

우리 나라 精密測地網의 同時調整

Simultaneous Adjustment of the Korea Precise Primary Geodetic Network
by Development Method

최재화* · 최윤수**

Choi, Jae Hwa · Choi Yun Soo

Abstract

In conjunction with a vertical network, horizontal geodetic control points provide the basic framework for topographic mapping and legal survey. The design of such networks as well as the technical means for obtaining their coordinates have been changed in time, and therefore Korea National Geographic Institute has planned and observed the precise geodetic network since 1975.

The aim of this study is to investigate the systematic distortions of the precise geodetic network in Korea implementing by the simultaneous adjustment. The results show that there are large discrepancies between adjusted and public coordinates in Chun-nam and Kyung-buk areas. The coordinate discrepancies are mainly due to the non-rigorous adjustment method and the disregard of the orientation unknown of the first direction for some blocks.

요 지

水平位置를 나타내는 三角點은 國土開發이나 地圖製作分野 또는 地球物理學 등에서 광범위하게 이용되기 때문에 그 網은 多目的 測地網이라 불리며, 각 나라의 基準體系에 따라 18世紀부터 設定되어 오늘날까지 유지·관리되어 오고 있다.

본 연구에서는 우리 나라 精密測地網의 조정체계를 정립하고, 정밀 1차 측지망의 관측자료(1975-1990)를 이용하여 정밀 1차 측지망의 全國 同時網 조정을 실시하여 측지망의 정확도 기준을 제시하였으며, 또한 이를 토대로 誤差 傳播狀態 및 국토의 水平地殼 變動을 파악하고자 하였다. 연구결과 일부지역에서 實用成果의 不整合이 큰 것으로 나타났으며, 측지망의 強度 강화 및 地殼變動 조사를 위한 보충관측 및 반복측량이 요망된다.

1. 서 론

測地基準點은 주로 水平位置(平面直角座標: X Y, 經緯度座標: B L)를 나타내는 三角點이나 垂直位置

(標高: H)를 나타내는 水準點 등으로 國土開發이나 地圖製作分野 또는 地籍 등의 土地管理 分野 및 地球物理學 등에서 광범위하게 이용되기 때문에 그 網은 多目的 測地網이라 불리며, 각 나라의 基準體系에 따라 18世紀부터 設定되어 오고 있다.^(1,2)

우리 나라 測地基準點(三角點)은 1910年代 1:50,

* 정희원 · 성균관대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원 · 안성산업대학교 토목공학과 전임강사

000 지형도 제작을 목적으로 三角測量 방식으로 設定되었기 때문에 測地網의 縮尺을 精確하게 확보하는 데에 어려움이 있었으며 계산량이 많아서 전국을 몇 개의 網으로 分할하여 條件式에 의하여 간략법으로 조정계산 하였기 때문에 비교적 큰 累積計算誤差를 포함하고 있다. 또한 低等級 基準點의 좌표를 交會法에 의하여 圖解的으로 결정하였고, 시일이 촉박하여 舊小三角測量 지역의 成果를 그대로 채용하였기 때문에 지역적으로 正確度의 不均等과 不整合이 존재하고 있다.(1,3,4)

우리 나라 측지망은 1910年代의 實測資料가 소실되어 당시의 測量成果를 분석, 처리하여 再調整을 실시할 수 없으며(2), 6.25 동란 등으로 많은 측지기 準點이 망실되었기 때문에 60년대에 들어와 시작된 국토 건설과 지도제작을 위한 삼각點 應急復舊사업은 기준點의 精確度에 대한 不均等을 더욱 심화시켰다.(1,4)

현대에는 電磁波 距離測定器(EDM)의 출현으로 距離를 신속·精確하게 측정하게 되어 三邊測量이 주체가 되었으며 대형컴퓨터의 개발로 좌표조정법에 의한 대규모 網의 嚴密同時網 調整이 가능하게 되었다.(5,6,7,8)

國立地理院에서는 實用成果의 精確度 향상 및 계산의 비엄밀성에 기인하는 成果의 不均等과 모순을 제거하고자 1975년부터 기존의 1,2등 三角點을 기초로 하여 精密 1次 測地網을 구성하고 三邊 측량 방식으로 정밀 1차 측지망사업을 실시하고 있으며, 1986년부터는 3,4 등 삼각點을 기초로 하여 精密 2次 測地網 사업도 실시해 오고 있다.(6,9)

향후 4,5년 내에 정밀 1차 측지망 사업이 완료되면 우리 나라 최초로 同質性을 가진 국토의 기본 골격을 精確하게 되어 지진예지 및 지각변동조사, 대축척 지도 제작 및 공공측량의 새로운 精確도기준을 제 공하게 될 것이기 때문에 정밀 1차 측지망의 同時網 調整에 대한 연구가 요망된다. 따라서 본 논문은 우리 나라 정밀측지망의 조정체계를 정립하고, 관 측된 자료(1975-1990)를 처리, 분석하여 우리 나라 측지망의 精確도 기준 및 誤差傳播狀態와 국토의 水平地殼변동을 파악하고자 하였다.

