

1, 2등 국가삼각점의 실용성과 정밀산정 Precise Determination of the Geodetic Primary Framework of Korea

崔在和* · 崔允秀**

Choi, Jae-hwa · Choi, Yun-soo

要 旨

본 연구에서는 국립지리원에서 20여년간(1975-1994) 관측한 정밀 1차 측지망 자료를 연도(작업구역)별, 블록별로 조정하여 전산처리에 필요한 데이터 Set로 구축하고, 전국 동시망 조정을 실시하여 우리 나라 측지망의 정확도 평가 및 오차전파 상태, 국토의 水平地殼변동을 파악하였다. 이를 토대로 우리 나라 최초의 동질성 있는 정밀 1차 기준점(1, 2등 삼각점)의 실용성과 (기준점 좌표 94)를 산정 제시하였다.

ABSTRACT

In order to provide the new official coordinates set of Korean Geodetic Primary Framework, the data of Precise Primary Geodetic Network (PPGN) were reviewed and validated in the project and block adjustment stage. Moreover PPGN data set was constructed for various computer processings.

The simultaneous least squares adjustment was carried out to assess the net strength, local weakness and accuracy of PPGN and to evaluate the horizontal displacements of the region of Korean peninsula. Finally, the precise horizontal coordinates set of 1st and 2nd order triangulation points of Korea was computed and presented.

1. 서 론

측지기준점(삼각점, 수준점)은 우리 나라 근대화 과정에서 지도제작, 지적측량, 각종 국토의 계획 및 개발사업, 방제사업 등에 국토의 정확한 수평위치와 높이의 기준을 제공하여 국가발전에 크게 기여를 해 왔다.^{1,2,3)}

최근 국가경쟁력 강화를 위한 도로, 철도, 항만, 공단 등 사회간접자본에 대한 투자가 대폭 확대됨에 따라서 국토의 고밀도 개발이 더욱 가속화되고 있다. 또한 지방화 시대를 맞이하여 지방자치 단체에서도 지역발전, 지역주민의 민원해결을 위한 토지개발사업, 방제사업, 환경문제 해결 등 여러 사업을 추진하여 각종 건설공사가 활발하게 진행되고 있다.

따라서 측지기준점 좌표는 토지정보에 대한 기초정보로서 활용도가 더욱 높아지고 있으며, 최근 우주측지기술(GPS, VLBI, SLR, SAR)의 실용화에 따라서 새로

운 기술환경 및 국제화, 정보화 사회에 적합하고 정확한 기준점 성과가 요구되고 있다. 특히, 인공위성 및 첨단무기의 개발, 기상이변, 해면상승 등 지구환경에 관한 국제공동연구, 수치지도 제작, 지적측량, 각종 공공사업 등 위치정보를 필요로 하는 부분에 보다 더 정확한 국토위치의 제공이 시급한 당면 과제이다.

그러나 현재 국립지리원에서 유지관리하고 있는 국가 기준점 성과는 1910년대에 실시된 조선토지조사사업 성과를 근간으로 하고 있다. 우리 나라 측지기준점(삼각점)은 1910년대 1:50,000 지형도 제작을 목적으로 삼각측량 방식으로 설정되었기 때문에 측지망의 축척을 정확하게 확보하는 데에 어려움이 있었으며 전국을 몇 개의 망으로 분할하여 조건식에 의하여 간략법으로 조정계산 하였기 때문에 비교적 큰 누적계산오차(Distortion)를 포함하고 있다. 그 당시 시일이 촉박하여 구소삼각측정 지역의 성과를 그대로 채용하였기 때문에 지역적으로 정확도의 불균 등과 부정합이 존재하고 있다.^{4,5,6)}

또한 한국전쟁 등으로 많은 측지기준점이 망실되어

*성균관대학교 공과대학 교수

**국립안성산업대학교 교수

60년대에 들어와 시작된 국토 건설과 지도제작을 위한 삼각점 응급복구사업은 기준점의 정확도에 대한 불균 등을 더욱 심화시켰다.

국립지리원에서는 실용성과의 불균등과 모순을 제거 하고, 보다 정확한 기준점성과를 확립, 제공하기 위하여 1975년부터 기존의 1, 2등 삼각점을 기초로 삼변 측 량방식으로 정밀 1차 측지망사업을, 1986년부터 3, 4등 삼각점을 기초로 하여 정밀 2차 측지망 사업을 실시해 오고 있다.

1994년 전국적인 정밀 1차 측지망 관측사업이 완료 되어, 우리 나라 최초로 정밀 1차 측지망의 동시망 조 정에 의한 동질성을 가진 국토의 기본 골격을 확보하게 되어 우주개발, 지구환경조사, 대축척 수치지도 제작, 지적재조사 사업 및 공공측량의 새로운 정확도 기준을 제공하게 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 국립지리원에서 20여년간 (1975~1994) 관측한 자료를 1)연도(작업구역)별, 블록 별로 조정하여 관측자료를 검토,분석하고, 이를 전산처 리에 필요한 데이터 Set로 구축하고, 2)이를 토대로 전 국을 단일망으로 구성하고 조정,분석하여 우리 나라 측 지망의 정확도 기준 및 오차전파 상태, 국토의 수평지 역변동을 파악하였으며, 3)마지막으로 정밀 1차 기준 점(1, 2등 삼각점)의 실용성과 (기준점 좌표 94)를 산정 하고 제시하였다.

2. 실용성과 산정의 기본방향

2.1 성과 산정의 기본방향

우리 나라의 기설 1, 2등 삼각점은 1910년대의 측지 측량에 근거하고 있으며 한국전쟁 이후 삼각점 복구사 업을 거쳐 조선토지조사 사업 당시의 성과관리(완전점, 복구점)체계를 유지, 관리해 오고 있다.

