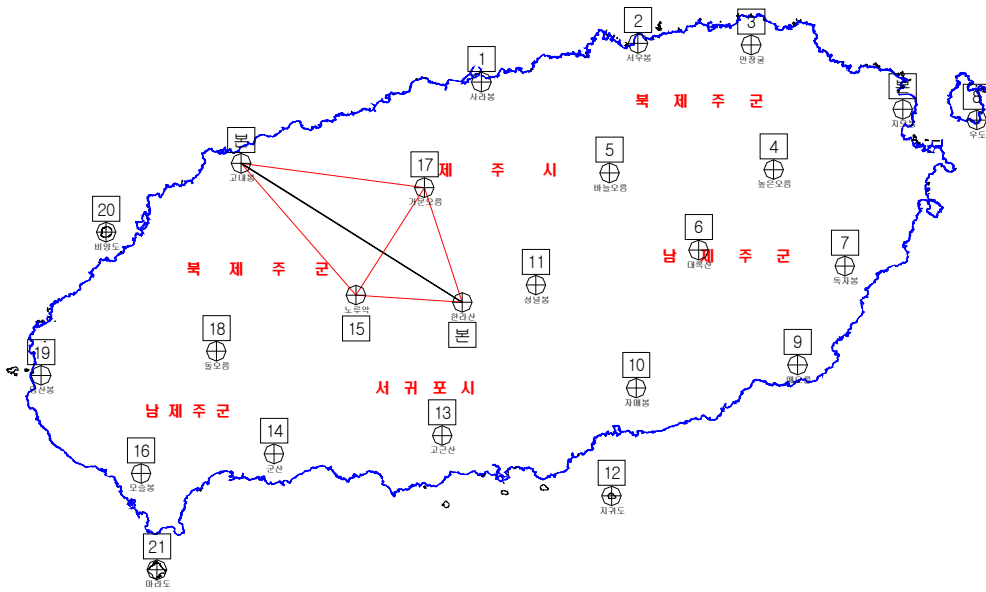


그림 4.7 사변형 관측망도(추정)

표 4.8 불부합점에 대한 변환결과

점 명	구 분	최초측량 좌표	변환 좌표	오차량	$D=(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}$
거문오름	X	44166.28	44165.92	$\Delta X = -0.36$	0.59
	Y	153131.13	153130.66	$\Delta Y = -0.47$	
노루오름	X	35706.00	35706.11	$\Delta X = 0.11$	0.99
	Y	147741.75	147742.73	$\Delta Y = 0.98$	
지미봉	X	50326.54	50326.40	$\Delta X = -0.14$	0.87
	Y	190858.28	190859.14	$\Delta Y = 0.86$	
매오름	X	30193.62	30192.44	$\Delta X = -1.18$	1.18
	Y	182569.41	182569.39	$\Delta Y = -0.02$	
한라산	X	35129.87	35127.95	$\Delta X = -1.92$	2.63
	Y	156128.90	156127.10	$\Delta Y = -1.80$	
사라봉	X	52477.97	52477.76	$\Delta X = -0.21$	0.47
	Y	157635.42	157634.99	$\Delta Y = -0.43$	
대록산	X	39245.58	39245.12	$\Delta X = -0.46$	0.52
	Y	174764.25	174764.00	$\Delta Y = -0.25$	
바늘오름	X	45325.11	45324.81	$\Delta X = -0.30$	0.46
	Y	167738.31	167737.96	$\Delta Y = -0.35$	
높은오름	X	45583.35	45583.05	$\Delta X = -0.30$	0.30
	Y	180686.51	180686.56	$\Delta Y = 0.05$	
만장굴	X	53269.53	53269.33	$\Delta X = -0.20$	0.20
	Y	179094.99	179095.02	$\Delta Y = 0.03$	
고근산	X	24639.56	24639.18	$\Delta X = -0.38$	0.96
	Y	154538.83	154537.95	$\Delta Y = -0.88$	
고내봉	X	46083.12	46079.36	$\Delta X = -3.76$	8.05
	Y	138683.42	138690.54	$\Delta Y = 7.12$	
우도	X	49491.61	49470.96	$\Delta X = -20.6$	37.47
	Y	196697.36	196666.09	$\Delta Y = -31.2$	
가파도	X	14072.32	14083.73	$\Delta X = 11.41$	11.41
	Y	132038.83	132039.15	$\Delta Y = 0.32$	
자배봉	X	28374.67	28374.03	$\Delta X = -0.64$	0.76
	Y	169836.43	169836.02	$\Delta Y = -0.41$	
독자봉	X	37987.74	37987.27	$\Delta X = -0.47$	0.48
	Y	186296.35	186296.48	$\Delta Y = 0.13$	
군산	X	23192.84	23192.97	$\Delta X = 0.13$	0.43
	Y	141273.09	141272.68	$\Delta Y = -0.41$	
도두봉	X		51411.02	RTK-GPS 보조점	
	Y		150526.63		
원당봉	X		53278.21	RTK-GPS-보조점	
	Y		162735.80		
간드락	X		49722.85	RTK-GPS-보조점	
	Y		157672.55		
신제주	X		48179.46	RTK-GPS-보조점	
	Y		153053.02		

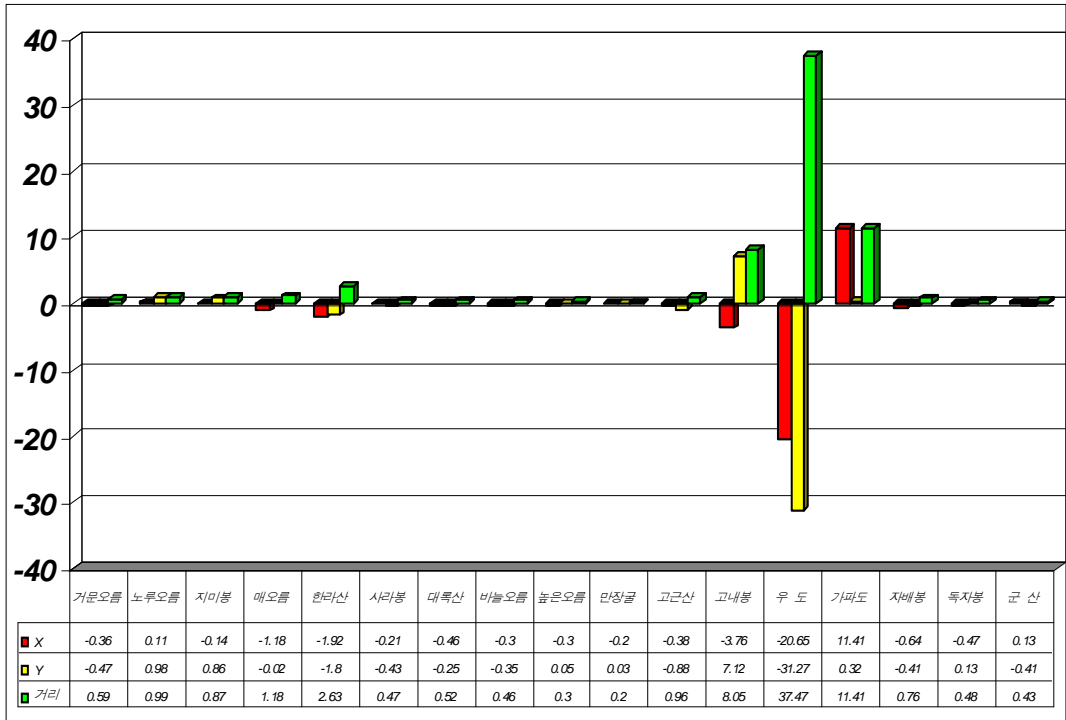


그림 4.8 불부합점에 대한 ΔX , ΔY , 거리 오차량

그림 4.8 불부합점에 대한 X 오차량, Y 오차량, 거리 오차량을 그래프를 통해서 나타낸 것이며 고내봉은 8.05m, 우도봉은 37.47m, 가파도는 11.41m 이동량이 보여 재설하였음을 알 수 있었다.

한라산인 경우 1977년에 복구를 하였으나 2.63m가 이동량을 보이고 나머지 점들은 재설 또는 복구를 하였는지 계산상으로는 알 수가 없었다.

가파도는 1939년 재설성과는 $X=14075.08m$, $Y=132040.33m$ 이었으나 Y축으로 20cm가 이동된 성과를 최근까지 사용하고 있었으며 Y축 0.53m를 Y축 0.33m로 잘못 판단하여 사용 하였으리라 보며 가파도 삼각점은 1993년 재설되어 성과검증이 불가능 하였다.

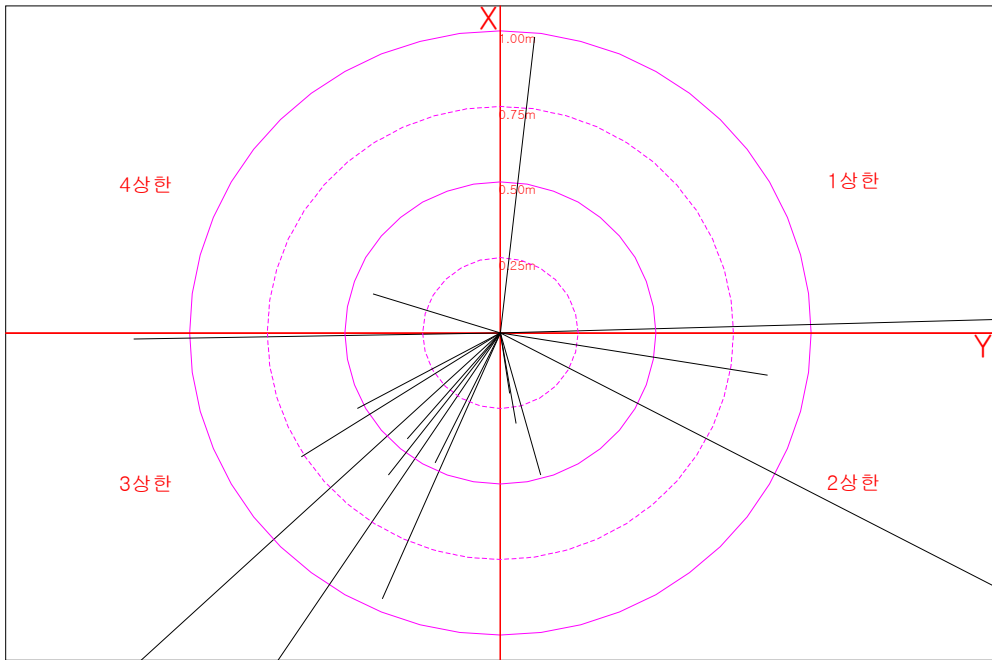


그림 4.9 불부합점에 대한 X, Y 상한별 이동량

그림 4.9는 원 및 상한을 이용하여 분석한 각 삼각점의 변동량과 위치이동 벡터량을 보면 재설 및 복구점 들이 있어서 정확히는 예측을 할 수 없으나 1상한 2점, 2상한 5점, 3상한 9점, 4상한 1점이 각각 이동량을 보이고 있으며 1993년에 확실한 재설점은 고내봉, 우도, 가파도 삼각점을 제외하여도 3상한 쪽으로 7점이 이동함을 알 수가 있으며 1977년 복구한 한라산과 매표소는 1m 이상 위치이동이 있었고 재설점 3점과 1m 이상 이동된 2점을 제외한 12개 삼각점의 이동량은 평균 0.59m가 이동됨을 알 수 있었다. 따라서 제주지역의 정밀한 측지망을 구성하기 위해서는 돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도의 양호한 4점을 고정기준으로 삼변망 동시 조정을 통해 새로운 성과로 제주지역의 삼각망 조정을 하여야 할 것으로 조사되었다.

4. 2. 2 삼변망 조정

GPS로 관측한 각 삼각점간의 기선거리를 베셀 타원체면상에 투영하여 기준면상의 거리로 환산하여 관측된 21점 중 4점을 고정하여 불부합점 17점을 3변망 조정을 수행하였다. 표 4.9는 최초측량당시 좌표이며 망조정을 위한 베셀 입력성과로 이용하였고 표 4.10은 WGS84 입력성과이다.

표 4.9 망조정을 위한 입력성과(Bessel)

번호	명 칭	X	Y
1	군 산	23192.84	141273.09
2	돌 오 름	31278.96	136728.95
3	서 우 봉	55529.59	169981.09
4	대 록 산	39245.58	174764.25
5	바 늘 오 름	45325.11	167738.31
6	당 산 봉	29380.62	122904.51
7	비 양 도	40661.06	128040.52
8	높 은 오 름	45583.35	180686.51
9	만 장 굴	53269.53	179094.99
10	사 라 봉	52477.97	157635.42
11	고 근 산	24639.56	154538.83
12	고 내 봉	46083.12	138683.42
13	한 라 산	35129.87	156128.9
14	지 미 봉	50326.54	190858.28
15	매 오 름	30193.62	182569.41
16	우 도	49491.61	196697.36
17	가 파 도	14072.32	132038.83
18	자 배 봉	28374.67	169836.43
19	독 자 봉	37987.74	186296.35
20	거 문 오 름	44166.28	153131.13
21	노 루 오 름	35706.00	147741.75

표 4.10 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	1093.67	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	1973.06	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
22	도 두 봉	33-30-28.7458	126-28-06.0593	87.16	61.71
23	원 당 봉	33-31-31.1330	126-35-58.8128	195.32	169.56
24	간 드 락	33-29-35.0586	126-32-43.2078	141.08	115.32
25	신 제 주	33-28-44.2709	126-29-44.5509	150.55	124.87

표 4.11 삼변망 조정결과 경·위도좌표

번호	FIX	점명	등록 경·위도좌표 (위도),(경도)	조정 경·위도좌표 (위도),(경도)	조정치 (초),(초)
3변 망조정 고정점					
1	2	돌오름(고정점)	33-19-21.0085	33-19-21.0085	0
			126-19-13.4718	126-19-13.4718	0
2	2	서우봉(고정점)	33-32-33.3930	33-32-33.3930	0
			126-40-36.3037	126-40-36.3037	0
5	2	당산봉(고정점)	33-18-16.1472	33-18-16.1472	0
			126-10-19.5431	126-10-19.5431	0
6	2	비양도(고정점)	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
22	0	도두봉	보 조 점	33-30-17.0993	
				126-28-02.9853	
23	0	원당봉	보 조 점	33-31-19.4911	
				126-35-55.7799	
24	0	간드락	보 조 점	33-29-23.4053	
				126-32-40.1571	
25	0	신제주	보 조 점	33-28-32.6129	
				126-29-41.4846	

표 4.11은 4점을 고정하여 삼변망 조정결과 경·위도 좌표이며 첫 번째 번호 열은 삼각점 관측점 25점을 나타내며 두 번째 열은 삼변망 조정 시 적용된 경중률(weight)을 정량적으로 나타내기 위한 숫자로 0이 의미하는 것은 미지점으로 두고 조정하는 것을 나타낸다.