국내의 경우 평면직각좌표계 설정(10), 측지망조정 과 오차분석(11,12), 측지원점설정(13), 수준망조정(14,15),

고밀도측지망 결합조정(16), 삼각點 實用成果 갱신방 안(1), 측지기준點 유지관리(17), 정밀삼각망 성과산정 방안(18) 등에 관한 연구가 발표된 바 있다.

2. 측지망의 종합정확도

單位重量에 대한 標準偏差(σ_0)는 측정기계의 성능 과 관측의 良否에 의해 결정된다.(18,19,20,21,22) 現행 작 업규정상의 광과 거리측정기에 의한 거리측정에는 기상관측이라는 매우 중요한 요소가 있으므로 光路 상의 굴절율을 구하는 요소(온도 t , 기압 P , 수증기압 e)의 오차와 광과 거리측정기의 성능을 함께 고려 하여 측정거리의 종합 精確도를 정하고 있다. 측각의 표준精確도는 외국의 경험적 자료에 의하여 추정할 수 있으며 조정계산의 결과를 준용하고 있다.

共分散行列 Q 의 요소는 미지좌표 X_i, Y_i 의 함수 이므로 그 값이 삼각형의 형상에 좌우된다. 즉, 選 點을 할 경우에는 정삼각형의 집합이 되는 것이 바람직하고, 공분산행렬(Q)의 크기는 복잡한 圖形的 영향을 받기 때문에 측지망 전체에 대한 공분산행 렬의 크기는 網의 強度와 측정량에 의해서 결정된다. 정규방정식의 계산에서 N 개 요소중의 대각線要素가 공분산행렬이며, 망의 강도($\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$)를 구하는 방법으로는 慣用적으로 두가지 방법이 사용되고 있 다. 첫째 방법은 1점 1방향 고정에 의한 망조정에 依하여 구하는 것이다. 이 방법은 고정點으로부터 멀어질수록 공분산행렬의 값이 증가하므로 망의 강 도가 크게 구하여 진다는 약점이 있으나 계산이 簡便하고 가정조건이 좌표의 변동량에 영향을 미치 지 않는다는 장점이 있다.(23,24) 둘째 방법은 좌표변 동량을 最小化 하는 조건 즉,

$$\sum(X^2 + Y^2) = \min. \quad (1)$$

의 조건에 依하여 정규방정식의 해를 구하는 自由 網조정 방법은 $\text{Trace}(Q) = \min.$ 이 되기 때문에 기 準點망 전체의 精確도 평가에 가장 精確한 방법으로 평가되고 있으며, 각 점의 망의 강도는 내부에서는 작게, 그 주변에서는 약간 크게 나타나는 정도여서 전체적으로 平均化되는 경향이 있다.

3. 정밀 측지망측량의 조정체계

測地基準點의 實用成果는 測地座標系, 空間座標決定方法, 測量方法 및 觀測量 調整計算 등에 의하여 그 값 및 正確度를 달리 한다. 따라서 三角點의 實用成果 更新을 논하는 경우에는 測地座標系의 설정, 측량방법 및 座標調整法 등이 고려되어야 한다.

삼각점의 實用成果算出은 世界座標系상에서 우리나라의 위치를 결정하고 지오이드起伏 및 연직선편차를 고려하는 투영법을 채택하여 3次元 測地座標系와 상호변환을 용이하게 하며, 위성이나 VLBI성과 결합되어야 한다. 새로운 작업성과를 算出하기 위한 座標計算方式으로는 精密1次網의 경우에 B L 網調整計算 그리고 精密 2次的 경우에 X Y 網調整計算을 採用하는 것이 바람직하다. 精密測地網 事業이 마무리된 시점에서는 우리나라 三角點을 1次點 및 2次點으로 구분하는 방안 등도 검토되어야 한다.

우리 나라의 기설삼각점은 1910년대의 측량을 근거로 하고 있으며 6.25동란 이후의 복구측량을 거쳐 응급처치된 성과를 관리해 오고 있다. 따라서 이 실용성과의 정확도와 체계를 재편해야 할 필요성이 절실하다. 그러나 실용성과가 변경된다면 기존지도와 지적도의 재제작이나 공공측량의 결과를 재측량해야 되는 중대한 문제점이 야기되므로 신중한 고려가 필요하다.⁽¹⁴⁾

장기적인 측면에서 볼 때 정밀 1, 2차 측지기준점망으로 기설삼각망을 완전히 대체할 수 있으나 정밀 2차망의 구성이 완료되는 데에는 20여년의 기간이 소요될 것으로 예상되므로 기설삼각망의 체계를 유지하면서 성과를 갱신해 나가는 단기적인 측면을 고려치 않을 수 없다.

따라서 단기적으로 정밀측지방 조정체계를 2원화하여 측지성과를 과학기술성과(scientific network)와 부분갱신된 실용성과 2가지로 분리하는 방안이 타당할 것으로 판단되며 그 기본 방향은 다음과 같다.