1, 2등 삼각점 실용성과는 그 당시 측량성과에 많은 문제점이 있음이 밝혀졌으며 한국전쟁 이후 망실된 삼 각점 복구사업은 단지 반석이 존재하는 삼각점에 주석을 재설치하는 작업으로 재측량 및 삼각점 이동에 대한 체계적인 조사를 하지 않은 단순한 삼각점 표석의 물리 적인 복구사업이다.^{1,2,7,8,9,10)} 따라서 GPS, VLBI, SLR 등 우주측지 기술 및 수치지도, GIS가 실용화된 현재의 기 술측면에서 보면 설정 된지 80년이 지난 1, 2등 삼각점 의 정확도와 체계를 이용하는 데에는 많은 문제점이 있

으므로 시급히 재편해야 한다.

그러나 외국의 측지망 성과갱신 사업(미국, 영국) 및 연구(일본)결과를 고찰하면 실용성과가 변경될 경우 전 국(미국), 또는 일부 지역의 기존지형도와 지적도의 재 제작이나 공공측량의 결과를 재조사해야 되는 중대한 경제적, 사회적 문제가 발생하므로 신중한 대처가 필요 하다.^{11,12,13,14,15)}

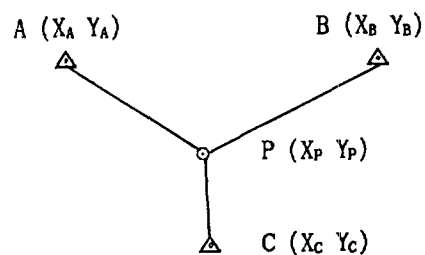
장기적인 측면에서 볼 때 정밀 1, 2차 기준점망(EDM 및 GPS 관측)으로 기설삼각망체계를 한국원점 체계로 완전하게 대체할 수 있으나 정밀 2차망의 구성이 완료되 는 데에는 현재의 예산과 사회적 관심으로는 향후 20여 년의 기간이 소요될 것으로 예상되므로 기설삼각망의 체 계를 유지하면서 성과를 갱신해 나가는 단기적인 측면을 고려하지 않을 수 없다. 따라서 단기적으로 성과 산정방 향은 기존 기준점 체계를 유지하면서 기준점의 정확도를 향상시키는 즉, 기설 삼각점(안정점)에 결합조정하는 방 안이 타당할 것으로 판단된다.^{9,10,16,17)}

본 연구에서는 1, 2등 삼각점의 성과를 산정하는 방법 으로는 92, 93년 측지연구에서 제시된 대로 기존의 체계 가 유지되고 조정결과의 정확도가 향상된 기설 1, 2등 삼각점을 고정하는 방식을 채택하였다.

2.2 정확도 기준

2.2.1 미지점의 위치오차 근사식^{18,19)}

삼각측량의 체계(1등-2등-3등-4등)를 고려하여 근사 적으로 미지점 위치오차는 다음과 같이 추정할 수 있 다. Y형 다각망에 대하여 근사계산으로 위치를 구했다 고 가정하면



단, 기지점 A, B, C의 眞位置 (X_A, Y_A) (X_B, Y_B) (X_C, Y_C)
미지점의 眞位置 (X_P, Y_P)

이 때 기지점 실용성과를 (X'_A, Y'_A) , (X'_B, Y'_B) , (X'_C, Y'_C) 라 하면 기지점좌표는 $dXA, dYA, dXB, dYB, dXC,$

dY_C의 위치오차를 가지고 있기 때문에 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X'_A &= X_A + dX_A \\ Y'_A &= Y_A + dY_A \\ X'_B &= X_B + dX_B \\ Y'_B &= Y_B + dY_B \\ X'_C &= X_C + dX_C \\ Y'_C &= Y_C + dY_C \end{aligned} \quad (2-1)$$

미지점과 기지점간의 노선에 따라서 실시한 측량(각, 거리)에 기초하여 구한 위치는

- A-P 노선 ($x_A y_A$)
- B-P 노선 ($x_B y_B$)
- C-P 노선 ($x_C y_C$)

각각의 관측오차에 의한 위치오차를 $dX_A dY_A dX_B dY_B dX_C dY_C$ 라 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_A &= X_P - X_A + dX_A \\ y_A &= Y_P - Y_A + dY_A \\ x_B &= X_P - X_B + dX_B \\ y_B &= Y_P - Y_B + dY_B \\ x_C &= X_P - X_C + dX_C \end{aligned} \quad (2-2)$$