세 번째 열은 관측점을 나타내고 네 번째 열은 조정전 경·위도 좌표를 나타낸다. 다섯 번째 열은 조정 후의 각 관측점에 대한 경·위도 좌표를 나타내며 마지막 여섯 번째 열은 삼변망 조정결과에 대한 추정오차를 나타낸다. 그림 4.10은 삼변망 조정결과 X, Y 조정치 오차량을 그래프로 나타낸 것이다.

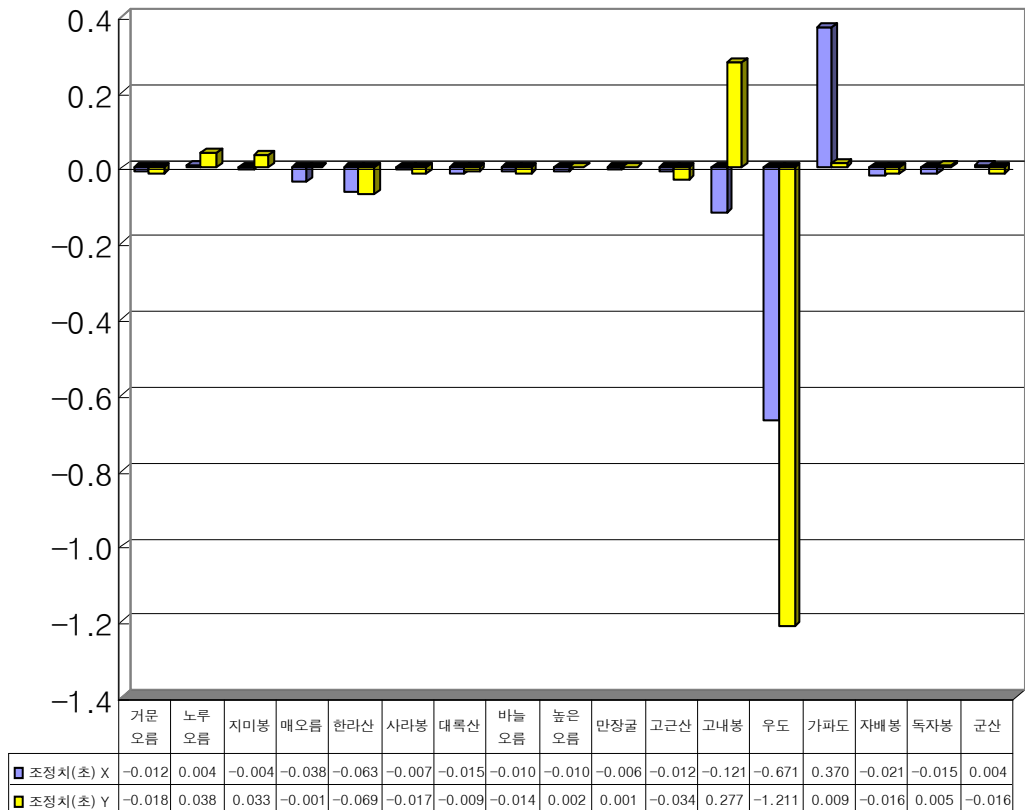


그림 4.10 삼변망 조정결과

4. 2. 3 현황분석

신제주 옥상 보조점에 기준국(reference point)을 설치하여 간드락, 도두봉 점을 이용하여 좌표변환계수를 결정하였고 X=1mm Y=14mm의 관측 오차는 절대관측과 실시간 이동식(Rover)관측의 경우 미소하게 차이가 났음을 알 수 있었으며, 본 연구에서 3차원(3D RMS)오차는 0.06m이내에서 RTK-GPS 측량을 수행하였다. 기준국에 기지점 설치 후 Rover를 이동하면서 관측시 좌표가 결정되어 입력되기 때문에 후처리방식과는 달리 현장에서 좌표입력 허용값에 접근되면 전자야장 키보드를 누르면 입력이 되고 위성이 기하학적 배치상태의 불량, 무선전파 송신상태가 미약한 경우 등 강제 입력시키기 전에는 수신기의 임의로 자료를 받아 처리하지 않기 때문에 성과에 대한 산출율은 100%이며 RTK-GPS 측량은 현장에서 자료수신 여부를 판정하기 때문에 자료산출은 큰 의미가 없다(대한지적공사, 1998).

표 4.12는 제주시내 RTK-GPS 측량을 위한 보조점의 좌표를 나타내며 오차는 GPS에 의한 기준점 작업규정 오차한계 이내여서 RTK-GPS 측량을 실시하였다.

표 4.12 RTK를 위한 제주시내 보조점의 위치

점 명	X	Y	비 고
도 두 봉	51411.02	150526.63	
원 당 봉	53278.21	162735.80	
간 드 락	49722.85	157672.55	
신 제 주	48179.46	153053.02	

Total Station (TS관측)으로 관측 시 하루 500-700점까지 4명당 1조가 관측이 가능하며 RTK-GPS로 측량시는 기준국과 위성상태가 양호한 경우에는 Rover 1인당 1000점 이상 관측이 가능하였다(서철수, 2000).

TS 관측보다 4배 이상 측량성과 산출이 신속함을 알 수 있었으며 RTK-GPS는 한번 기계를 좌표변환을 하였다가 기준국 및 이동국을 다시 설치 시 TS 측량처럼 후시를 재차 관측하는 번거로움이 없이 야장에 저장된 후시점만 있으면 측량이 가능하였다.

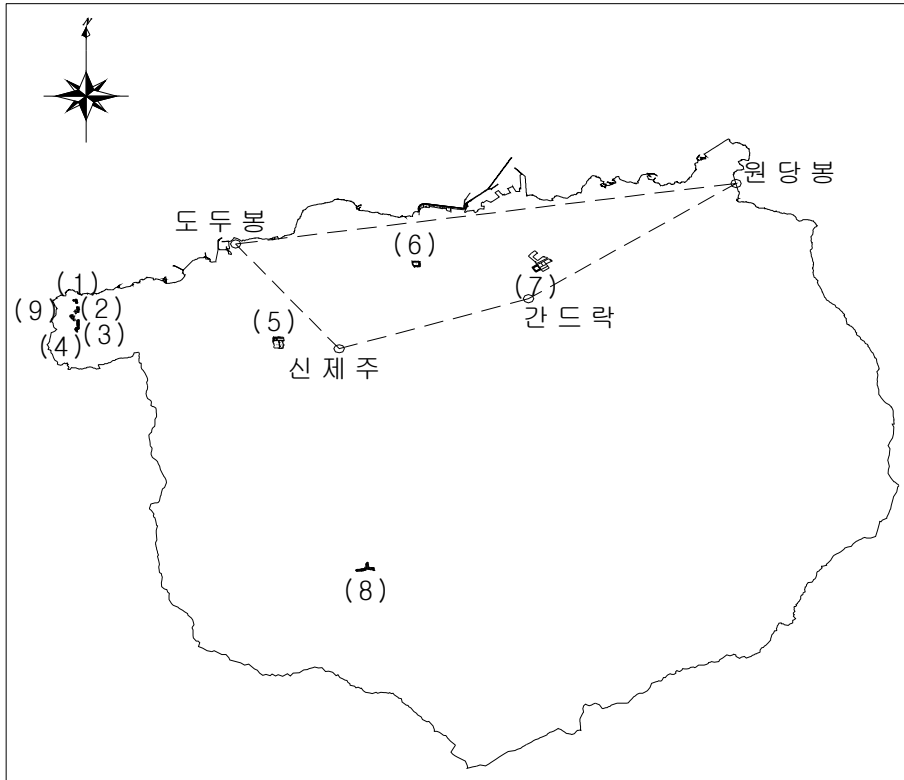


그림 4.11 제주시내 보조점 및 RTK-GPS 측량위치도

그림 4.11은 제주시내 보조점(도두봉, 신제주, 간드락, 원당봉)과 RTK-GPS 측량위치도이며 부록 4는 제주시내의 실지측량 결과와 오차를 나타내고 있으며, RTK-GPS 측량은 1~9번까지 9개의 장소를 선정하여 위성 배치가 양호한 상태에서 측량성적이고, 표 4.13은 평균 이동거리와 이동된 방향과 지역을 나타내고 있다.

부록 5는 제주시내 RTK-GPS 좌표 계산부이며 부록 6은 제주지역 삼각점 성과대비 좌표이다. 부록 7은 제주지역 삼각점 삼변망 조정결과를 나타내고 있다.

표 4.13 RTK-GPS 측량위치 이동량

구분	평균위치 이동량(m)	지적선 기준 - 현황선	지역
1	0.30	남 서 측	구획정리지역
2	0.33	남 서 측	구획정리지역
3	0.37	남 서 측	구획정리지역
4	0.37	남 서 측	구획정리지역
5	0.23	남 서 측	구획정리지역
6	0.94	남 측	구획정리지역
7	0.50	남 동 측	구획정리지역
8	2.67	남 동 측	1:1,200지역
9	1.86	판단불능	1:1,200지역

RTK-GPS 측량을 하여 비교 분석한 결과 구획정리지역은 지역에 따라 이동 방향이 거의 동일하게 나타났고 1:1,200 지역에서는 많은 오차량을 보이고 있으며 이는 최초측량당시 삼각점 성과가 불부합함을 나타낸다.

표 4.14에 의하면 본 연구와 전국지적기준망 구축된 자료와 차이량이 미소하여 본 연구에서 관측성과는 돌오름(굴18)인 경우 최대 21mm, 오차를 보이고 있어 관측성과는 양호하게 나타났으며 그림 4.12는 본 연구와 전국지적기준망 구축과의 X, Y 이동량 및 거리차이 량을 나타낸 것이며 X 이동량보다 Y 이동량이 많음을 알 수가 있다.

표 4.14 본 연구와 전국지적기준망 구축자료비교

명칭	등급	원점	본 연구 성 과	전국 지적 기준망	차이 량	
					(초)	(m)
한라산	본점	중부	33-21-41.1286	33-21-41.12906	0.0005	0.015
			126-31-45.9073	126-31-45.90675	0.0005	0.015
지미봉	본점	중부	33-29-57.5296	33-29-57.52997	0.0004	0.012
			126-54-08.7804	126-54-08.78010	0.0003	0.009
굴2 (서우봉)	보점	중부	33-32-45.0282	33-32-45.02866	0.0005	0.015
			126-40-39.3074	126-40-39.30699	0.0004	0.012
굴9 (매오름)	보점	중부	33-19-03.6498	33-19-03.65010	0.0003	0.009
			126-48-49.0333	126-48-49.03309	0.0002	0.006
굴17 (거문오름)	보점	중부	33-26-34.0172	33-26-34.01771	0.0005	0.015
			126-29-48.3131	126-29-48.31277	0.0003	0.009
굴18 (돌오름)	보점	동부	33-19-32.7238	33-19-32.72445	0.0007	0.021
			126-19-16.5874	126-19-16.58753	0.0001	0.003
굴19 (당산봉)	보점	중부	33-18-27.8753	33-18-27.87509	0.0002	0.006
			126-10-22.7169	126-10-22.71648	0.0004	0.012
굴23 (고근산)	보점	중부	33-16-00.4527	33-16-00.45326	0.0006	0.018
			126-30-46.3403	126-30-46.34016	0.0001	0.003