(1) 과학기술성과 산출

장기적으로는 측지기준계를 완전히 바꾸어야 되므로 장기계획에 의해 정밀 1차망을 높은 정확도로 재구성하고 위성측량, VLBI 등의 신기술을 도입하여 한국원점의 정립과 새로운 망을 구축하며, 단기적으로는 실용성과의 혼란을 방지하기 위하여 이 결

과를 과학기술용 성과(scientific network)로 사용한다. 또한, 전국 규모로서 정밀 1차 측지방의 동시조정을 실시하여 측량성과에 대한 분석과 평가를 실시하고 기설 1,2등 삼각점의 정확도를 평가하며 기설 1등 삼각점에 결합한 성과를 산정하여 위성측량, 천문측량의 기초자료로 활용한다.^(2,4,25,26)

(2) 잠정실용성과 산출(부분 갱신된 실용성과)

지역별로 정밀1차망과 정밀2차망의 조합에 의해 기설삼각망의 갱신성과를 산정하고 기존성과의 체계를 유지시켜 이용분야의 혼란을 최소화하도록 한다. 따라서 기존의 좌표체계와 관리를 유지하도록 기설 1,2등 삼각점에 결합하는 방식이 채택될 수 있으며 부분적인 성과갱신의 방안이 필요하다.

현재 부정합이 심한 기설 삼각망의 성과를 갱신하기 위한 방법의 하나로써 정밀 1,2차 기준점 측량 데이터에 의해 부분적인 갱신이 가능할 것이다. 이를 위해서는 기존의 성과체계를 유지하면서 변화되는 좌표차가 최소화될 수 있는 방안이 도입되어야 한다. 따라서 部分更新의 基本方向은 다음과 같다.⁽¹⁾

① 精密 1次網의 觀測값에 의하여 각종 網調整計算을 實施, 變動벡터圖를 작성하고 固定點을 選定한다.

② ①의 固定點에 實用成果를 부여하여 재차 網調整計算을 實施, 그 網調整計算에 의한 座標를 精密 1次點의 實用成果로 한다.

③ ②에 의하여 算出된 精密 1次點의 實用成果와 精密 2次網의 觀測값에 의하여 精密 2次網의 각종 網調整計算을 實施, ①에서와 같이 變動벡터圖를 작성하고 固定點을 選定한다.

④ ① 및 ③에서 선정된 精密 1次 및 2次 固定點을 이용하여 재차 網調整計算을 實施, 그 調整計算에 의한 座標를 精密 2次點의 實用成果로 한다. 지역에 따라서는 기설 3, 4등 삼각점이 구소삼각점을 포함하고 있고, 망실된 점이 상당량에 이르고 있기 때문에 2차망을 기설 1,2등 삼각점에 결합하는 것이 타당하다.

따라서, 부분갱신에는 1차망과 2차망을 조합하여 기설 1,2등 삼각점에 결합하는 가장 단순한 고정망 방식이 합리적이며 하나의 성과가 관리될 수 있는 장점이 있다. 그러나 전국 규모의 동시조정에 의한

전면 갱신이 아닌 지역적인 부분갱신이므로 접합부에서는 미소한 차이가 나타날 수 있는 점에 유의해야 한다.

4. 정밀 1차 측지망의 동시조정

4.1 관측의 개요

1960년대 후반에 이르러 지도제작과 각종 공공측량의 활성화에 따라 망실된 삼각점의 응급복구사업이 중점적으로 추진되어 왔으나 국지적이고 응급 조치적인 복구사업으로써는 삼각점의 효과적인 정비를 기할 수 없을 뿐만 아니라 그 정확도의 부정합성이 확대, 기증되는 결과를 초래하였다.

따라서 국립지리원에서는 1975년부터 전국에 균등하게 배점된 1200 여점의 1등 삼각점과 2등 삼각점을 기초로 하여 정밀 1차 측지망을 구성하고, 1차 기준점망에 포함된 모든 변을 측정하는 삼변측량방식으로 정밀 1차 측지망사업을 실시해 오고 있다. 평균변장은 10Km이나 일부에서는 그 이상이 되는 것도 있다.

측지망 전체의 목표정확도는 자유망 조정할 때의 정규방정식의 노름(norm) 최소해에 의하여 얻어진 분산-공분산행렬의 대각요소 평균치의 제곱근(즉 표준편차)을 채용하고 있으며, 그 상한 좌표오차는 3cm이다.

1975년부터 1990년까지 시행된 정밀 1차 기준점측량은 Range Master(1976-78), Range Master II, III(79년후), AGA의 G-6,000(1990년이후)으로 거리관측을 실시하였으며, 연직각은 Wild T3를 사용하여 쌍방에서 동시관측을 실시하였다.

1990년까지 실시된 총 관측점 수는 790점이고, 총 관측변의 수는 약 2300변, 평균변장은 10.8km이다.

4.2 예비 조정

관측자료의 양부를 판별하고, 작업구역별로 망의 정확도 및 강도를 파악하여 블럭별 분석 및 전국 동시망조정을 실시하기 위한 기초자료를 확보할 수 있도록 BL망에 의한 연도별조정을 실시하였다. 이때, 조정에 앞서 망의 幾何學的인 배치와 안정성을 검토하고 측정번호와 데이터 입력의 실수를 파악하기 위하여 망도를 도시하고 검토한 결과, 局部的으

로는 다소 강도가 약한 부분이 있었으나 조정계산에는 모두 기하학적으로 안정된 상태에 있다(그림 1 참조).