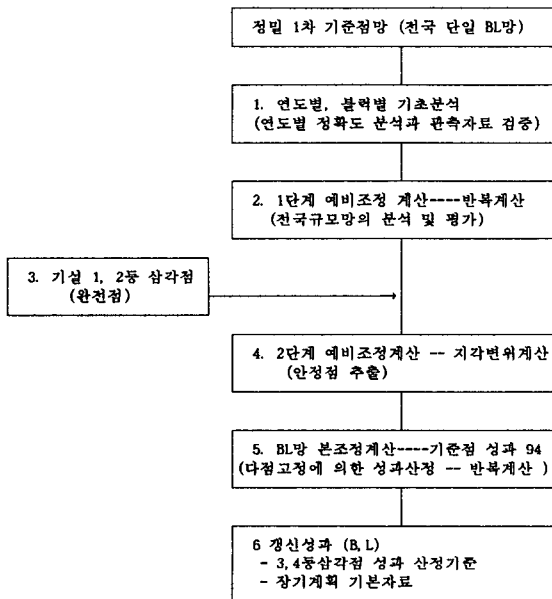


그림 1. 1, 2등 삼각점의 성과산정 체계

$$y_C = Y_P - Y_C + dY_C$$

또한, 기지점 A', B', C' 에 기초하여 P'(X_{p'}, Y_{p')}의 위치를 단독으로 구하면

$$\text{A'에서; } X'_P = X'_A + dX_A \quad (2-3)$$

$$Y'_P = Y'_A + dY_A$$

$$\text{B'에서; } X'_P = X'_B + dX_B \quad (2-4)$$

$$Y'_P = Y'_B + dY_B$$

$$\text{C'에서; } X'_P = X'_C + dX_C \quad (2-5)$$

$$Y'_P = Y'_C + dY_C$$

(2-3), (2-4), (2-5)식의 결과는 일치하지 않기 때문에 단순하게 산술평균한다.

$$X'_P = X'_A + x_A + X'_B + x_B + X'_C + x_C / 3$$

$$Y'_P = Y'_A + y_A + Y'_B + y_B + Y'_C + y_C / 3$$

위 식을 (2-1), (2-2)식을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$X'_P = X_P + (dX_A + dX_B + dX_C) / 3 + (dx_A + dx_B + dx_C) / 3$$

$$Y'_P = Y_P + (dY_A + dY_B + dY_C) / 3 + (dy_A + dy_B + dy_C) / 3$$

X_p, Y_p가 P의 진위치이므로, 오차는 다음과 같다.

$$dX'_P = (dX_A + dX_B + dX_C) / 3 + (dx_A + dx_B + dx_C) / 3$$

$$dY'_P = (dY_A + dY_B + dY_C) / 3 + (dy_A + dy_B + dy_C) / 3$$

이 때 $dX_A, dX_B, dX_C, dx_A, dx_B, dx_C, dY_A, dY_B, dY_C, dy_A, dy_B, dy_C$ 는 각각 독립이기 때문에 오차전파법칙에 의하여

$$mX_{p'}^2 = 1/9 (mX_A^2 + mX_B^2 + mX_C^2 + mx_A^2 + mx_B^2 + mx_C^2)$$

$$mX_A^2 = mX_B^2 = mX_C^2 = \sigma X_A^2$$

$$mx_A^2 = mx_B^2 = mx_C^2 = \sigma X_A^2 \text{라 하면}$$

표 1. 기설 삼각점의 정확도

구 분	1등삼각	2등삼각	3등삼각	4등삼각
평균거리	30 km	10 km	5 km	2.5 km
수평위치오차	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
상대정확도	1/300,000	1/100,000	1/50,000	1/25,000
측각정확도	0.67초	2초	4.1초	8.2초

표 2. 정밀 측지망의 목표정확도

구 분	정밀1차	정밀2차
평균거리	10 km	2.5 km
수평위치오차	3 cm	3 cm
상대정확도	1/330,000	1/83,000
측각정확도	1.0초	1.6초

표 3. 전국단일망 구성내용

작업년도	삼각점수	관측변수	평균변장
76-94	1155	3327	11.0 km

$\therefore mX_p^2 = 1/3(\sigma mX^2 + \sigma x_A^2)$ 이 성립된다.

Y에 대해서도 마찬가지로 $\therefore mY_p^2 = 1/3(\sigma mY^2 + \sigma y_A^2)$ 이 성립된다.

2.2.2 삼각점 정확도

기설 삼각측량의 평균거리와 위치오차를 이용하여 기존 삼각점의 상대정확도 및 측각의 정확도를 계산하면 다음과 같다.

1등 삼각점

$$\sqrt{[1/3((0.0 \text{ cm})^2 + (30 \text{ km} \times 0.67/206,265)^2)]} = 5.8 \text{ cm}$$

2등 삼각점

$$\sqrt{[1/3((5.8 \text{ cm})^2 + (10 \text{ km} \times 2.0/206,265)^2)]} = 6.7 \text{ cm}$$

3등 삼각점

$$\sqrt{[1/3((6.7 \text{ cm})^2 + (5 \text{ km} \times 4.1/206,265)^2)]} = 6.9 \text{ cm}$$

4등 삼각점

$$\sqrt{[1/3((6.9 \text{ cm})^2 + (2.5 \text{ km} \times 8.2/206,265)^2)]} = 7.0 \text{ cm}$$

이상의 위치오차는 측지망에 축척오차, 수계산에 의한 누적계산 오차 등을 포함한 측지망 왜곡(Distortion)이 전혀 없다는 가정하에서 유도된 이론적인 오차이다. 그러나 외국의 연구결과를 고찰하면 우리나라 측지망의 경우 10~20 m 정도의 망의 왜곡이 존재할 것으로 예상되기 때문에 이론치와는 상당한 차이가 있다.

1975년부터 실시되고 있는 정밀 측지망 측량에 의한 정밀 1, 2차 기준점의 목표정확도는 다음과 같다.