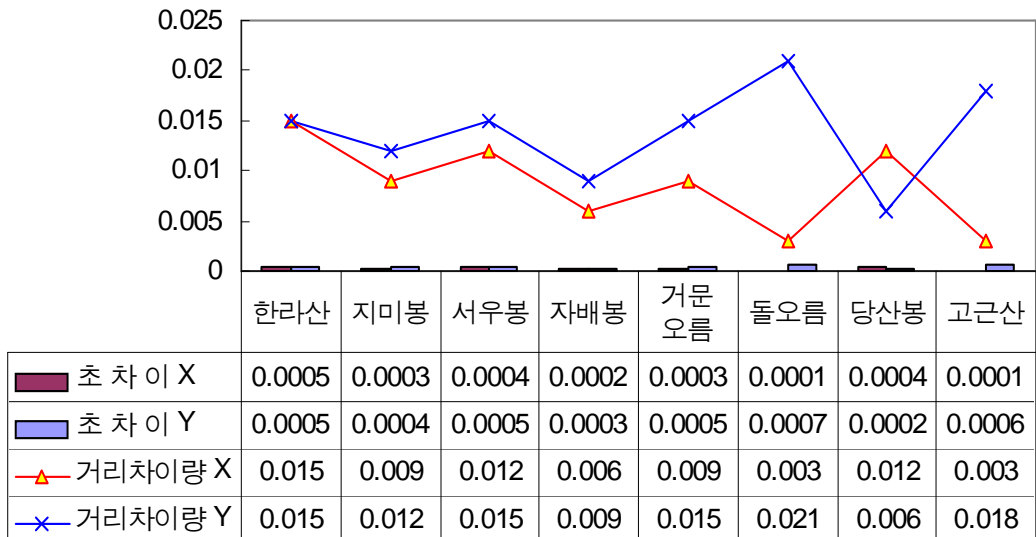


그림 4.12 본 연구와 전국지적기준망 구축과의 오차량

제 5 장 결 론

본 연구는 제주지역의 분포한 많은 삼각점들 간의 측량 성과가 측량 기 및 측량에 관계되는 기간에 따라 측량 성과가 다르므로 정확한 값을 얻는데 어려움이 있어 삼각점은 GPS측량 관측 및 계산을 통해 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 삼각점에 대해서 최초측량당시 성과를 기준으로 관측망을 재구성하여 정밀관측을 실시하고 삼각점들의 성과를 단계적인 분석을 통해서 부합 및 불부합되는 점과 동일한 성과이지만 이중성과를 갖는 점 및 오차한계를 초과하여 기준점으로 부족한 점들도 다수 발견 할 수 있었다.
2. 3차원 표준편차가 10점 고정 시 0.614m, 8점 고정 시 0.34m, 6점 고정 시 0.175m, 4점 고정 시 0.127m로 오차가 큰 점을 한점씩 배제하면서 삼차원 표준편차가 $\pm 20\text{cm}$ 이내에서 상호 부합되는 삼각점은 돌오름, 서우봉, 당산봉, 비양도 점으로 관측 21개 삼각점 중 4점을 고정점으로 분석되었으며 고내봉, 지미봉, 가파도는 재설이 되었으며 대삼각 본점인 한라산은 1977년 복구가 되었으나 이동량이 많음을 알 수 있었다.
3. 삼각점들이 활용을 위해서 현행성과중 가장 양호하게 추출된 4점(돌오름, 비양도, 당산봉, 서우봉)을 고정점으로 새로운 측지망을 재구성하여 삼각점으로 이용하는 것이 바람직함을 알 수 있었고 향후 세계좌계로 전환되더라도 본 연구에서 결정한 ITRF좌표는 그대로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 새로운 성과를 기준으로 RTK-GPS측량을 통해 수치도면을 제작하여 현재 이용되고 있는 지적도와 중첩하여 부합관계를 분석한 결과 중·횡선에서 큰 편차를 보였으며 또한 변위되는 방향도 불규칙하게 이동되는 것으로 나타났다. 이는 기준점의 모체인 삼각점간의 불부합이 가장 큰 문제인 것으로 판단되기 때문에 본 연구에서 제안한 새로운 성과를 이용한다면 이러한 문제는 해결될 수 있을 것으로 기대된다.

또한 일부 지역은 이동 방향이 일정한 방향으로 밀리는 것으로 나타났다지만 이는 일부 지역에 국한되는 것으로 전체적으로는 변동량이 클 것으로 판단된다.

『참 고 문 헌』

1. 강상구(2003), “GPS에 의한 정밀 측지좌표 결정을 위한 지역 변환계수 산정”, 조선대학교 대학원, 박사학위 논문.
2. 강상구(2005), 차득기, 이용문, 이창언, “통합 측정방식에 의한 독도의 지적측량 성과도”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
3. 강준목(2000), 송승호, 이은수, 김현철, “SA가 중단 전후의 GPS C/A코드를 이용한 절대측위 정확도 비교”, 대한토목학회 논문집, 제4권, pp. 613~616.
4. 광재하(1995), 윤홍식, 최재화, “GPS 측량에 의한 안정된 기준점의 이용에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제20권, 제2-D호, pp. 181~189.
5. 권대현(1995), 윤홍식, 최재화, “7매개변수 좌표변환에 의한 우리나라 측지좌표계와 WGS84 좌표변환”, 한국측지학회지, 제13권, 제2호, pp. 117~124.
6. 김용일, 김동현, 박민호(1995), “GPS 상대측위에서 기준점 오차로 인한 기선오차 예측모형의 개발”, 대한토목학회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 471~481.
7. 국토지리정보원(2003), “측량 및 지형공간정보 백서”,
8. 대한지적공사(1998), “GPS 전국동시관측 및 RTK 측량 실험사업”,
9. 대한지적공사(2003), “전국지적망구축”,
10. 대한지적공사(2005), “지적”, 제35권, 제1호, pp. 5~31.
11. 박정현(2005), 박준규, 이용욱, 강준목, “단기선 Stop & Go GPS 이동측량 프로그램 개발에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
12. 서철수(2000), “GPS와 TS의 병용에 의한 지적측량기법연구”, 한국지적학회지, 제16권, 제1호, pp. 69~81.
13. 송동섭(2005), 윤홍식, “지각판 모델별 남한 지역의 지각 변동량 비교

- 연구”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
14. 오윤석(2005) 외 5인, “유비쿼터스 시대의 위치 정보제공을 위한
인텔리гент 기준점 설계”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
 15. 오창수(2001), “응용측량 및 지형공간정보시스템”, 광주대학교 출판부, pp.
301-328.
 16. 원영희(1975), “응용천문학”, 보문출판사, pp. 754-814.
 17. 유복모(2002), “디지털 측량 공학”, 박영사, pp. 242-260.
 18. 이영진(1998), “3차원 기선 벡터망 조정기법에 의한 국가 기본 점의
성과산정 (KTRF94)”, 한국측지학회지, 제 16권, 제1호, pp. 141-150.
 19. 이용창(1997), “정밀절대측위 기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정”,
한국측지학회지, 제17권, 제2호, pp. 145-152.
 20. 이진호(2001), “삼각측량작업결료보고”, 도서출판 우물, pp. 120-130.
 21. 정래성(2005), 강상구, 김준식, 양철수, “지적측량분야에서의 전국
GPS동시관측 및 활용방안 연구”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
 22. 정영동(2001), “GPS-RTK를 이용한 수치지적도의 정확도 분석에 관한
연구”, 한국지형공간정보학회지, 제9권, 제2호, pp. 47-54.
 23. 정영동(2002), “최적 기준점 선정을 위한 GPS와 EDM의 수치계산 조합 분
석”, 한국지형공간정보학회지, 제10권, 제2호, pp. 57-66.
 24. 정영동(2005), 양영보, “제주지역의 국가기준점 정확도분석”, 한국측량학회,
제23권, 제3호, pp. 273-282.
 25. 정용식(1997), “GPS에 의한 측지학적 절대위치 결정에 관한 연구”, 충남대학
교 대학원, 박사학위논문.
 26. 최석근(2005), 박경식, 정성혁, 이재기, “GPS 현장 Calibration에 의한 해상구
조물의 위치 결정 정확도 향상”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
 27. 최윤수(2004), 허민, 서용철, “신 GPS 측량”, 대한측량협회, pp 35-73.
 28. 최한영(2004), “지적 정리의 효율성 제고를 위한 지적측량 기법에 관한 연

- 구”, 조선대학교 대학원, 박사학위 논문.
29. 행정자치부(2005), “GPS를 이용한 지적측량 기술 개발 등에 관한 연구”, 제1과제.
 30. Collins, J. and Leick, A.(1985), “Analysis of Macro meter networks with emphasis on the Montgomery (PA) County Survey”, Proceeding of the First International Symposium on precise Positioning with the Global Positioning System, Vol. II, pp. 667-694.
 31. Clynych. J.R., and Coco, D.S.(1986), “Error characteristics of high quality geodetic GPS measurements: clocks, orbits, and propagation effect”, Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin, Texas, April 28 - May 2, Vol. I , pp. 539-556.
 32. Dennis Bredthauer and Steven Malys(1994), “The estimation of Geodetic Point Positions from Dual Frequency GPS data”, Defense Mapping Agency, January.
 33. DMA Technical Manual T-3-52320(November 1976), “Satellite Records Manual Doppler Geodetic Point Positioning Data Documentation and Applications”, DMA, Washington, D.C.
 34. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J.(1994), “Global Positioning System Theory and Practice”, 3rd Edition, Springer-Verlag Wien New York.
 35. Kanazawa(1989), “Transformation Parameters for WGS84, SLR Coordinates and Tokyo Datum”, Proceedings of the Japanese symposium on GPS, pp. 122-126.
 36. Lapine, L. A., “ Analytical Calibration of the Airborne Photogrammetric System Using a Priori Knowledge of the Exposure Station Obtained from Kinematic Global Positioning System Techniques”, Report No. 441, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University. 1990.

37. Loomis, P. V. W.(1989), "A Kinematic GPS Double-Differencing Algorithm", Proceedings of the 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Vol. II, pp. 611-620.
38. Lucas, J. R. and Mader, G. L., "Recent advances in Kinematic GPS Photogrammetry", ASCE Journal of Surveying Engineering, Vol. 115, NO.1, 1989, pp. 78-92.
39. Malys, S., Bredthauer, D., Hermann, B., and Clynch, J.(March 1992), "Geodetic Point Positioning with GPS", A Comparative Evaluation of Methods and Results, Proceedings of Sixth International Symposium on Satellite Positioning, Columbus, Ohio.
40. Malys, S., Bredthauer, D., and Dewese, S.(September 1993), "Error Budget for the DMA GPS Point Positioning Algorithm through Monte Carlo Simulation", Proceedings of the ION GPS-93, Salt Lake City, UT.
41. Ray, J. K., Cannon, M. E., and Fenton, P., "GPS code and carrier multipath mitigation using a multipantenna system", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 37, No. 1, pp. 183~195, 2001.
42. Remondi, B. W.(1985), "Performing Centimeter Accuracy Relative Surveys in Seconds Using GPS Carrier Phase", Proceedings of First International Symposium of Precise Positioning with GPS, Rockville, Maryland, April, pp. 789-797.
43. Seeber, G.(1993), Satellite Geodesy, 1st Edition, Berlin · New York.
44. Seeber, G. and Wubbena, G.(1989), "Kinematic Positioning with Carrier Phase and "On the way" Ambiguity Solution", Proceeding of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with Global Positioning System, Vol, II, pp. 600-609.
45. Shumpter, C. W., and Asher, G. W.(1994), "Real-Time Kinematic GPS for Cadastral Surveys", ASPRS/ACSM annual Convention and Exposition Technical Repers, Vol. II, pp. 147-155.

46. Trimble.(1995), "DAT2RIN.TXT", Text file of GPSurvey software.
47. Wolf, P. R.(1980), Adjustment Computations, 2nd Edition, P.B.L Publishing Co.

부 록 1. 제주지역 관측자료

부록 1-1. 국토지리정보원 상시관측소 현황 및 성과

관측소명	ITRF 2000	GRS80 타원체			배셀 타원체	설치년도	수신기종류	위치
		위도,경도,타원체고	평면직각좌표(m)	투영원점				
SUWN (수원)	X=-3062023.544m Y= 4055449.045m Z= 3841819.210m	위도 37-16-31.8529 경도 127-03-15.2638 타원체고 83.816m	X= -80408.983 Y= 4810.512	중부	B= 37-16-21.6559 L=127-03-22.8290	1995	Trimble 4000-ssi	지리원내 구
JUNJ (전주)	X=-3124886.932m Y= 4126580.536m Z= 3714170.158m	위도 35-50-36.4274 경도 127-08-06.4488 타원체고 77.158m	X=-239317.097 Y= 12207.375	중부	B= 35-50-25.6447 L=127-08-14.0052	1998	Trimble 4000-ssi	전북 대학교
KWNJ (광주)	X=-3134404.492m Y= 4173081.828m Z= 3654100.968m	위도 35-10-42.1514 경도 126-54-36.8516 타원체고 71.616m	X=-313112.068 Y= -8176.520	중부	B= 35-10-31.0981 L=126-54-44.3063	1998	Trimble 4000-ssi	전남 대학교
TEGN (대구)	X=-3241051.556m Y= 4030771.756m Z= 3719838.486m	위도 35-54-22.7033 경도 128-48-07.0818 타원체고 106.386m	X=-232333.290 Y= -17876.479	동부	B= 35-54-11.9022 L=128-48-15.1558	1998	Trimble 4000-ssi	경북 대학교
KANR (강릉)	X=-3167833.726m Y= 3930397.144m Z= 3885411.916m	위도 37-46-15.3390 경도 128-52-05.6200 타원체고 57.053m	X= -25417.566 Y= -11609.790	동부	B= 37-46-05.3002 L=128-52-13.7997	1998	Trimble 4000-ssi	강릉 대학교
CHJU (제주)	X=-3168622.322m Y= 4277489.600m Z= 3501650.056m	위도 33-30-50.1362 경도 126-31-47.3512 타원체고 50.349m	X= -497651.889 Y= -43683.537	중부	B= 33-30-38.4173 L=126-31-54.6185	1998	Trimble 4000-ssi	제주 과학기술 상대
SOUL (서울)	X=-3049402.747m Y= 4035000.351m Z= 3873010.167m	위도 37-37-46.8973 경도 127-04-47.0067 타원체고 59.109m	X= -41098.410 Y= 7037.426	중부	B= 37-37-36.8449 L=127-04-54.6015	1999	Trimble 4000-ssi	서울산업 대학교
WNJU (원주)	X=-3122341.161m Y= 4004030.665m Z= 3847323.755m	위도 37-20-13.9453 경도 127-56-49.5177 타원체고 180.215m	X= -73142.803 Y= 83929.192	중부	B= 37-20-03.7477 L=127-56-57.3760	1999	Trimble 4000-ssi	원주 과학기술 상대
JINJ (진주)	X=-3217002.759m Y= 4110225.654m Z= 3653650.430m	위도 35-10-23.1136 경도 128-02-58.8269 타원체고 122.013m	X=-313288.862 Y= -86571.776	동부	B= 35-10-12.0242 L=128-03-06.6384	1999	Trimble 4000-ssi	상주 산업 소
WULJ (울진)	X=-3238396.150m Y= 3940665.402m Z= 3816730.567m	위도 36-59-31.1150 경도 129-24-46.7825 타원체고 80.742m	X=-111797.757 Y= 36765.340	동부	B= 36-59-20.7234 L=129-24-55.1066	1999	Trimble 4000-ssi	울진 과학기술 상대
SEOS (서산)	X=-3042060.369m Y= 4111978.757m Z= 3797578.729m	위도 36-46-35.0729 경도 126-29-39.1286 타원체고 52.268m	X=-135680.839 Y= -45153.541	중부	B= 36-46-24.6684 L=126-29-46.4981	1999	Trimble 4000-ssi	서산 과학기술 상대
TABK (태백)	X=-3201453.665m Y= 3956909.945m Z= 3832097.202m	위도 37-09-39.1277 경도 128-58-32.1694 타원체고 763.237m	X= -93133.682 Y= -2167.069	동부	B= 37-09-28.8277 L=128-58-40.3524	2000	Trimble 4000-ssi	강원 관광 대
SNJU (상주)	X=-3175473.079m Y= 4043362.930m Z= 3762213.594m	위도 36-22-44.9921 경도 128-08-40.1171 타원체고 111.587m	X=-179542.349 Y= -76767.026	동부	B= 36-22-34.4018 L=128-08-47.9994	2000	Trimble 4000-ssi	상주 과학기술 대
CNJU (청주)	X=-3117076.205m Y= 4067949.797m Z= 3784300.502m	위도 36-37-36.8207 경도 127-27-40.4163 타원체고 93.503m	X=-152293.031 Y= 41254.415	중부	B= 36-37-26.3463 L=127-27-48.0886	2000	Trimble 4000-ssi	충북 대학교