연도별(작업구역)로 관측하여 보정계산 및 점검계산 등을 실시한 現地計算의 내용과 初期座標(完全點 및 復舊點의 초기좌표는 成果表 좌표) 및 관측자료로부터 작업규정상의 중량을 적용하여 Apollo DN3010으로 조정 계산을 실시하였다(표 1 참조).

정밀 1차 기준점측량의 단위중량에 대한 표준편차 σ_0 는 최소 0.78", 최대 1.39"이고, 평균 1.26"로서 작업규정 제한치 1.0"를 초과하며, 평균위치 정확도는 4.46Cm로 목표정확도 3Cm보다 크게 나타났다.

작업구역별로 경사거리를 수평거리로 보정하고

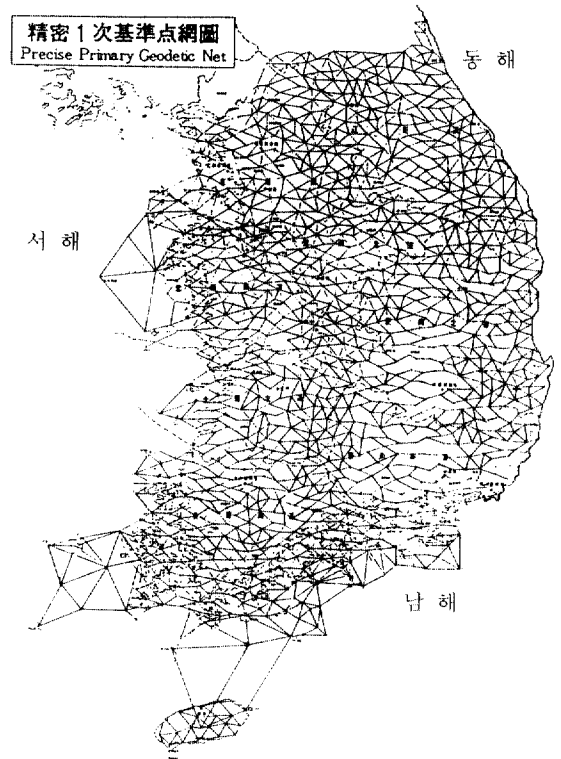


그림 1. 정밀 1차 기준점망도.

표 1. 작업규정상의 관측치 중량

구분	m_s	m_v	r
정밀1차측지망	1".0	0.5Cm	2×10^{-6}

표 2. 불력조정 결과

구 분	미지점수	관측변수	σ_0	σ_s	Trace(Q)/n
블럭 I	169	463	2".27	5.13Cm	0.037m
블럭 II	228	609	1".48	3.33Cm	0.063m

수평거리를 평균해면상의 거리로 투영하기 위하여 연직각의 동시관측 자료에 의한 高低網(H망) 조정을 실시하였다.

연도별 조정의 오류를 방지하고 일부 관측자료의 信賴度를 검토하고자 블럭 I(77년도, 78년도, 80년도), 블럭 II(86년도, 87년도, 90년도)를 구성하여 조정한 결과, σ_0 가 다소 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 관측구역별로 조정을 실시하는 데에 문제점을 안고 있으며 작업구역별 連結地域에 대한 관측상의 문제점도 검토되어야 함을 알 수 있다. 또한 평균좌표오차는 약 5cm에서 10cm로 증가하며 거리의 산차가 허용치를 초과하는 경우도 증가함을 알 수 있었다(표 2 참조).

이는 망의 강도를 증대시키기 위한 보충관측이 국부적으로 실시되어야 하며, 작업구역 단위의 연결지역에 대한 중복관측 및 광과거리측정기들의 동시검정, 초기값의 선택이나 기지점에 대한 엄밀한 분석이 요망된다고 할 수 있다.

4.3 동시조정

4.3.1 전개법에 의한 동시조정

본 논문에서는 좌표를 결정하고자 하는 측지기준점의 數가 790점(미지수 1580개)으로 正規方程式의 未知數를 구하는 데에 필요한 기억용량이나 연산회수가 막대하기 때문에 대형컴퓨터를 이용하여 전국 동시망조정을 실시하는 것보다 슈퍼컴퓨터(예: CRAY 2S)를 이용하는 것이 경제적이고 신속하다. 따라서 B L 망 프로그램을 CRAY 2S의 OS에 맞게 수정·보완하였으며, 스칼라 프로그래밍보다 연산속도가 빠르고 효율적인 벡터 프로그래밍으로 同時網調整을 실시하였다.^(27,28)

전국 동시망조정 계산은 1점 1방향 고정에 의한 조정을 실시하였으며, 自由網조정도 실시하였다. 1점 1방향 고정의 경우 完全, 復舊點의 初期値로 成果表상의 좌표를 이용하였으며, 대규모 측지망은 그 자체에 방향요소를 가지고 있기 때문에 방향을 고

표 3. 전국동시망 조정결과

方法	σ_0	$\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$	邊觀測數	未知點數
自由網	1".74	0.062m	2235	789
1점1방향 고정	1".74	0.907m	2235	788

정하기 위하여 原方位角에 중량 1000을 부여하였다.