3. 정밀 1차망의 성과 갱신계산

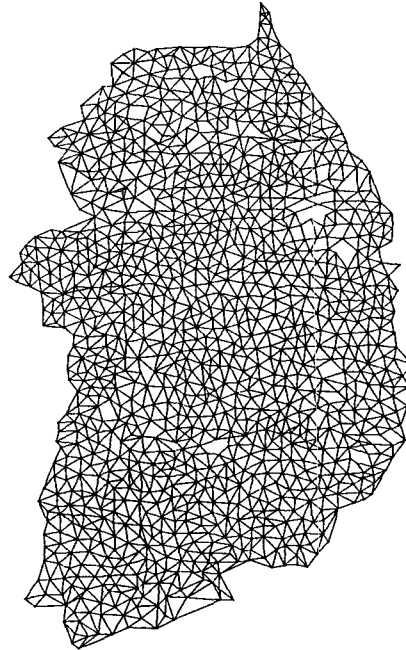


그림 2. 우리 나라 정밀 1차 관측망도

정밀 1차 측지망(1, 2등 삼각점)의 성과 산정을 실시하기 위하여 연도별, 블록별로 조정, 분석된 자료를 기초로 하여 관측데이터를 재편집하여 전국을 단일망으로 구성하고 전국적인 정밀 1차망의 동시조정을 실시하여 관측자료의 검증, 정확도 및 오차전파 상태를 파악하였다.

실용성과의 산정에 가장 중요한 역할을 하는 고정점(안정점)을 측지학적 이론에 근거하여 다음과 같이 추출하였다. 1점 1방향고정에 의한 조정결과를 이용하여 완전점에 대한 최대 전단변형 및 면적변화량을 계산하였으며, 자유망조정을 실시하여 변동벡터를 구하고 이를 이용하였다.

추출된 안정점을 이용하여 기준체계를 유지하면서 정확도가 향상된 측지기준점의 성과를 산출하기 위하여 다양한 계산 및 분석을 실시하였다. 관측자료의 구성 내용은 다음 표 3과 같다(그림 2 참조).

3.1 정밀 1차망의 동시조정

연도별조정, 블록조정을 기초로 하여, 중복된 삼각점과 관측치를 제거하고 누락된 관측치를 보충하여 전국을 하나의 블록으로 구성하여 Data Set을 구축하였다(그림 2 정밀 1차 측지망도 참조).^{2,3)}

정밀 1차 측지망 조정은 2단계로 나누어 계산이 신

표 4. 전국동시망 조정결과

고정점수	미지점수	관측변수	평균변장	M ₀	자유도	계산시간
0점	1155	3307	10.9 km	1".54	1003	6-54-37
1점	1149	3313	10.9 km	1".74	1018	0-03-19
1점	1155	3307	10.9 km	1".54	1000	0-03-19

표 5. 성과갱신 계산 결과

고정점수	미지점수	관측변수	평균변장	M ₀	M _s	위치오차
1점	1154	3308	10.9 km	1".54	8.10 cm	1.392 m
8점	1147	3308	10.9 km	1".62	8.60 cm	0.070 m
13점	1142	3308	10.9 km	1".88	10.0 cm	0.074 m
14점	1141	3304	10.8 km	1".80	9.60 cm	0.074 m
17점	1138	3305	10.9 km	2".06	11.10 cm	0.080 m
21점	1134	3304	10.9 km	2".29	12.10 cm	0.086 m
169점	946	3064	10.9 km	21".23	112.6 cm	0.610 m

속한 1점 1방향 고정에 의한 조정을 실시하여 정확도 분석 및 관측자료의 검증은 1차 실시하고, 2단계로 조정계산에 막대한 시간을 요하는 자유망조정 계산을 실시하여 측지망의 기하학적 강도 및 정확도 분석을 하였다(표 5 참조).

1점 1방향을 고정(태백 삼각점 11 고정)하고 조정한 결과 단위중량의 표준편차(M₀)는 1".74, M_s는 0.093 m이다. 이 결과는 작업규정의 B案 제한치(1".5)도 초과하며 작업구역별 조정, 블럭조정 결과를 상회한다. 작업규정^{20,21)}에서는 단위중량의 표준편차(M₀)는 1".0 이나 경우에 따라서 1".5까지 허용하고 있다. 조정좌표의 표준오차의 평균은 1.18 m, 최대값은 2.61 m이고, 완전점에서의 조정좌표의 실용성과에 대한 변동벡타는 평균 12.00 m 최대 28.59 m로 이는 고정점의 위치 및 고정 방향에 크게 영향을 받는 1점 1방향 고정에 의한 조정결과와 특성이 다. 즉, 고정점을 중심으로 삼각점의 위치가 멀어질수록 표준오차 및 변동벡타가 증가함을 알 수 있다.

조정거리에 대한 잔차가 0.4S(S: 관측거리)를 초과하거나 10 cm 이상(상대정밀도 1/100,000 이하)인 관측치 20편을 제거하고 1점 1방향을 고정하고 재조정된 결과 1".54로 다소 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 과대오차

가 검출된 관측치는 77년, 78년이 각각 4개, 88년, 89년이 각각 3개이다. 이 결과는 연도별, 블럭별 조정 결과 M₀가 불량한 77, 78, 88, 89년 조정결과에 일치하나 조정거리의 잔차는 연도별 조정결과와 비교하여 3-4배 증가하였다. 조정거리의 잔차분포를 보면 그림 3과 같이 정규분포와 다소 상이하여 기계점정 및 기상보정 미비 등에 의한 정오차는 포함되어 있으나 Blunder는 없는 것으로 판단된다(표 4 참조, 그림 3 참조).

자유망 조정결과는 그 수학적 모델의 특성상 1점 1방향 고정에 의한 조정결과와 달리 고정점의 위치 및 고정방향에 독립된 결과를 주기 때문에 측지망의 기하학적 강도 검토 및 조정좌표의 표준오차 분석에 매우 효과적이다.