부록 1-2. 관측일 및 안테나 높이

점명	점번호	등급	<i>rinex</i> 파일명	<i>receiver</i>	<i>ant</i> 높이	관측일자	소재지	비고
매 봉	굴9	2등	C2092042	600Slant	1.243	2003-07-23	남제주군	
지미봉	굴11	2등	D0112042	600Slant	1.199	2003-07-23	북제주군	
서우봉	굴2	2등	D2022042	600Slant	1.440	2003-07-23	남제주군	
한라산	굴11	2등	B0122052	600Slant	1.041	2003-07-24	서귀포시	
거문오름	굴17	2등	A2172052	600Slant	1.547	2003-07-24	제주시	
서우봉	굴2	2등	D2022052	600Slant	1.417	2003-07-24	북제주군	
거문오름	굴17	2등	A2172062	600Slant	1.516	2003-07-25	제주시	
당산봉	굴19	2등	D2192062	600Slant	1.294	2003-07-25	북제주군	
고근산	굴23	3등	B2232062	600Slant	1.475	2003-07-25	서귀포시	
돌오름	굴18	2등	C2182062	600Slant	1.308	2003-07-25	남제주군	
서우봉	굴2	2등	00063300	RadianS -slant	1.479	2004-11-25	북제주군	
매오름	굴9	2등	00313300	600Slant	1.594	2004-11-25	북제주군	
군산	굴14	2등	00433300	600Slant	1.574	2004-11-25	남제주군	
돌오름	굴18	2등	00113300	600Slant	1.573	2004-11-25	북제주군	
고내봉	본점	1등	00333300	600Slant	1.458	2004-11-25	북제주군	
만장굴	굴28	4등	00063320	RadianS -slant	1.630	2004-11-27	북제주군	
독자봉	굴7	2등	00313320	600Slant	1.270	2004-11-27	남제주군	
대록산	굴6	2등	00433320	600Slant	1.316	2004-11-27	남제주군	
자배봉	굴10	2등	00113320	600Slant	1.403	2004-11-27	남제주군	
바늘오름	굴5	2등	00333320	600Slant	1.630	2004-11-27	북제주군	
사라봉	굴1	2등	00063340	RadianS -slant	1.582	2004-11-29	제주시	
가파도	굴21	2등	00433340	600Slant	1.345	2004-11-29	남제주군	
군산	굴14	2등	00063350	RadianS -slant	1.640	2004-11-30	남제주군	
당산봉	굴19	2등	00313350	600Slant	1.472	2004-11-30	북제주군	
가파도	굴21	2등	00433350	600Slant	1.462	2004-11-30	북제주군	
비양도	굴20	2등	00113350	600Slant	1.242	2004-11-30	북제주군	
고내봉	본점	2등	00333350	600Slant	1.451	2004-11-30	북제주군	

점명	점번호	등급	Rinex 파일명	Receiver	Ant높이	관측일자	소재지	비고
높은오름	굴4	2등	00433370	600Slant	1.639	2004-12-02	북제주군	
만장굴	굴28	4등	00063370	RadianS -slant	1.595	2004-12-02	북제주군	
매오름	굴9	2등	00313370	600Slant	1.609	2004-12-02	남제주군	
서우봉	굴2	2등	00333370	600Slant	1.482	2004-12-02	북제주군	
우도	굴8	2등	00113370	600Slant	1.126	2004-12-02	북제주군	
거문오름	굴17	2등	00433380	600Slant	1.456	2004-12-03	제주시	
고근산	굴13	2등	00313380	600Slant	1.648	2004-12-03	서귀포시	
바늘오름	굴5	2등	00333380	600Slant	1.605	2004-12-03	북제주군	
사라봉	굴1	2등	00063380	RadianS -slant	1.557	2004-12-03	제주시	
자배봉	굴10	2등	00113380	600Slant	1.401	2004-12-03	남제주군	
거문오름	굴17	2등	00312550	600Slant	1.587	2005-09-12	제주시	
고내봉	본점	2등	0062550	600Slant	1.440	2005-09-12	북제주군	
군산	굴14	2등	00112550	600Slant	1.422	2005-09-12	남제주군	
노루오름	굴15	2등	00332550	600Slant	1.480	2005-09-12	북제주군	
신제주	-	보점	GPS0B05	SOLUTIONS	1.482	2005-09-12	제주시	
거문오름	굴17	2등	00312560	600Slant	1.607	2005-09-13	북제주군	
고내봉	본점	1등	00062560	600Slant	1.427	2005-09-13	북제주군	
도두봉	-	보점	00112560	600Slant	1.312	2005-09-13	제주시	
원당봉	-	보점	00332560	600Slant	1.377	2005-09-13	제주시	
간드락	-	보점	GPS5C05	SOLUTIONS	1.420	2005-09-13	제주시	
거문오름	굴17	2등	00312590	600Slant	1.622	2005-09-16	제주시	
도두봉	-	보점	00112590	600Slant	1.383	2005-09-16	제주시	
간드락	-	보점	00332591	600Slant	1.462	2005-09-16	제주시	
신제주	-	보점	00062591	600Slant	1.450	2005-09-16	제주시	

부록 1-3. SOKKIA Radian 사양

GPS수신부	
위성수신 채널	12 CH
수평 정확도	< 1m (2D RMS)
수정 출력(Correction Output)	RTCM SC-104
Beacon 수신부	
비콘 수신 채널	2 CH
주파수 범위	283.5 ~ 325kHz
Cold Start Time	< 1 분 (평균)
Reacquisition Time	2초 (평균)
Serial Interface 사양	
Serial Ports	1 full duplex
Interface level	RS-232C
Baud Rate	9600
사용환경	
작동 온도	-32°C ~ +74°C
보관 온도	-40°C ~ +85°C
전원부	
입력 전압	9.5 ~48 VDC
소비 전압	< 6.5W
안테나 Voltage Output	5 VDC
본체	
크기	51mmH * 125mmW * 190mmL (2.0"H * 4.9"W * 7.4"D)
무게	0.7kg (1.6 lb.)
데이터 연결	DB9-socket
인터넷 연결	TNC-socket
static 측량시	수평 3 mm + 0.5 ppm 수직 10 mm + 1.0 ppm
rtk-gps 측량시	수평 10 mm + 1.0 ppm 수직 20 mm + 1.0 ppm

부록 2. 변환결과 3차원 표준편차

부록 2-1. 변환결과 3차원 표준편차(10점고정)

명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.69	-350.65	-683.79	0.23
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	357.15	-349.38	-683.44	0.48
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	357.84	-351.17	-684.04	0.60
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.72	-350.97	-684.08	0.38
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.31	-349.85	-683.64	0.48
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.43	-350.02	-683.63	0.41
매오름	357.38	-349.17	-682.48	357.16	-348.96	-682.87	0.50
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.94	-348.61	-682.96	0.86
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.56	-350.23	-683.63	1.22
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.51	-349.90	-683.47	2.24
변환에서 제외시킨 절							
대륙산	356.99	-349.33	-683.23	357.21	-349.23	-683.14	0.26
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	357.26	-349.48	-683.36	0.41
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	357.10	-349.00	-683.10	0.31
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	357.06	-349.05	-683.23	0.37
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.52	-350.00	-683.36	0.63
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.57	-350.56	-683.94	8.10
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.88	-348.40	-682.84	37.25
가파도	354.65	-345.37	-693.47	357.82	-350.86	-683.67	11.68
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	357.32	-349.43	-683.10	0.27
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	357.07	-348.80	-682.90	0.24
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.68	-350.50	-683.60	0.43
도두봉				357.40	-350.11	-683.77	보 점
원당봉				357.25	-349.65	-683.55	보 점
간드락				357.33	-349.85	-683.61	보 점
신제주				357.39	-350.02	-683.68	보 점



변환결과 3차원 표준편차(10점고정)

부록 2-2. 변환결과 3차원 표준편차(9점고정)

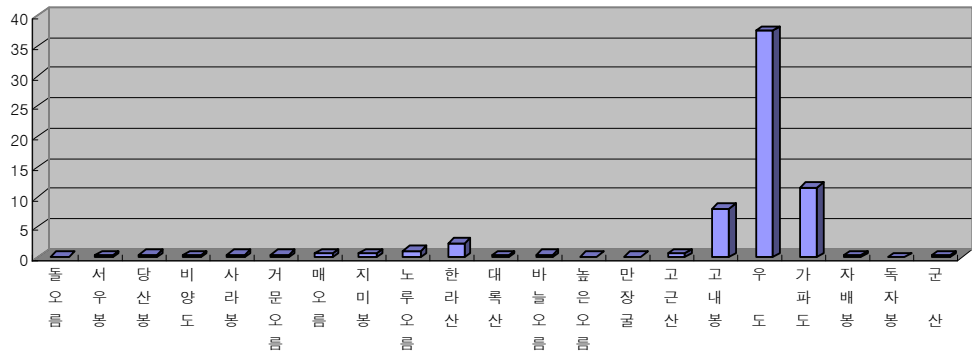
명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.84	-350.48	-683.92	0.17
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	357.18	-349.19	-683.57	0.45
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	358.03	-351.01	-684.14	0.33
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.86	-350.79	-684.16	0.17
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.37	-349.66	-683.75	0.63
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.52	-349.84	-683.76	0.63
매오름	357.38	-349.17	-682.48	357.24	-348.76	-683.10	0.75
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.95	-348.41	-683.15	0.62
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.69	-350.04	-683.77	0.98
변환에서 제외시킨 점							
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.62	-349.72	-683.62	2.51
대륙산	356.99	-349.33	-683.23	357.28	-349.03	-683.32	0.42
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	357.32	-349.28	-683.51	0.54
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	357.14	-348.80	-683.28	0.21
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	357.08	-348.85	-683.38	0.31
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.67	-349.82	-683.54	0.87
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.68	-350.38	-684.03	7.98
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.88	-348.20	-683.03	37.49
가파도	354.65	-345.37	-693.47	358.04	-350.69	-683.83	11.52
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	357.43	-349.24	-683.30	0.54
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	357.12	-348.61	-683.11	0.07
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.85	-350.32	-683.76	0.41
도두봉				357.47	-349.93	-683.87	보점
원당봉				357.30	-349.47	-683.67	보점
간드락				357.39	-349.66	-683.73	보점
신제주				357.47	-349.84	-683.79	보점



변환결과 3차원 표준편차(9점고정)

부록 2-3. 변환결과 3차원 표준편차(8점고정)

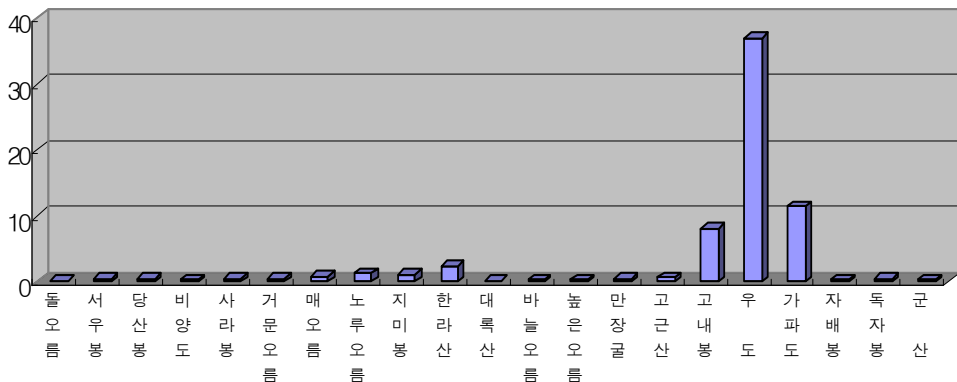
명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.73	-350.59	-683.89	0.12
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	357.12	-349.25	-683.55	0.40
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	357.89	-351.12	-684.11	0.50
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.73	-350.90	-684.15	0.33
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.29	-349.73	-683.74	0.52
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.43	-349.92	-683.73	0.51
매오름	357.38	-349.17	-682.48	357.20	-348.84	-683.04	0.67
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.93	-348.47	-683.11	0.68
변환에서 제외시킨 점							
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.59	-350.14	-683.74	1.12
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.54	-349.81	-683.59	2.39
대록산	356.99	-349.33	-683.23	357.23	-349.11	-683.28	0.33
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	357.26	-349.36	-683.48	0.45
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	357.10	-348.87	-683.25	0.18
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	357.04	-348.91	-683.36	0.26
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.59	-349.92	-683.49	0.73
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.57	-350.47	-684.01	8.10
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.87	-348.25	-683.00	37.43
가파도	354.65	-345.37	-693.47	357.92	-350.82	-683.77	11.60
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	357.37	-349.33	-683.25	0.42
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	357.09	-348.68	-683.06	0.04
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.75	-350.44	-683.71	0.36
도두봉				357.38	-350.01	-683.86	보점
원당봉				357.23	-349.53	-683.66	보점
간드락				357.32	-349.74	-683.71	보점
신제주				357.38	-349.92	-683.78	보점