예비조정과 불력조정 과정에서 점검되지 않았던 거리관측값(부안 삼각점 21과 군산 삼각점 21)의 조정산차가 0.299 m로 관측제한치 0.6S(S:관측거리)를 크게 초과하기 때문에 조정계산에서 제외하였으며, 나머지 0.4S(S: 관측거리)를 초과하고 0.6S를 초과하지 않는 관측치들은 전체 10 % 이내이므로 사용하였다.

표 3에서 보는바와 같이 단위중량의 표준편차(σ_0)가 1".74 이고, $\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$ 의 값이 예상치를 크게 상회하는 것은 측지망 외곽(해안지역)의 기하학적 조건이 불량하기 때문이다. 관측에 앞서 망의 강도를 계산하여 취약부분에 대한 국부적인 망의 강도강화를 위하여 각이나 변장관측을 추가하거나 3등삼각점의 정밀1차망 이용이 필요하다. 1점 1방향 고정에 의한 조정결과 조정좌표의 표준오차가 최대 3.0 m이고, 평균 위치오차가 1.583m, $\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$ 가 0.907m/초이다. 자유망 조정 결과 $\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$ 가 0.062m/초, 평균 위치오차가 0.108m이다(표 3 참조).

그림 2는 자유망 조정결과를 이용하여 기설삼각점 중에서 完全, 復舊點의 實用成果와 조정좌표와의 좌표변동 벡터를 그림으로 나타낸 것으로 전국적으로 現實用成果의 不整合과 正確度의 不均等을 보여 준다(그림 2 참조). 그림 3은 1 점 1방향 고정에 의한 조정결과와 現實用成果와의 좌표변동벡터圖이다. 서남해안지역 및 영동, 영남지역에서 변동벡터가 최대 15m에 이르고 있다(그림 3참조).

4.3.2 천문방위각을 고려한 동시조정

측지망을 설정할 때에 측지망의 비틀림을 방지하기 위하여 200 km정도 간격으로 천문방위각을 관측하는 라플라스점을 1점씩 배치하는 것이 일반적이다.⁽⁵⁴⁾ 우리 나라에서도 1976년부터 1·2등 삼각점에서 天文測量을 실시해 오고 있다. 현재까지 정밀1

표 4. 천문방위각

	천문위도	천문경도	측지위도	측지경도	천문방위각
1	355842.597	1281939.441	355831.122	1281944.368	1031532.033
2	362303.968	1284250.800	362252.453	1284259.064	1700217.040
3	370253.127	1271019.466	370244.228	1271026.420	3181128.810
4	372659.122	1291101.754	372641.924	1291053.889	2224923.173
5	362118.779	1280630.332	362108.457	1280635.212	970430.598
6	362218.302	1292334.640	362208.091	1292327.825	2035311.742
7	365714.262	1292505.529	365701.190	1292455.673	2952257.168
8	364526.845	1262941.783	364515.507	1262949.199	2945204.124
9	364654.428	1265526.292	364640.253	1265532.566	2080930.125
10	355659.434	1270659.607	355648.852	1270707.855	1930606.199
11	371258.945	1270347.642	371247.466	1270354.886	812808.014
12	360613.814	1273326.634	360601.007	1273333.701	1601815.027
13	371631.903	1270305.145	371623.160	1270312.038	1705818.190
14	353513.589	1280934.018	353501.685	1280930.882	2535658.542
15	355604.461	1292606.424	355550.956	1292602.377	411042.747

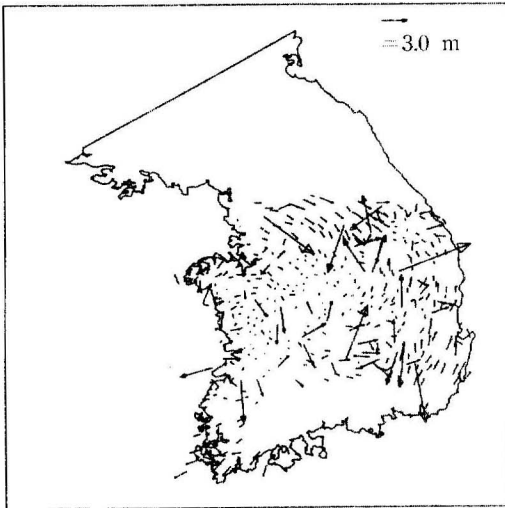


그림 2. 전국 동시망조정에 의한 좌표변동벡터도(자유망조정결과실용성과)