자유망조정에 의한 조정좌표에 대한 표준오차의 크기는 평균 0.065 m이며, 최대값은 0.20 m로 전체적으로 오차의 분포가 망의 중심에서 작고 망외곽으로 갈수록 다소 커지는 것을 알 수 있으며 위치오차의 분포는 그림 5와 같다. SQRT(trace(Q)/N)의 값은 0.044 m로 연도별 조정결과와 거의 일치하며 특히 강원도 동해안 휴전선 부근의 군사 보호구역과 전남 남해안 지역은 군사지역 및 도서지역의 특성으로 측지망의 기하학적 강도를 강화하기 위한 GPS측량이 요망되는 지역이다. 그러므로 일부 산악지역, 해안도서 지역의 측지망 강도가

Distribution of Distance Residual

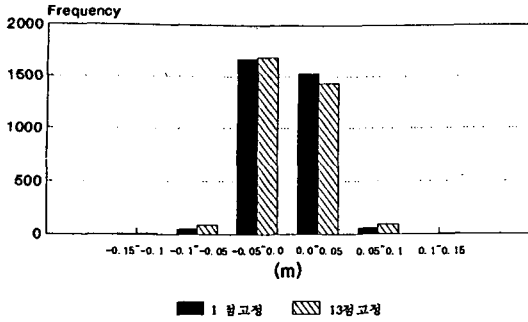


그림 3. 조정좌표의 표준오차타원 (자유망조정)

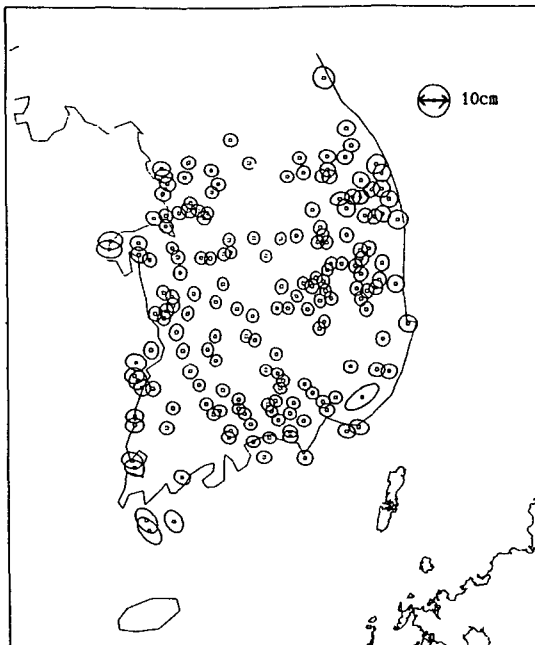


그림 4. 조정좌표의 표준오차 분포도 (자유망조정)

보강되어야 함을 알 수 있다(그림 4, 5 참조).

자유망 조정 결과를 이용하여 완전점(175점)좌표에 대한 변동 벡터를 구하면 그림 4와 같이 최대 7.24 m, 평균 0.99 m이고 표준편차가 1.04 m로 3σ 법칙을 적용하여 3.0 m를 초과하는 삼각점 7점(210100262, 210270212, 214030242, 101090222, 102090212, 102160262, 209190212)을 제거하면 평균 0.81 m이다. 특히 이들 완전점의 변동벡터가 큰 것은 조선토지조사 사업당시 23개의 망으로 분할하여 수계산으로 조정한 결과 측지망의 인접부위에서 성과의 승리가 있었던 것으로 판단

Distribution of Standard Error of Adjusted Coordinates

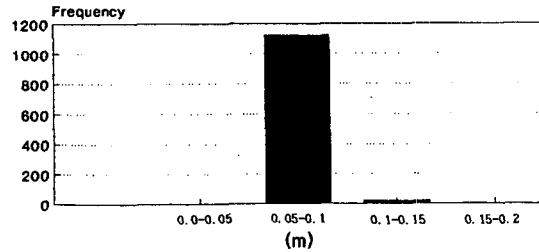


그림 5. 변동벡터도 (자유망조정)

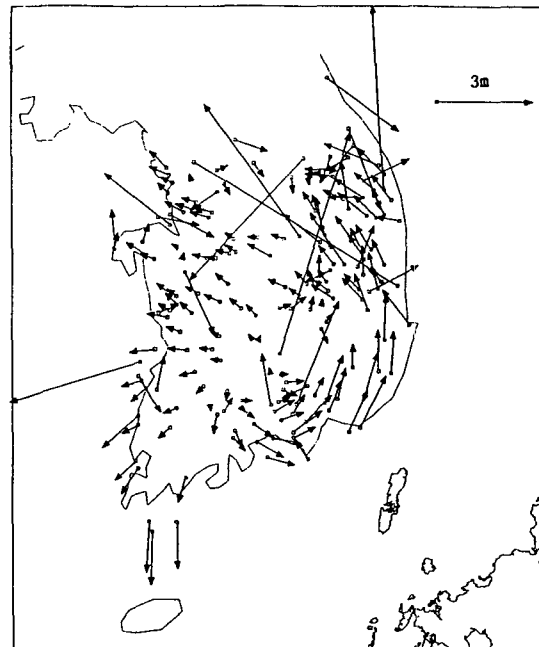


그림 6. 변동벡터 분포도 (자유망조정)

된다. 기설 삼각점 실용성과가 토지조사 사업당시의 관측오차, 수계산에 의한 누적계산오차 등으로 상당히 왜곡되어 있음을 알 수 있다(그림 6, 7 참조).