변환결과 3차원 표준편차(8점고정)

부록 2-4. 변환결과 3차원 표준편차(7점고정)

명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.71	-350.56	-683.93	0.07
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	357.03	-349.46	-683.37	0.46
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	357.94	-351.02	-684.20	0.37
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.80	-350.85	-684.15	0.24
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.26	-349.87	-683.61	0.42
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.38	-350.02	-683.66	0.39
매오름	357.38	-349.17	-682.48	356.94	-349.08	-683.00	0.69
변환에서 제외시킨 점							
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.53	-350.19	-683.73	1.19
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.71	-348.79	-682.93	1.11
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.42	-349.90	-683.56	2.27
대록산	356.99	-349.33	-683.23	357.04	-349.32	-683.20	0.07
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	357.13	-349.54	-683.37	0.27
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	356.91	-349.12	-683.11	0.34
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	356.89	-349.17	-683.18	0.38
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.44	-349.99	-683.54	0.58
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.60	-350.49	-683.96	8.06
우 도	338.32	-376.10	-666.23	356.61	-348.60	-682.80	36.96
가파도	354.65	-345.37	-693.47	357.85	-350.74	-683.94	11.41
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	357.16	-349.49	-683.24	0.25
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	356.84	-348.95	-682.96	0.40
군 산	357.51	-350.39	-683.98	357.67	-350.43	-683.80	0.24
도두봉				357.38	-350.10	-683.75	
월당봉				357.17	-349.70	-683.51	
간드락				357.27	-349.87	-683.59	
신제주				357.35	-350.02	-683.68	



변환결과 3차원 표준편차(7점고정)

부록 2-5. 변환결과 3차원 표준편차(6점고정)

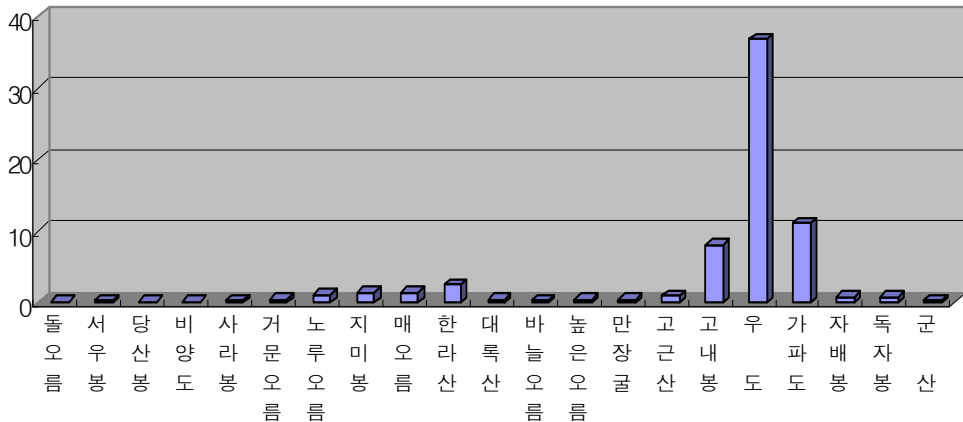
명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.75	-350.44	-684.03	0.11
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	356.66	-349.60	-683.55	0.35
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	358.12	-350.87	-684.21	0.16
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.89	-350.80	-684.13	0.14
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.02	-349.96	-683.72	0.17
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.22	-350.03	-683.79	0.36
변환에서 제외시킨 점							
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.45	-350.11	-683.88	1.18
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.16	-348.90	-683.29	1.46
매오름	357.38	-349.17	-682.48	356.55	-348.99	-683.43	1.28
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.26	-349.82	-683.77	2.40
대록산	356.99	-349.33	-683.23	356.69	-349.30	-683.52	0.41
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	356.83	-349.57	-683.60	0.15
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	356.48	-349.17	-683.43	0.57
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	356.44	-349.29	-683.43	0.50
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.34	-349.83	-683.81	0.76
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.57	-350.51	-683.98	8.10
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.01	-348.71	-683.21	36.77
가파도	354.65	-345.37	-693.47	358.01	-350.46	-684.12	11.16
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	356.90	-349.38	-683.60	0.67
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	356.38	-348.94	-683.37	0.80
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.70	-350.23	-683.99	0.25
도두봉	보 점			357.21	-350.18	-683.81	
원당봉	보 점			356.88	-349.81	-683.65	
간드락	보 점			357.04	-349.94	-683.72	
신계주	보 점			357.17	-350.07	-683.78	



변환결과 3차원 표준편차(6점고정)

부록 2-6. 변환결과 3차원 표준편차(5점고정)

명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.70	-350.53	-683.98	357.78	-350.40	-684.06	0.17
서우봉	356.79	-349.34	-683.75	356.69	-349.51	-683.63	0.23
당산봉	358.16	-350.76	-684.32	358.14	-350.85	-684.23	0.13
비양도	358.00	-350.71	-684.13	357.90	-350.77	-684.16	0.12
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.03	-349.89	-683.79	0.25
변환에서 제외시킨 점							
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.24	-349.96	-683.85	0.45
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.48	-350.06	-683.92	1.11
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.21	-348.79	-683.38	1.35
매오름	357.38	-349.17	-682.48	356.62	-348.90	-683.50	1.31
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.30	-349.76	-683.82	2.49
대록산	356.99	-349.33	-683.23	356.74	-349.22	-683.59	0.45
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	356.86	-349.49	-683.67	0.24
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	356.52	-349.07	-683.51	0.50
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	356.47	-349.20	-683.52	0.41
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.40	-349.76	-683.85	0.84
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.58	-350.46	-684.02	8.09
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.06	-348.59	-683.31	36.93
가파도	354.65	-345.37	-693.47	358.06	-350.43	-684.13	11.16
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	356.96	-349.30	-683.66	0.73
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	356.44	-348.84	-683.45	0.75
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.74	-350.19	-684.01	0.31
도두봉				357.22	-350.11	-683.87	
원당봉				356.90	-349.73	-683.72	
간드락				357.06	-349.87	-683.79	
신제주				357.19	-350.00	-683.85	



변환결과 3차원 표준편차(5점고정)

부록 2-7. 변환결과 3차원 표준편차(4점고정)

명 칭	DX0	DY0	DZ0	DX1	DY1	DZ1	DXYZ
돌오름	357.700	-350.530	-683.980	357.820	-350.370	-684.070	0.210
서우봉	356.790	-349.340	-683.750	356.790	-349.390	-683.690	0.070
당산봉	358.160	-350.760	-684.320	358.140	-350.840	-684.230	0.120
비양도	358.000	-350.710	-684.130	357.900	-350.740	-684.190	0.120
변환에서 제외시킨 점							
거문오름	357.12	-350.29	-683.56	357.31	-349.89	-683.88	0.54
노루오름	358.35	-349.36	-683.99	357.54	-350.01	-683.94	1.03
지미봉	357.28	-347.96	-683.41	356.37	-348.64	-683.42	1.13
매오름	357.38	-349.17	-682.48	356.77	-348.80	-683.49	1.24
한라산	356.63	-351.55	-682.24	357.39	-349.69	-683.83	2.57
사라봉	356.90	-350.07	-683.69	357.11	-349.79	-683.84	0.38
대록산	356.99	-349.33	-683.23	356.87	-349.11	-683.60	0.45
바늘오름	356.90	-349.63	-683.47	356.96	-349.39	-683.70	0.33
높은오름	356.96	-348.88	-683.35	356.66	-348.95	-683.54	0.36
만장굴	356.82	-348.97	-683.49	356.60	-349.06	-683.57	0.25
고근산	357.03	-350.39	-683.41	357.48	-349.72	-683.83	0.91
고내봉	364.59	-347.81	-680.97	357.61	-350.40	-684.07	8.06
우도	338.32	-376.10	-666.23	356.24	-348.43	-683.35	37.15
가파도	354.65	-345.37	-693.47	358.09	-350.44	-684.09	11.20
자배봉	357.17	-349.65	-683.05	357.08	-349.22	-683.65	0.74
독자봉	357.08	-348.66	-683.09	356.60	-348.72	-683.46	0.60
군산	357.51	-350.39	-683.98	357.79	-350.17	-683.99	0.36
도두봉				357.28	-350.03	-683.93	
원당봉				356.98	-349.62	-683.78	
간드락				357.13	-349.77	-683.83	
신제주				357.25	-349.92	-683.89	



변환결과 3차원 표준편차(4점고정)

부록 3. 제주지역 기선 해석 및 점검

부록 3-1 기선 해석 및 점검

base line	distance	vector components			session
		X	Y	Z	
매오름-지미봉	21774.237	28.119	13811.545	16833.236	1
지미봉-서우봉	21517.162	18462.286	10191.963	4272.723	2
서우봉-매오름	28292.353	18490.411	3619.612	21105.929	3
거리 및 벡터	$\Sigma D=71583.752$	$\Delta X=0.006$	$\Delta Y=0.030$	$\Delta Z=0.030$	

계산식

1. 폐 합 오 차 :

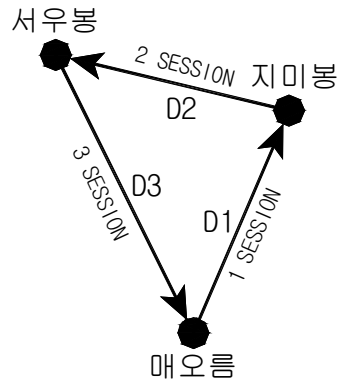
$$M = \pm \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} = 0.043m$$

2. 허용요차범위 :

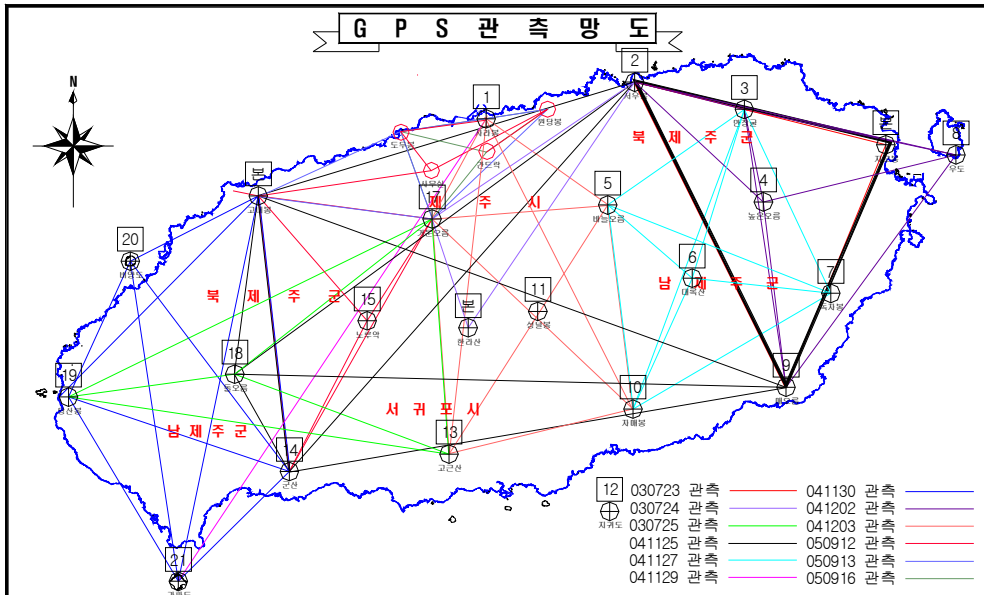
$$e = 25mm + \Sigma D \times 1PPM = 0.096m$$

3. 정 도 :

$$s = M / \Sigma D \times 10^6 = 0.60PPM$$



Key Map



검 점 : $M : e = 0.043m < 0.096m$ ok

부록 3-2. 기선 해석 및 점검

base line	distance	vector components			session
		X	Y	Z	
고내봉-매오름	46666.393	40420.678	19270.250	13136.911	1
매오름-군 산	41886.786	30694.423	27889.007	5878.657	2
군 산-고내봉	23032.042	9726.243	8618.747	19015.582	3
거리 및 벡터	$\Sigma D=111585.221$	$\Delta X=0.012$	$\Delta Y=0.010$	$\Delta Z=0.014$	

계산식

1. 폐 합 오 차 :

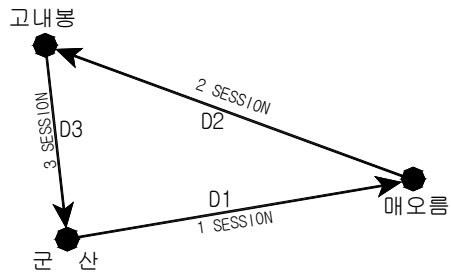
$$M = \pm \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} = 0.021m$$

2. 허용오차범위 :