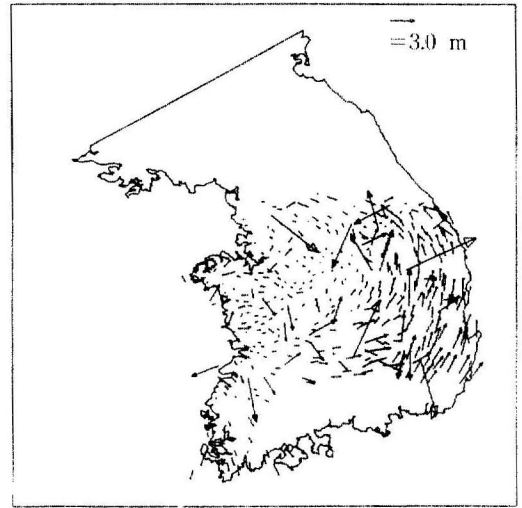


그림 3. 전국 동시망조정에 의한 좌표변동 Vector도(1점1방향고정-실용성과)

차 측지망의 기준점수를 비교하면 적정한 密度로 라플라스점이 배치되어 있지 않으나 1990년까지 관측된 자료를 이용하여 측지망조정을 실시하였다.^(29,30)(표 4 참조)

관측된 천문방위각을 測地方位角으로 변환하였으

며, 측지방위각의 중량을 계산하기 위하여 식 (2)를 이용하였다. 측지방위각의 중량은 정밀 1차 측지망의 1방향의 單位重量的 標準偏差(σ_0)가 1".0 이므로 다음과 같다.

$$P_A = \frac{\sigma^2}{\sigma_A^2} = \frac{(1.0 \times \sqrt{2})^2}{0.3^2} = 20 \quad (2)$$

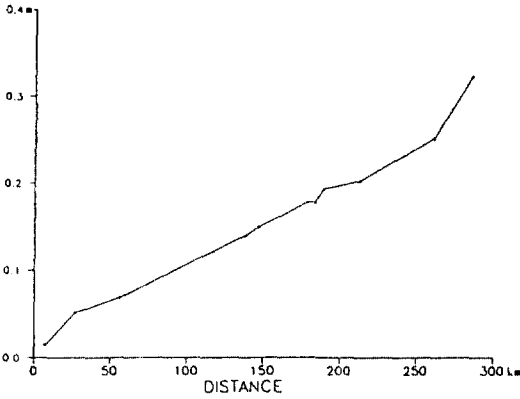


그림 4. 방위각 변화에 따른 축지망의 강도변화(방위각 9개)

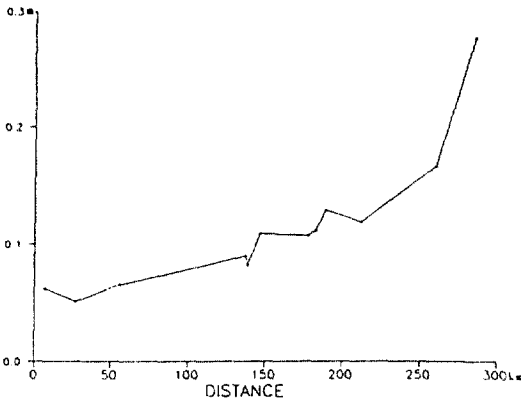


그림 5. 방위각 변화에 따른 축지망의 강도변화(방위각 15개)

15개의 축지방위각을 적용하여 조정된 결과 σ_0 가 3".0, $\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$ 가 0.145m로 σ_0 가 매우 크게 나타나 조정장차가 0".5보다 큰 6개의 축지방위각을 제외하고 조정을 실시하여 σ_0 가 1".77, $\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$ 가 0.178m인 결과를 얻었다. 이 결과는 전개법에 의한 결과와 일치하며 라플라스점의 密度에 따른 축지망의 강도변화를 알 수 있다. 즉 라플라스점은 축지망의 비틀림방지 뿐만 아니라 축지망의 強度 강화에도 대단히 유효하고, 1점 1방향 고정에 의한 조정결과보다 평균위치오차도 1.583 m에서 0.178 m로 80 % 이상 감소되었다(그림 4, 5 참조).

라플라스점을 이용한 조정결과와 실용성과와의 좌표변동 벡터도는 그림 6과 같이 1점 1방향 고정에 의한 결과보다 실용성과의 차이가 작았고, 좌표변동량의 최대값은 7m이다.

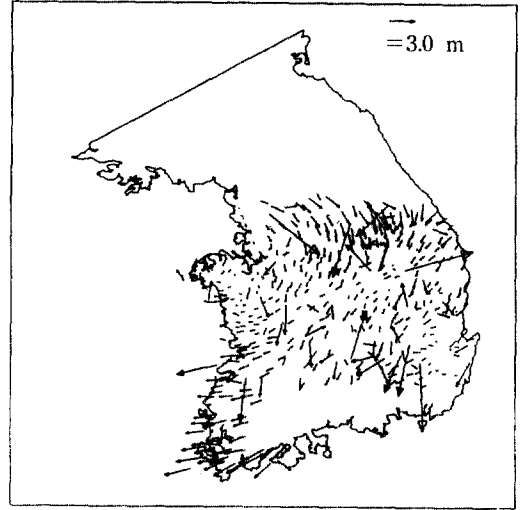


그림 6. 천문방위각을 고려한 조정에 의한 좌표변동도 (1점g방향고정-실용성과)

5. 결과고찰

5.1 예비 조정결과 고찰

우리 나라는 1910년대의 측량관계 자료가 모두 소실되어 축지망에 대한 분석자료가 거의 없고, 체계적인 복구사업을 실시하지 않고서 응급조치식으로 처리해 온 관계로 정밀 1차 기준점 측량 작업규정의 각종 제한 및 정확도 등을 외국의 경험적 자료에 기초하여 준용하고 있는 실정이다. 따라서 지금까지 관측된 실측자료를 이용한 作業規程의 수정과 보완이 필요하다.