단위중량의 표준편차 및 조정잔차의 값이 불력을 크게 할수록 큰 이유는 연직각의 장거리 관측, 관측사거리를 수평거리로 보정하기 위하여 측정하는 연직각 측정의 측정속련도, 측정시간대, 관측대회수, 측각기의 점정, EDM의 프리즘 보정 등에 문제가 있는 것으로 판단되며 특히 10 km이상의 장거리 연직각 관측에 대한 전면 검토가 필요하다. 외국에서도 산악지역에서 이와 유사한 사례가 보고되었다.

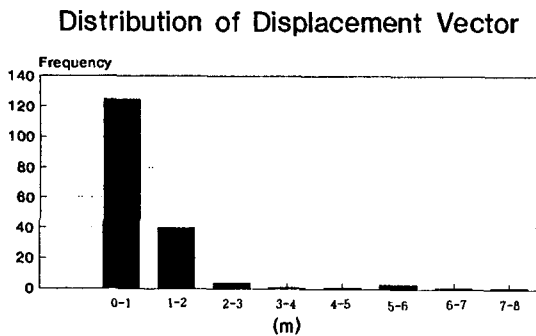


그림 7. 조정좌표의 표준오차타원 (14점 고정)

우리나라 정밀 1차망은 평균거리가 10.99 km이고 15 km를 초과하는 관측치가 8.4%이나 평균변장 8 km를 기준으로 작성된 작업규정을 단순 적용하였다.

또한 우리나라의 경우 국토의 70%가 산지이고 80% 이상의 삼각점이 손상되었으며 수준망이 완전히 파괴되어 재측하여 성과가 재고시되었기 때문에 삼각점 표고 결정과정에서 지역적인 표고의 부정합에 대한 문제점이 있다.

1, 2등 삼각점 표고의 문제점은 추후 Local 지오이드 모델 확보, GPS측량에 의한 표고결정 및 정밀 2차망 연직각 관측자료를 이용하여 심도있는 분석이 가능하다. 이 때 EDM에 의한 사거리의 수평거리로의 재투영 계산 및 지오이드고를 고려한 준거타원체상의 거리확보가 가능하게 되어 보정계산 과정에서의 정오차가 제거된 측지성과를 얻을 수 있다.

3.2 성과산정

1, 2등 삼각점의 정확도를 향상시키면서 완전점의 좌표변동량을 최소화하는 즉, 기설 측지망체계를 유지하면서 성과를 갱신해 나가는 기본방침에 따라서 실용성과의 산정과정에서 가장 중요한 역할을 하는 고정점(안정점)을 측지학적 이론에 근거하여 다음과 같이 추출하였다. 첫째, 1점 1방향 고정에 의한 조정결과를 이용하여 완전점에 대한 최대 전단변형 및 면적변화량을 계산하여 안정점을 추출하고자 하였다. 둘째, 자유망조정을 실시하여 변동벡타가 기준치 이하인 완전점을 안정점으로 이용하였다.

안정점 추출을 위하여 지각의 탄성변형이론에 기초하여 1점 1방향 고정에 의한 조정좌표를 이용하여 최대전단 변형(Maximum Shear Strain) 및 면적변화량

(Dilatation)을 계산하였다. 계산 결과 우리나라 전역의 최대 전단변형이 이론치(예상치) 20 ppm 을 크게 상회하고 면적변화량도 이론치(예상치) ± 20 ppm을 크게 상회하고 있다.^{13,22)} 이는 주로 기설 측지망 성과의 오차, 삼각점 이력관리의 부실, 정밀 1차 측지망 사업과정에서 삼각점 조사의 부정확 및 정밀 1차 측지망의 관측오차 등에 기인한다.

현재 우리가 이용할 수 있는 자료는 조선삼각점 및 수준점 성과표이므로 기설 측지망의 정확도 분석에 한계가 있다. 또한 해방 이후 측지분야 전문가가 전무하고 측지업무가 미군, 국방부 지리연구소를 거쳐서 국립전설연구소, 국립지리원,으로 이관되어 측지자료 특히 삼각점의 유지관리에 관한 자료가 거의 전무하여 이를 안정점 추출과정에 이용하는 데에 많은 어려움이 있다. 즉, 지각변형계산 결과를 이용한 안정점 추출에는 보다 심도있는 연구가 필요하다.

따라서 성과갱신 과정에서 측지학적으로 안정된 점을 추출하여 고정점으로 사용하기 위하여 자유망 조정계산을 실시하여 완전점 중에서 변동벡타가 기준치 이하인 점을 안정점으로 사용하였으며 93년도 연구에서 성과갱신 벡터를 이용하여 지역적인 밀도를 고려하여 추출된 고정점도 사용하였다.

우리나라 정밀 1차망의 초기 좌표값이 조정좌표와 최대 20 m까지 차이가 있으므로 성과갱신 과정에서 반드시 반복계산이 필요하며 반복계산을 하지 않는 경우 최종성과가 최대 2 cm까지 차이가 났다. 반복계산은 2회 계산으로 0.05 cm에 수렴하였다.

자유망 조정결과 성과갱신 벡타가 20 cm 이하인 1, 2등 삼각점 8점을 고정하고 측지망조정을 실시한 결과, 단위중량의 표준편차가 1".62로 조정결과는 아주 양호하나 고정된 기준점의 밀도 및 분포가 희박하여 완전점의 변동량이 최대 7.15 m이고 3.0 m를 초과하는 삼각점 7점(210100262, 210270212, 214030242, 10109222, 102090212, 102160262, 209190212)을 제외하고는 평균 0.81 m로 자유망 조정결과와 유사하였다.