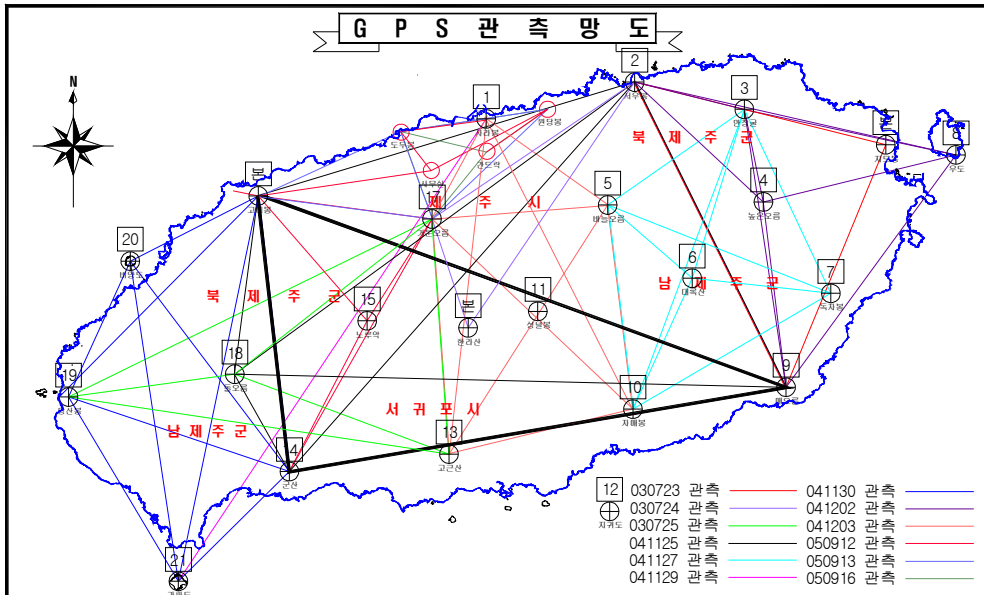
$$e = 25mm + \Sigma D \times 1PPM = 0.136m$$

3. 정 도 :

$$s = M/\Sigma D \times 10^6 = 0.19PPM$$



Key Map



점검 : $M : e = 0.021m < 0.136m$ ok

부록 3-3 기선 해석 및 점검

base line	distance	vector components			session
		X	Y	Z	
당산봉-군 산	19382.832	16901.804	8086.139	4963.626	1
군 산-가파도	12974.080	4571.728	9269.525	7842.319	2
가파도-당산봉	17816.380	12330.081	1183.390	12805.940	3
거리 및 벡터	$\Sigma D=50173.292$	$\Delta X=0.005$	$\Delta Y=0.004$	$\Delta Z=0.005$	

계산식

1. 폐 합 오 차 :

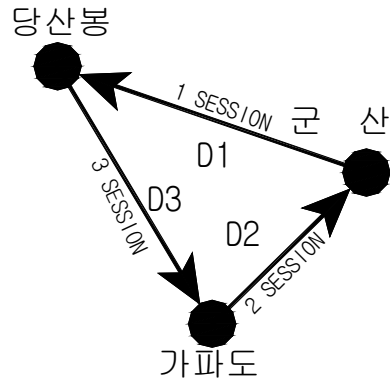
$$M = \pm \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} = 0.008m$$

2. 허용오차범위 :

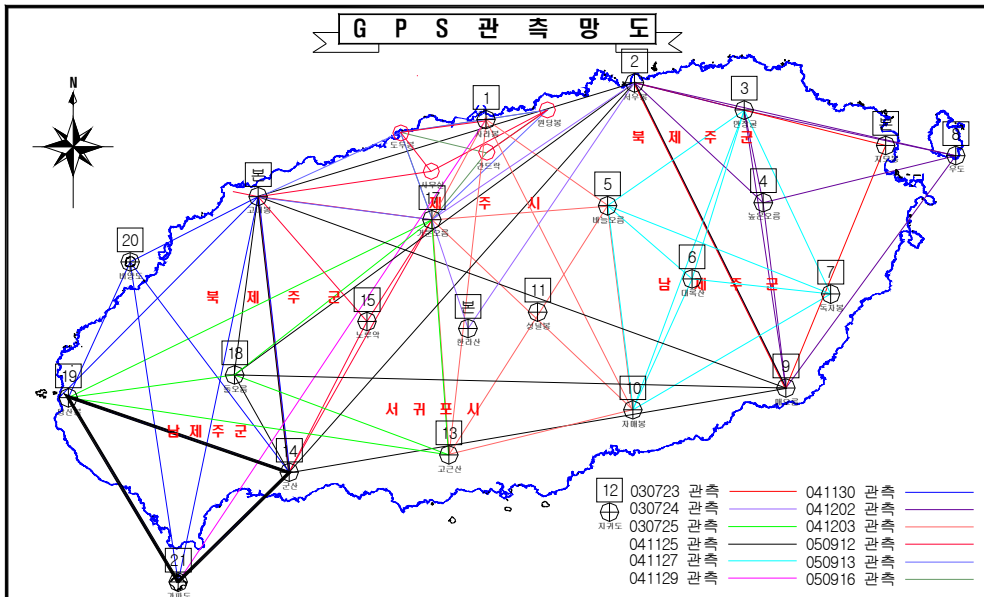
$$e = 25mm + \Sigma D \times 1PPM = 0.075m$$

3. 정 도 :

$$s = M/\Sigma D \times 10^6 = 0.16PPM$$



Key Map



점검 : $M : e = 0.008m < 0.075m$ ok

부록 3-4. 기선 해석 및 점검

base line	distance	vector components			session
		X	Y	Z	
우 도-만장굴	17977.232	15328.823	8855.126	3129.664	1
만장굴-매오름	23337.314	10450.302	8094.443	19232.821	2
매오름-우 도	23883.036	4878.509	16949.584	16103.143	3
거리 및 벡터	$\Sigma D=65197.582$	$\Delta X=0.012$	$\Delta Y=0.015$	$\Delta Z=0.014$	

계산식

1. 폐 합 오 차 :

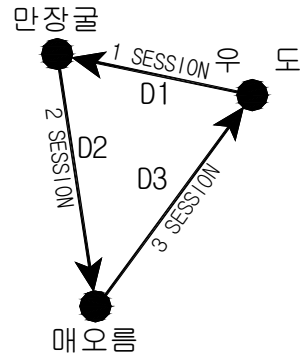
$$M = \pm \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} = 0.024m$$

2. 허용오차범위 :

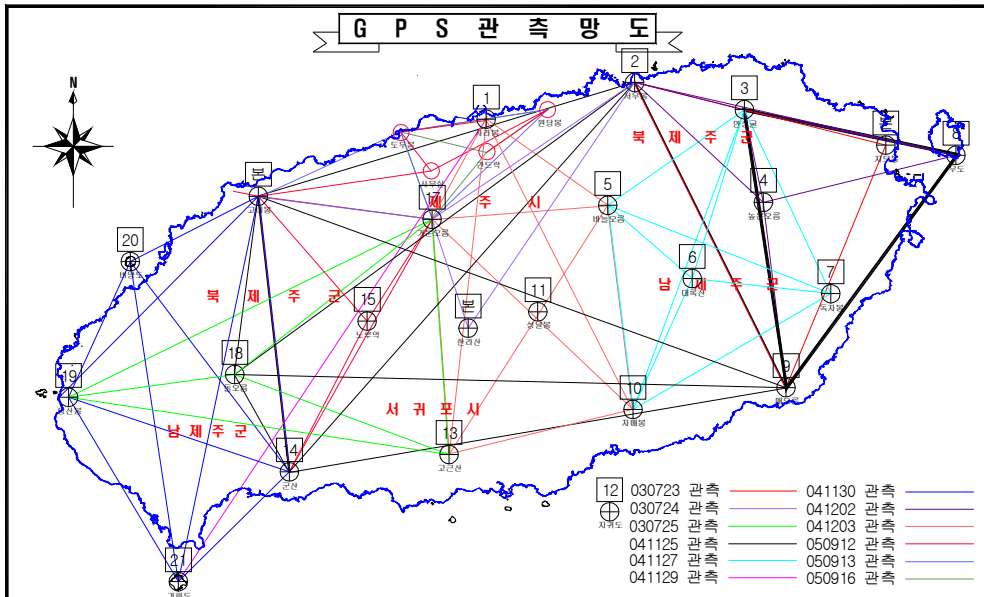
$$e = 25mm + \Sigma D \times 1PPM = 0.090m$$

3. 정 도 :

$$s = M/\Sigma D \times 10^6 = 0.37PPM$$



Key Map



점검 : M : e = 0.024m < 0.090m ok

부록 3-5. 기선 해석 및 점검

base line	distance	vector components			session
		X	Y	Z	
사라봉-고근산	28011.944	6859.821	14251.598	23119.339	1
고근산-자배봉	15748.967	10937.403	10907.552	3070.580	2
자배봉-사라봉	27016.228	17797.244	3344.079	20048.736	3
거리 및 벡터	$\Sigma D=70777.139$	$\Delta X=0.020$	$\Delta Y=0.033$	$\Delta Z=0.023$	

계산식

1. 폐 합 오 차 :

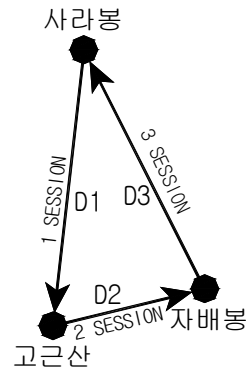
$$M = \pm \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)} = 0.045m$$

2. 허용오차범위 :

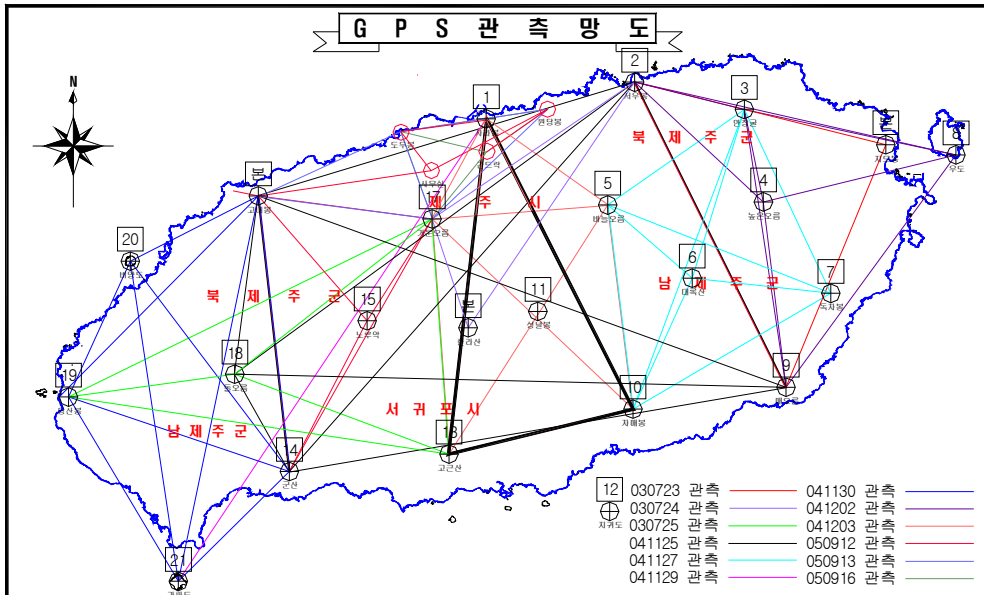
$$e = 25mm + \Sigma D \times 1PPM = 0.096m$$

3. 정 도 :