현재까지 실시된 정밀 1차 축지망은 관측년도에 선점과 답사를 동시에 실시하기 때문에 실측과정에서 여러 문제점을 안고 있다.

즉, 국부적으로 기하학적 망의 강도가 불안하고 $\text{Trace}(Q)/n$ 의 값이 다소 크다. 이는 주로 1:50,000 지형도상에서 시각적 판단에 의하여 선점을 실시하고, 1, 2등 삼각점을 위주로 1차 축지망을 구성했기 때문이다. 따라서 관측 전에 시물레이션에 의한 망의 강도를 계산하고 국부적으로 강도가 약한 곳에 대한 각관측이나 거리관측을 추가하거나 3등 삼각점의 이용이 필요하다. 특히 현지계산, 작업시기, 관측시각을 준수하고, 연직각 쌍방관측을 반드시 실시해야 할 것이다.

작업구역별 조정계산 결과와 블록조정 결과를 분석하면 예비조정계산을 작업 구역별로 실시하지 말고, 인접 작업구역과 블록을 구성하여 조정하는 것이 타당하고 일부 지역에 대해서는 관측량 추가에 의한 망의 強度증대 및 작업구역의 연결지역에 대한 중복관측이 필요함을 보여주고 있다. 관측기간의 장기화(20년)로 인한 관측장비의 변화와 관측성과의 비균질성을 극소화 하기위한 5-10년 주기의 측지망 반복관측이 요망된다.

5.2 전국 동시망조정결과 고찰

전개법에 의한 자유망조정 결과 우리 나라 전역에서 현 實用成果의 不整合이 크게 나타나고 있으며 최대 10 m에 이르고 있다. 또한 1점 1방향 고정에 의한 조정결과 실용성과의 변동벡터가 최대 15 m로 現業에서의 측지망에 대한 문제 제기가 다소 타당함을 알 수 있다.

측지망 외곽에 위치한 점에 의한 測地網 強度 약화방지 및 정확도 향상을 위하여 精密 트래버스 측량을 실시하고 지진예지 및 지각변동 조사에 필요한 자료축적을 위하여 반복관측(5-10년)을 실시해야 한다.

천문방위각을 이용한 전국 동시 조정결과 우리 나라 라플라스점의 밀도가 상대적으로 낮음에도 불구하고 측지망의 비틀림 방지 및 측지망 강도 강화에 대단히 효과적임을 알 수 있다. 그러나 조정잔차가 크게 나타난 천문방위각 성과에 대한 보다 체계적인 검토와 라플라스점의 최적밀도에 대한 연구가 필요하다. 측지방위각으로 변환과정에 대한 검토 및 방위각의 중량결정에 필요한 관측자료의 체계적 분석이 시급하다.

라플라스점 및 GPS 등을 이용하여 零等 三角點을 설정하여 측지망의 방위각 및 축척오차를 극소화하고 정밀 1차 측지망에 GPS 측위관측의 도입, 실용화를 위한 모델관측 및 연구가 요망된다.

6. 결 론

본 研究에서는 우리 나라 精密測地網의 調整體系를 정립하고, 측지망의 정확도 기준 및 오차 전파 상태, 국토의 水平地殼 변동을 파악하고자 관측된

(1975-1990)자료를 이용하여 精密 1次 測地網의 全國 同時網 調整을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 精密 1次 測地網의 年度別 조정계산 결과, 單位重量에 대한 標準偏差(σ_0)의 평균치는 1"26, 平均位置誤差가 4.40 Cm이고, 전국 동시망조정 결과, σ_0 는 1"74 평균 위치오차가 10.8 Cm로 평가되었다.

2) 自由網에 의한 전국 동시조정 결과와 1점 1방향 고정에 의한 전국 동시조정 결과를 분석하면 전국적으로 실용성과의 不整合이 큰 것으로 사료된다.

3) 라플라스점을 이용한 동시조정 결과 平均位置誤差가 1점 1방향 고정에 의한 조정결과보다 1/5로 감소 되었으며, 변동벡터도 감소되었다. 라플라스점은 측지망의 비틀림 방지 뿐만 아니라 측지망의 強度 강화에도 대단히 효과적임을 알 수 있었다.

이상의 결론을 종합하여 다음과 같이 提言하고자 한다.

(1) 일부지역의 測地網 強度 강화를 위한 觀測量 추가와 보충관측 및 작업구역 연결지역의 중복관측이 필요하다. 측지자료 축적 및 지각변동 조사를 하기 위한 정밀 1차 측지망의 反復測量(5-10年週期)을 실시하는 것이 시급하다고 사료된다.