자유망 조정결과 성과갱신 벡타가 30 cm 이하인 1, 2등 삼각점 14점을 고정하고 측지망조정을 실시한 결과, 단위중량의 표준편차가 1".80, 평균 위치오차는 0.074 m 이고 완전점에서 조정성과와 현실용성과와 차이는 최대 7.17 m이다 3.0 m를 초과하는 삼각점 8점(210100262, 210270212, 214030242, 20625022, 101090222,

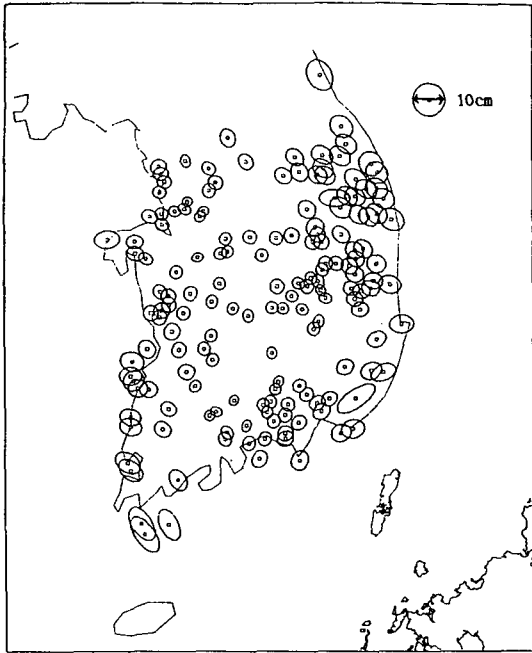


그림 8. 변동벡타도 (14점 고정)

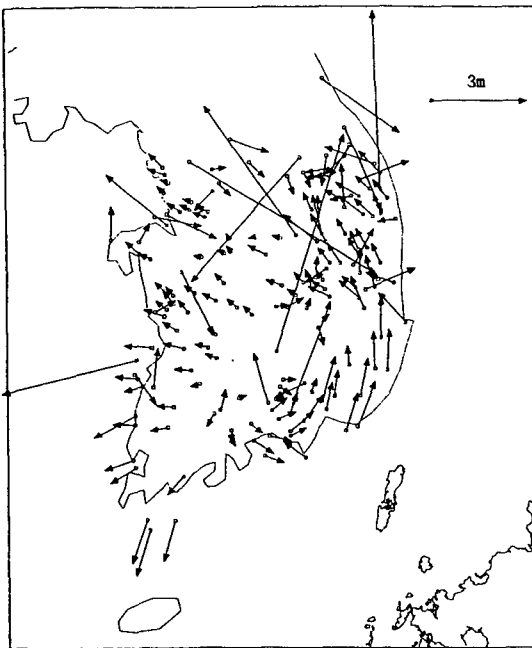


그림 9. 조정좌표의 표준오차타원 (13점 고정)

102090212, 102160262, 209190212)을 제외하고는 평균 0.76 m이다. 조정좌표의 표준오차타원 분포는 그림 8과 같고, 변동벡타도는 그림 9와 같다(그림 8, 9 참조).

93년 연구에서 추출, 사용된 성과갱신 벡타가 20 cm이하이고 지역적인 밀도를 고려하여 선택한 1, 2등 삼각점 13점을 고정하고 측지망조정을 실시한 결과, 단위중량의 표준편차가 1".88로 나타났으며 평균위치 오차는 0.074 m이다. 완전점에서 조정성과와 현실용성과와 차이는 최대 7.25 m이고 3.0 m를 초과하는 삼각점 8점(210100262, 210270212, 214030242, 213040232, 206250222, 210050262, 10109222, 102090212, 209190212)을 제외하고는 평균 0.65 m이다. 조정좌표의 표준오차타원 분포는 그림 10과 같고, 변동벡타도는 그림 11과 같다(그림 10, 11 참조).

93년 연구에서 추출, 사용된 삼각점 13점과 자유망 조정결과 변동량이 20 cm이하인 8점 등 총 21점을 고정하고 측지망조정을 실시한 결과, 단위중량의 표준편차가 2".29로 나타났으며 평균위치오차는 0.086 m이다. 완전점에서 조정성과와 현실용성과와 차이는 최대 7.08 m이고 3 m를 초과하는 삼각점 9점(210100262, 210270212, 214030242, 206250222, 210050262, 101090222, 102090212, 102160262, 209190212)을 제외하고는 평균 0.64 m이다. 완전점 168점 모두 고정하고 조정한 결과는 단위중량의 표준편차가 21".23으로 나타났다. 다음 삼각점 (210100262, 210270212, 214030242, 206250222, 210050262, 101090222, 102090212, 102160262, 209190212)은 고정점의 변화에도 불구하고 변동벡타의 크기와 방향이 다른 삼각점(완전점) 변동벡타와 비교하여 전혀 다르고 변동벡타량이 매우 크다. 또한, 지각변위 계산결과 최대전단변형이 우리나라와 같이 대규모 지진이 거의 없는 안정된 지각구조의 예상치를 10배 이상 상회하고 있어서 완전점으로 보기가 곤란한 이상점(고장점)이다. 이러한 일부 삼각점 좌표의 부정합은 기설측지망의 지역적인 수계산에 의한 누적계산오차, 기선증대오차 및 삼각점 조사의 부정확 등 여러 가지 원인때문이다.^{13,22)}

여러가지 방법으로 고정점의 분포 및 밀도를 변화시키면서 조정한 결과, 조정좌표의 표준오차 평균값 및 최대값은 고정점의 밀도와 분포에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 즉, 기존체계를 유지하면서 보다 더 정확한 1, 2등 삼각점의 실용성과를 결정하고자 하는 명제는 Trdae-Off의 관계이다.