$$s = M/\Sigma D \times 10^6 = 0.64PPM$$



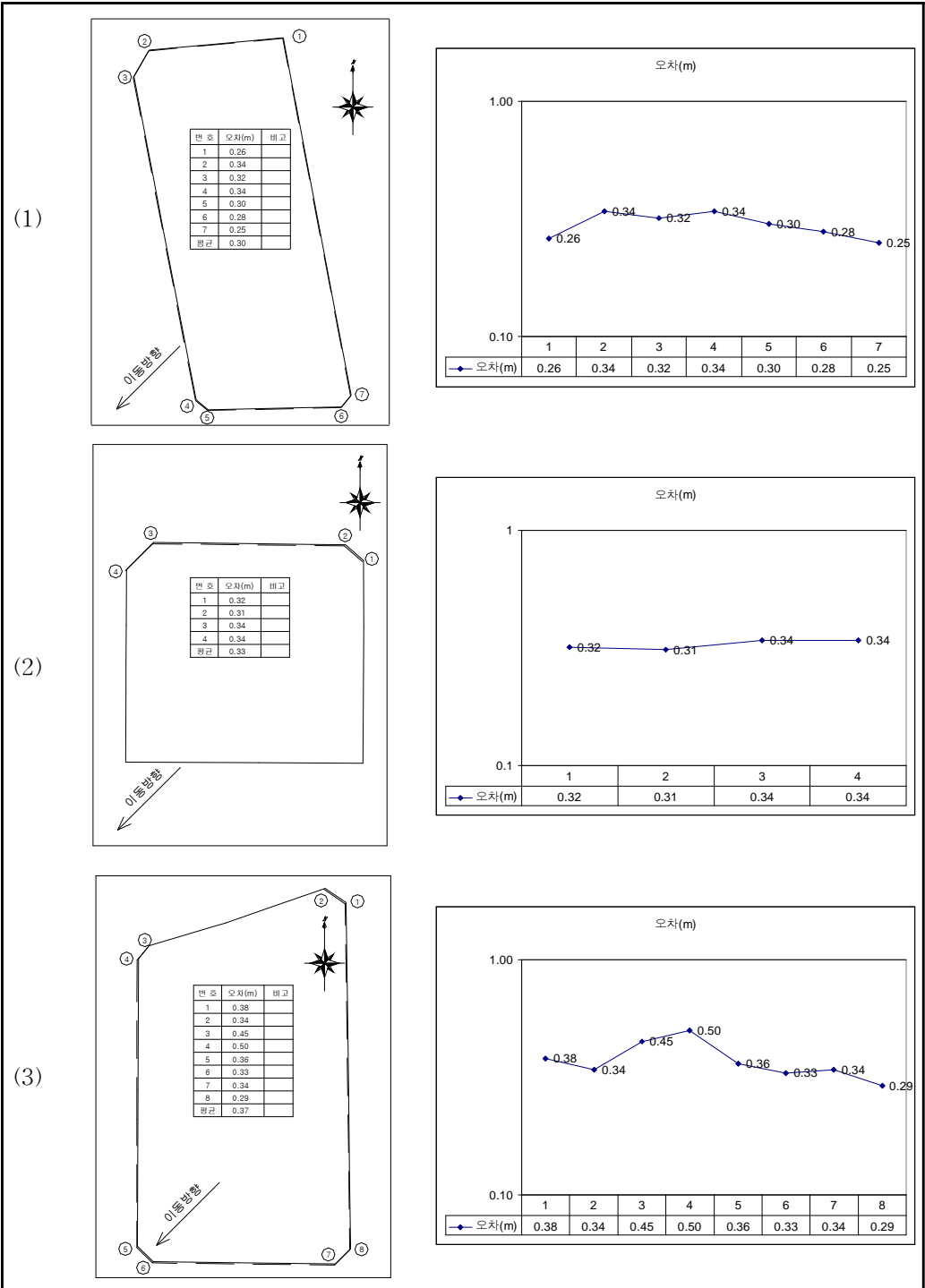
Key Map



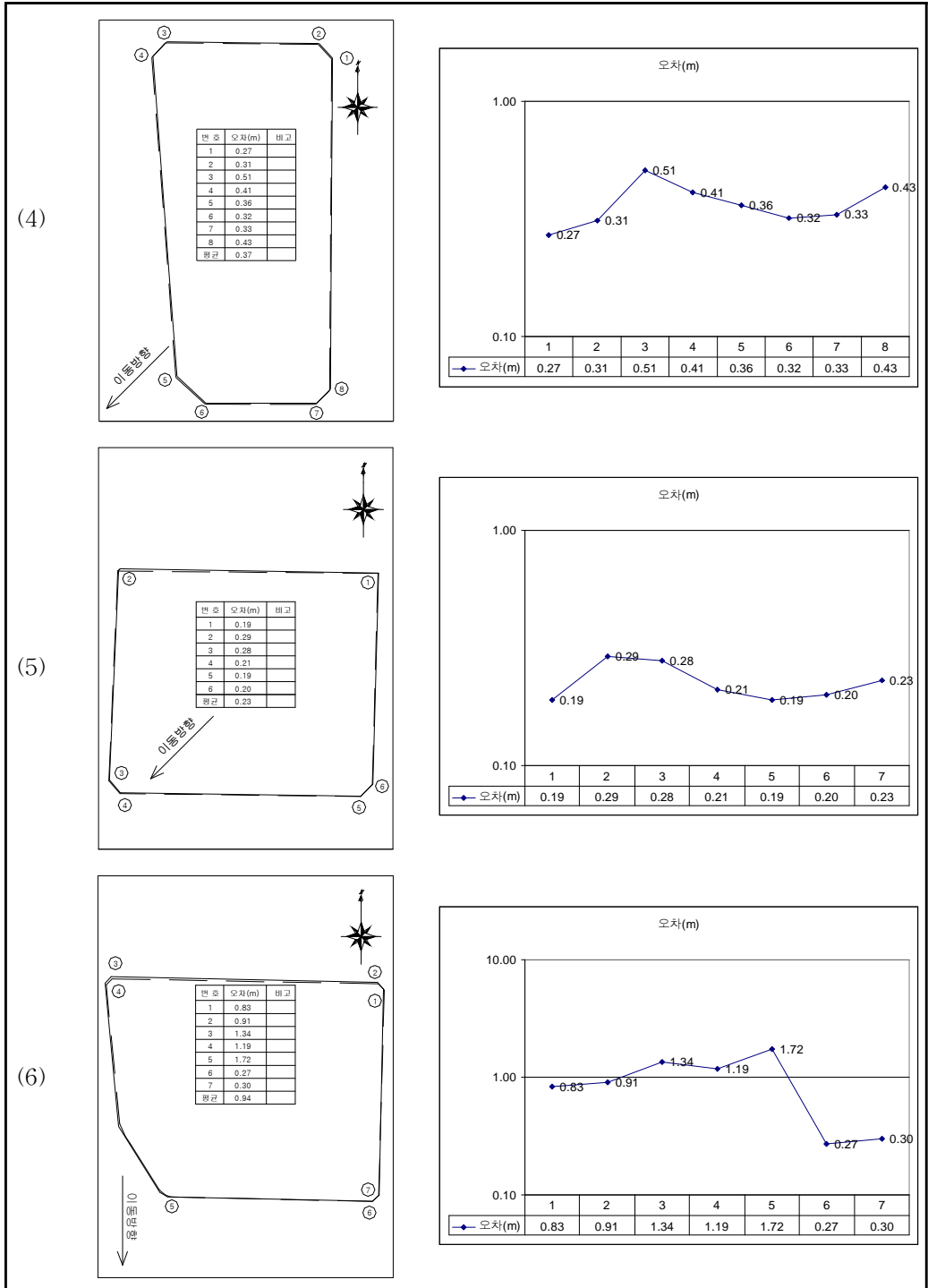
점검 : $M : e = 0.045m < 0.096m$ ok

부록 4. 제주시내 *RTK-GPS* 측량도

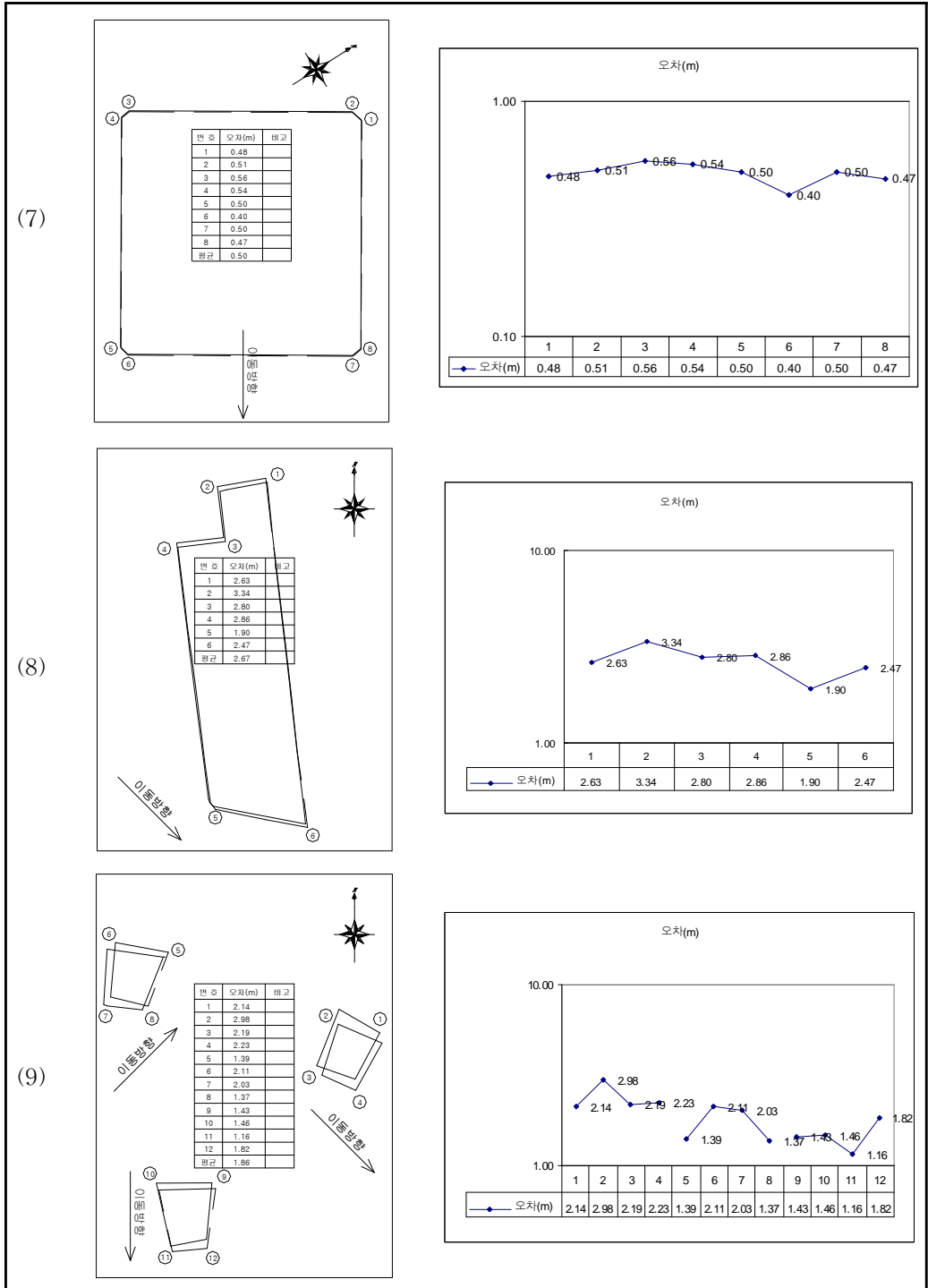
부록 4-1. 제주시내 RTK-GPS 측량도



부록 4-2. 제주시내 RTK-GPS 측량도



부록 4-3. 제주시내 RTK-GPS 측량도



부록 5. 제주시내 *RTK-GPS* 좌표계산부

제주시내 RTK-GPS 좌표계산부

	번호	관측점	방위각	사거리	수평거리	N	E
		기준국	기	점		48179.460	153053.020
		후시점1	251-31-30	4870.560	4870.560	49722.860	157672.650
		후시점2	283-17-31	7342.653	7342.653	51411.040	150526.700
1)	1	1049	283-23-59	6579.196	6578.163	49703.895	146654.014
	2	1048	283-16-44	6620.411	6619.396	49699.894	146610.690
	3	1047	283-11-49	6623.240	6622.231	49691.251	146605.744
	4	1046	282-21-03	6580.513	6579.569	49586.838	146625.816
	5	1045	282-19-55	6575.990	6575.043	49583.666	146629.755
	6	1044	282-25-12	6534.145	6533.194	49584.571	146672.798
	7	1043	282-27-28	6531.917	6530.964	49588.337	146675.912
2)	1	1030	280-23-41	6451.841	6451.044	49343.462	146707.941
	2	1029	280-25-04	6456.143	6455.350	49346.752	146704.167
	3	1028	280-21-28	6495.780	6494.997	49347.196	146663.941
	4	1027	280-17-56	6500.343	6499.567	49341.491	146658.256
3)	1	1026	278-02-49	6411.659	6410.980	49076.852	146705.240
	2	1025	278-04-11	6417.028	6416.356	49080.215	146700.286
	3	1024	277-54-03	6455.631	6454.977	49066.740	146659.397
	4	1023	277-52-15	6457.756	6457.102	49063.740	146656.836
	5	1021	277-16-55	6448.974	6448.352	48996.817	146656.761
	6	1020	277-15-17	6444.938	6444.311	48993.250	146660.379
	7	1019	277-17-52	6402.877	6402.228	48992.738	146702.739
	8	1018	277-20-02	6399.810	6399.156	48996.287	146706.292
4)	1	1005	276-12-53	6385.781	6385.140	48870.706	146705.488
	2	1006	276-14-38	6389.606	6388.968	48874.371	146702.037
	3	1008	276-12-35	6427.840	6427.217	48874.743	146663.602
	4	1009	276-10-30	6430.793	6430.175	48871.074	146660.229
	5	1000	275-27-57	6416.599	6415.982	48790.566	146666.289
	6	1001	275-24-43	6408.654	6408.038	48783.802	146673.624
	7	1002	275-26-06	6380.952	6380.331	48783.763	146701.452
	8	1003	275-28-08	6377.821	6377.194	48787.250	146704.937
5)	1	1123	282-17-24	1558.116	1557.663	48511.025	151531.137
	2	1128	281-44-20	1633.440	1633.043	48511.686	151454.210
	3	1127	279-34-37	1624.503	1624.146	48449.657	151451.589
	4	1126	279-27-50	1620.659	1620.304	48445.867	151454.849
	5	1125	279-51-43	1550.376	1550.024	48444.940	151525.982
	6	1124	280-00-53	1547.537	1547.176	48448.510	151529.499

	번호	관측점	방위각	사거리	수평거리	N	E
6)	1	1025	36-03-10	3306.728	3305.863	50852.156	154998.703
	2	1024	36-00-50	3309.747	3308.873	50855.921	154998.644
	3	1036	33-48-17	3225.295	3224.379	50858.704	154847.038
	4	1035	33-47-27	3220.620	3219.697	50855.258	154843.770
	5	1028	35-31-55	3143.867	3142.986	50737.174	154879.685
	6	1027	37-09-46	3207.187	3206.354	50734.649	154990.021
	7	1026	37-14-31	3210.336	3209.504	50734.492	154995.437
7)	1	1007	62-08-05	5475.141	5474.957	50738.415	157893.230
	2	1006	62-05-49	5471.659	5471.478	50739.950	157888.481
	3	1005	62-11-23	5356.431	5356.237	50678.349	157790.692
	4	1004	62-13-47	5353.201	5353.008	50673.512	157789.591
	5	1003	63-25-58	5362.918	5362.743	50577.882	157849.613
	6	1002	63-28-22	5366.735	5366.561	50576.258	157854.692
	7	1001	63-21-14	5480.980	5480.806	50637.444	157951.825
	8	1000	63-18-07	5484.714	5484.539	50643.587	157952.916
8)	1	1171	173-53-56	6640.334	6622.376	41594.585	153756.956
	2	1173	174-09-21	6642.840	6624.947	41588.934	153727.652
	3	1174	174-09-18	6674.434	6656.232	41557.828	153730.995
	4	1175	174-24-35	6675.006	6656.830	41554.272	153701.487
	5	1182	174-20-52	6839.568	6820.651	41391.957	153724.820
	6	1165	173-52-51	6856.629	6837.623	41380.782	153781.933
9)	1	1058	278-44-52	6568.628	6567.797	49178.395	146561.716
	2	1061	278-46-11	6577.884	6577.053	49182.197	146552.936
	3	1060	278-40-37	6579.582	6578.756	49171.941	146549.640
	4	1059	278-39-36	6572.407	6571.579	49168.916	146556.439
	5	1065	278-50-52	6613.690	6612.861	49196.556	146518.926
	6	1064	278-51-00	6624.440	6623.612	49198.488	146508.346
	7	1063	278-45-21	6623.725	6622.907	49187.614	146507.376
	8	1062	278-45-00	6616.043	6615.215	49185.776	146514.875
	9	1070	278-27-14	6597.177	6596.365	49149.228	146528.411
	10	1071	278-26-13	6608.388	6607.579	49148.937	146517.031
	11	1072	278-20-05	6603.921	6603.114	49136.638	146519.732
	12	1073	278-20-56	6597.120	6596.314	49137.276	146526.698