(2) 새로운 測地座標系에 의한 정밀 1차 및 2차점의 實用成果는 지오이드의 起伏을 고려하여 정밀 1차망에 있어서는 B L網調整에 의한 전국 동시망 조정으로 실용성과를 산출하고, 정밀 2차망은 X Y網調整에 의한 전국 동시망조정에 의하여 실용성과를 산출하는 것이 바람직하다.

(3) 장기적으로 한국원점 성과의 구축에는 정밀 1차망의 재정비와 새로운 GPS 망의 구성을 통한 망의 강화와 정확도 향상이 필요하며, 단기적으로는 새로운 측지좌표계에 의한 실용성과가 산출될 때까지 현삼각점의 실용성과를 정밀 1차 및 2차 기준점 측량성과를 사용하여 지역에 따른 성과의 변동을 극소화하는 방향으로 部分更新하여 暫定實用成果로 사용하고, 정밀 1차망 同時 調整成果를 科學技術成果(scientific network)로 관리한다.

감사의 글

본 연구에 이용된 귀중한 자료제공 및 많은 조

언을 해 주신 국립지리원 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 최재화, 김세걸, 최윤수, 우리 나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구, **한국측지학회지**, 8(1), pp. 1-13, 1990.
2. Crane, S. A., *Geodetic Control Networks: accuracy, reliability, and systematic errors*, University of Nottingham, ph. D Thesis, 1980.
3. 朝鮮總督部 臨時土地調査局, 朝鮮土地調査 事業報告書, 版印刷(株), 東京.
4. 최윤수, 우리 나라 정밀측지망의 동시조정에 관한 연구, 성균관대 대학원 박사논문, 1991.
5. 白井康友, 川口保, 測地觀測量總合網平均に關する研究(第2年次), 日本建設省 國土地理院 研究年報, 1990.
6. 국립지리원, 측량심의회 자료 pp.1-30, 1987-1988.
7. Bomford, G., *Geodesy*, Oxford-University Press, 1980.
8. 백은기, 이영진, 최윤수, 경위도 좌표에 의한 측지망의 동시조정, **대한토목학회 논문집**, 5(4), pp. 121-127, 1985.
9. 국립지리원, 정밀 1차 기준점측량 작업규정, 1987.
10. 최재화, 우리나라 평면직각좌표에 관한 연구, **한국측지학회지**, 1(2), pp. 42-59, 1983.
11. 백은기, 김원익, 최윤수, ϕ , λ 망과 X, Y망의 동시조정에 관한 연구, **한국측지학회지**, 4(1), pp. 25-31, 1986.
12. 홍성영, 측지측량에 관한 연구 보고서, 일본국 건설성 국토지리원, 1987.
13. 안철호, 우리나라 정밀측지망의 설정에 관한 연구, 국립지리원, 1985.
14. 이석찬, 조규전, 고영호, 이영진, 우리나라 1등 수준망의 조정계산, **한국측지학회지**, 5(2), pp. 12-23, 1987.
15. 김원익, 우리 나라 측지수준망의 조합조정에 관한 연구, 서울시립대 대학원, 박사논문, 1990.
16. 이영진, 고밀도 측지망의 결합조정에 관한 연구, 한양대 박사논문, 1989.
17. 유복모, 측지기준점 유지관리에 관한 연구, 국립지리원, 1991.
18. 최재화, 정밀삼각망의 성과산정 방안에 관한 연구, 국립지리원, 1992.
19. M. A. R. Cooper, *Control Surveys in Civil Engineering*, Collins, 1987.
20. 日本測量協會, 現代測量學: 第4卷(測地測量①), 大日本印刷(株), 東京, 1983.
21. J. D. Bossler and N. Bodnar, *Redifinition of The North American Networks*, 1988.
22. Federal Geodetic Control Committee(J. D. Bossler, chairman), *Standards and Specifications for Geodetic Control Networks*, NOAA, 1984.
23. Mittermayer, E., A Generalization of The Least Squares Method for The Adjustment of Free-Networks, *Bulletine Geodesique* pp. 139-157, 1972.
24. 日本測量協會, 精密 基準點測量, 東京, 1980.
25. 日本測地學會, G P S, 日本測量協會, 東京, 1989.
26. 吉村好光, 白井康友, VLBIによる測地網の規正, 國土地理院 時報 NO. 69 pp. 1-4, 1988.
27. Harada, T., Universal Program for Adjustment of Any Geodetic Networks consisting of Distance, Azimutus, Angles and Direction Observation and Satellite Doppler Observation by Short Arc Method, *Proceeding of the General meeting of the I. A. G. Tokyo* pp. 103-109, 1982.
28. Tewarson, R. P., *Sparse Matrices*, Academic Press, 1973.
29. 宮井猛, 天文方位角(ラプラス點)の密度について, 日本國土地理院 内部資料, 1986.
30. 西修二郎, 日本の天文ジョイトについて, 國土地理院時報, NO. 55, pp. 29-38, 1981.
31. 백은기, 목찬상, 이종혁, 우리 나라 천문지오이드에 관한 연구, **한국측지학회지**, 3(1), pp. 11-17, 1985.
32. K. Komaki, *The Readjustment of The Meiji First Order Triangulation Network by The Projection Method*, Japan G. S. I., 1985.

(接受: 1993. 1. 13)