부록 6. 제주지역 삼각점 성과대비 좌표

급 수	등급	부호	명 칭	위 도	경 도	최초 측량 성과		1939년재매설성과		기 존 성 과		04 년 성 과		비 고	정 영
						X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1등삼각	본점		지 미 봉	33-29-45.876	126-54-05.807	50326.54	190858.28			50326.54	190858.28			지미봉:93년복구	성산 11
1등삼각	본점		한 라 산	33-21-29.488	126-31-42.918	35129.87	156128.90			35129.87	156128.90	35129.87	156128.90	한라산:최초성과	서귀 11
1등삼각	본점		고 내 봉	33-27-21.953	126-20-25.416	46083.12	138683.42			46083.12	138683.42			고내봉:93년재설	한림 11
2등삼각	보점	굴 1	사 라 봉	33-30-52.832	126-32-38.250	52477.97	157635.42			52477.97	157635.42			사라봉:최초성과	제주 21
2등삼각	보점	굴 2	서 우 봉	33-32-33.394	126-40-36.305	55529.59	169981.09			55529.59	169981.09	55529.59	169981.09	서우봉:최초성과	제주 22
2등삼각	보점	굴 3	만 장 굴	33-31-20.813	126-46-27.797	53269.53	179094.99			53269.53	179094.99			만장굴:4 등 점	굴소 28
2등삼각	보점	굴 4	높은오름	33-27-11.422	126-47-32.074	45583.35	180686.51			45583.35	180686.51			높은봉:93년재설	성산 23
2등삼각	보점	굴 5	바늘오름	33-27-01.915	126-39-10.686	45325.11	167738.31			45325.11	167738.31	45325.11	167738.31	바늘봉:최초성과	제주 23
2등삼각	보점	굴 6	대 록 산	33-23-45.246	126-43-43.372	39245.58	174764.25			39245.58	174764.25			대록산:93년재설	표선 21
2등삼각	보점	굴 7	독 자 봉	33-23-05.168	126-51-09.734	37987.74	186296.35			37987.74	186296.35			독자봉:93년재설	표선 22
2등삼각	보점	굴 8	우 도 봉	33-29-18.897	126-57-52.052	49491.61	196697.36			49491.61	196697.36			우도봉:93년재설	성산 22
2등삼각	보점	굴 9	매 오 림	33-18-51.962	126-48-46.062	30193.62	182569.41			30193.62	182569.41	30193.62	182569.41	매오름:최초성과	표선 23
2등삼각	보점	굴10	자 배 봉	33-17-51.904	126-40-33.975	28374.67	169836.43			28374.67	169836.43			자배봉:93년재설	표선 24
2등삼각	보점	굴11	성닐오름	33-22-14.554	126-35-27.084	36493.66	161929.26			36493.66	161929.26	36493.66	161929.26	성닐봉:확인안함	서귀 22
2등삼각	보점	굴12	지 귀 도	33-13-16.104	126-39-20.012	19884.75	167895.09			19884.75	167895.09	19984.75	167895.09	지귀도:못 찾 음	서귀 24
2등삼각	보점	굴13	고 근 산	33-15-48.726	126-30-43.310	24639.56	154538.83			24639.56	154538.83	24639.56	154538.83	고근산:93년재설	서귀 23
2등삼각	보점	굴14	군 산	33-14-59.459	126-22-11.060	23192.84	141273.09	성과별도	표3-4참조	23192.84	141273.09			군 산:93년재설	모슬 22
2등삼각	보점	굴15	노 루 약	33-21-46.840	126.26-18.368	35706.00	147741.75			35706.00	147741.75	35706.00	147741.75	노루약:93년재설	서귀 21
2등삼각	보점	굴16	모 슬 봉	33-14-07.802	126-15-26.656	21648.06	130794.24	21650.16	130794.04	21650.16	130794.04			모슬봉:93년적용	모슬 23
2등삼각	보점	굴17	거문오름	33-26-22.358	126-29-45.266	44166.28	153131.13			44166.28	153131.13	44166.28	153131.13	거문봉:93년재설	한림 22
2등삼각	보점	굴18	돌 오 림	33-19-21.010	126-19-13.472	31278.96	136728.95			31278.96	136728.95			돌오름:93년복구	모슬 21
2등삼각	보점	굴19	당 산 봉	33-18-16.148	126-10-19.541	29380.65	122904.50	29380.62	122904.51	29380.65	122904.50	29380.65	122904.50	당산봉:93년재설	모슬 24
2등삼각	보점	굴20	비 양 도	33-24-23.576	126-13-34.844	40661.06	128040.52			40661.06	128040.52	40661.06	128040.52	비양도:최초성과	한림 21
2등삼각	보점	굴21	가 파 도	33-10-01.456	126-16-16.769	14072.32	132038.83	14075.08	132040.33	14075.08	132040.53	14075.08	132040.53	가파도:93년재설	모슬 25
														Y축20Cm	

급 수	등급	부호	명 칭	위 도	경 도	최초 측량 성과		1939년재매설성과		기 존 성 과		04 년 성 과		비 고
						X	Y	X	Y	X	Y	X	y	
3등삼각	1	굴 1	어 도 봉	33-25-02.329	126-18-27.354	41801.61	135606.16			41801.61	135606.16			
3등삼각	1	굴 2	판 포 약	33-21-17.111	126-12-45.024	34926.34	126709.86	34926.91	126709.80	34926.34	126709.86	34926.34	126709.86	39년 재설미반영
3등삼각	1	굴 3	조 약	33-17-47.746	126-14-16.756	28458.89	129034.27	28460.06	129034.34	28460.06	129034.34			39년 재설 반영
3등삼각	1	굴 4	광 장 약	33-17-04.396	126-18-59.714	27072.75	136345.57	27072.75	136346.38	27072.75	136345.57	27072.75	136345.57	39년 재설미반영
3등삼각	1	굴 5	병 약	33-18-10.794	126-22-02.478	29088.38	141086.65	29090.48	141090.21	29090.42	141090.21			39년 재설미반영
3등삼각	1	굴 6	안 좌 약	33-21-49.532	126-44-51.192	35676.52	176508.02			35676.52	176508.02			
3등삼각	1	굴 7	북 하 봉	33-18-04.986	126-25-48.073	28875.87	146921.28	28875.88	146921.31	28875.87	146921.28			39년 재설미반영
3등삼각	1	굴 8	최 오 름	33-16-50.428	126-36-07.404	26504.75	162933.32			26504.75	162933.32	26504.75	162933.32	
3등삼각	1	굴 9	성 산 봉	33-27-25.392	126-56-22.380	45996.04	194380.67			45878.04	194310.92			
3등삼각	1	굴10	하 호 봉	33-15-17.578	126-27-04.690	23708.10	148876.08			23710.24	148873.79			
3등삼각	1	굴11	대 왕 산	33-27-10.373	126-52-19.552	45539.04	188109.90			45540.40	188109.56	45539.52	188109.56	
3등삼각	1	굴12	영 주 산	33-24-04.766	126-47-43.489	39832.72	180969.96			39833.62	180969.84	39833.62	180969.84	
3등삼각	1	굴13	아 심 전	33-21-50.412	126-48-22.664	35691.94	181974.49			35691.94	181974.48			
3등삼각	1	굴14	국 장 약	33-30-17.904	126-47-58.023	51326.81	181367.68			51326.81	181367.68			
3등삼각	1	굴15	알밤오름	33-29-16.556	126-42-42.456	49456.17	173218.48			49456.17	173218.48			93년 재설
3등삼각	1	굴16	명 도 암	33-28-19.706	126-36-42.766	47735.05	163927.45			47735.46	163925.70	47734.59	163925.70	02년 재설
3등삼각	1	굴17	원 당 봉	33-31-19.494	126-35-55.792	53278.27	162735.88			53278.27	162735.88	53278.27	162735.88	
3등삼각	1	굴18	도 두 봉	33-30-17.088	126-28-03.010	51410.64	150527.23	51411.53	150526.84	51413.03	150528.04			
3등삼각	1	굴19	극 락 봉	33-25-58.345	126-24-48.525	43466.72	145463.01			43466.72	145463.01			
4등삼각	2	굴소20	수 산 봉	33-28-15.244	126-23-00.537	47700.23	142698.77			47700.71	142696.60			
4등삼각	2	굴소21	외 도 동	33-28-45.303	126-25-23.915	48605.00	146405.65							
4등삼각	2	굴소22	홍 두 암	33-30-43.230	126-30-37.703	52196.31	154523.27			52196.31	154523.27	52196.31	154523.27	
4등삼각	2	굴소23	민 오 름	33-28-21.966	126-30-19.165	47846.78	154024.17			47846.78	154024.17	47846.78	154024.17	
4등삼각	2	굴소24	간 드 락	33-29-12.280	126-32-43.173	49379.73	157748.87			49379.73	157748.87			
4등삼각	2	굴소25	붉은오름	33-29-25.252	126-35-26.834	49761.81	161975.04			49761.81	161975.04			

급 수	읍	부 호	명 칭	위 도	경 도	최초 측량 성과		1939년재매설성과		기 존 성 과		04 년 성 과		비 고
						X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
4등삼각	2	굴소26	조 천 리	33-31-34.494	126-37-55.120	53728.98	165816.66			53728.98	165816.66			
4등삼각	2	굴소27	묘 산 봉	33-32-25.512	126-44-38.011	55269.31	176215.57			55269.31	176215.57	55269.31	176215.57	
4등삼각	2	굴소28	만 장 굴	33-31-20.813	126-46-29.797	53269.53	179094.99			53269.53	179094.99			
4등삼각	2	굴소29	두 산 봉	33-28-37.922	126-53-04.474	48234.76	189272.93			48234.76	189272.93	45234.76	189272.93	
4등삼각	2	굴소30	대수산봉	33-26-11.100	126-54-02.995	43710.24	190779.37			43710.24	190779.37	43710.24	190779.37	
4등삼각	2	굴소31	모구리봉	33-24-20.802	126-49-40.142	40321.23	183984.83			40321.23	183984.83			
4등삼각	2	굴소32	성읍 2리	33-24-43.907	126-46-20.138	41042.96	178818.96			41042.96	178818.96			
4등삼각	2	굴소33	장자오름	33-23-08.404	126-46-29.154	38100.42	179045.54			38100.42	179045.54	38100.42	179045.54	
4등삼각	2	굴소34	본지오름	33-23-01.816	126-49-17.642	37889.04	183399.39			37889.04	183399.39	37889.04	183399.39	
4등삼각	2	굴소35	달 산 봉	33-20-34.049	126-49-50.120	33335.61	184231.30			33335.61	184231.30			
4등삼각	2	굴소36	갑성이봉	33-21.26.384	126-46-51.814	34956.41	179624.53			34956.41	179624.53			
4등삼각	2	굴소37	토 산 약	33-19-06.357	126-46-28.846	30644.07	179021.43			30644.07	179021.43			
4등삼각	2	굴소38	백 려 약	33-18-10.005	126-42-49.878	28922.02	173353.60			28922.02	173353.60			
4등삼각	2	굴소39	문 섬	33-13-23.215	126-33-59.565	20134.62	159599.14			20134.62	159599.14			
4등삼각	2	굴소40	범 섬	33-12-53.512	126-30-52.914	19240.87	154762.30			19240.87	154762.30			
4등삼각	2	굴소41	우 보 약	33-16-12.368	126-24-05.374	25421.42	144244.77	25421.46	144244.61	25421.42	144244.77			39년재설미반영
4등삼각	2	굴소42	상 창 리	33-16-35.162	126-21-21.064	26148.93	139997.16			26148.93	139997.16			
4등삼각	2	굴소43	송 약 산	33-11-51.468	126-17-09.810	17451.81	133436.14	17454.58	133435.71	17451.81	133436.14			39년재설미반영
4등삼각	2	굴소44	인 성 리	33-14-52.708	126-16-40.046	23040.33	132703.91	23040.39	132703.99	23040.33	132703.91			39년재설미반영
4등삼각	2	굴소45	농 남 봉	33-16-34.114	126-11-41.888	26220.64	125010.35	26220.61	125010.33	26220.64	125010.35	26220.64	125010.35	39년재설미반영
4등삼각	2	굴소46	두 모 리	33-21-18.540	126-10-59.015	34991.47	123969.60			지리원성	과없음			
4등삼각	2	굴소47	홍 운 동	33-26-03.900	126-16-38.213	43717.57	132799.78			"	"			
4등삼각	2	굴소48	소 길 리	33-26-11.085	126-22-09.904	43883.18	141368.34			43884.17	141367.91	43884.17	141367.91	72년 재설
4등삼각	2	굴소49	돈 두 약	33-14-47.852	126-12-33.705	22936.91	126326.38			22936.91	126326.38			
4등삼각	2	굴소50	온 평 리	33-23-31.732	126-53-42.788	38801.28	190252.53			38801.28	190252.53			

부록 7. 제주지역 삼변망 조정결과

(프로그램이 틀려서 여기에 추가를 할 수가 없습니다
출력시에는 약14장 정도 됩니다)