완전점의 변동벡타 분포는 13점을 고정하고 조정한 결과가 표 7과 같이 0.5 m이하가 50%, 0.5 m~1.0 m 27.

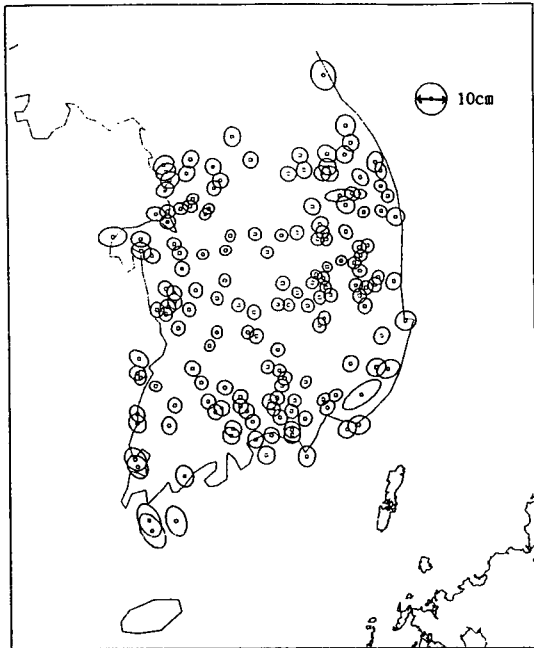


그림 10. 변동벡터도 (13점 고정)

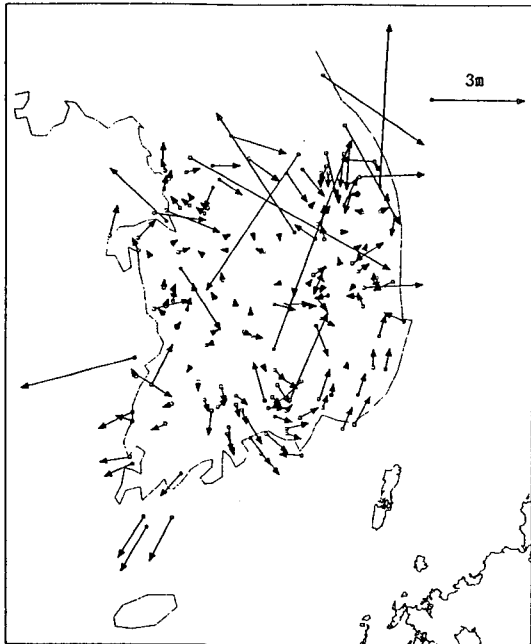


그림 11. 표준오차 분포도

2%, 1.0 m~1.5 m 10.5%, 1.5 m 이상 12.3%로 14점을 고정하고 조정한 결과와 비교하여 0.5 m 이하가 2배, 1.0

Distribution of Standard Error of Adjusted Coordinates

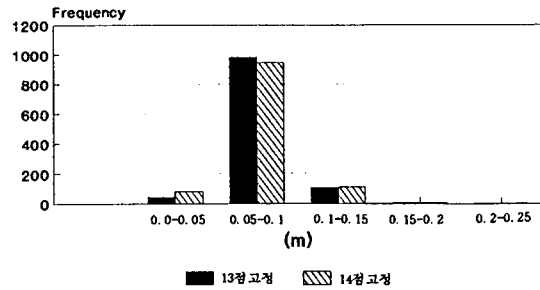


그림 12. 변동벡터 분포도

Distribution of Displacement Vector

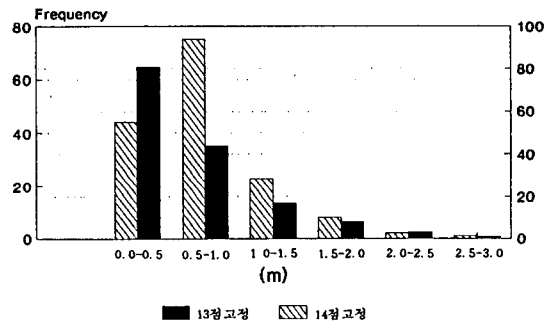


그림 13. 변동벡터 분포도

m-1.5 m 구간에서는 0.5배, 1.5 m 이상은 거의 동일하다. 완전점 좌표변동량의 평균값은 13점을 고정하고 조정한 결과가 0.64 m로 14점을 고정한 결과 보다 약 20%(0.11 m) 적다. 또한 조정좌표의 표준오차 분포를 살펴보면 10 cm 이하가 90% 이고 2점을 제외하고는 모든 점의 좌표 정확도가 20 cm 이하이다(그림 12, 13 참조).

13점을 고정하고 조정한 결과, 좌표의 오차타원도를 보면 전체적으로 자유망 조정에 의한 결과와 거의 일치하고 전국적으로 오차타원이 원에 가까운 형태를 유지하여 전체적인 측지망의 기하학적 문제는 없는 것으로 판단되나 일부 국부적인 측지망 강도 강화를 위한 보충 관측이 필요하다. 조정거리의 잔차분포도도 1점 1방향 고정에 의한 조정거리 분포와 일치한다. 즉, 13점 고정에 의한 조정결과는 고정점 주변부에서 측지망 왜곡이 발생하지 않은 것으로 판단된다(그림 10, 11 참조).

고정점의 변화에 따른 M_{00} , 표준오차의 평균값, 표준오차의 분포, 변동벡터의 평균값, 변동벡터의 분포 등

을 고려하면 13점을 고정하고 조정한 결과가 본 연구의 목적인 기존체계를 유지하면서 실용성과의 정확도를 향상시키는 목적에 가장 근접한 결과를 제공하는 것을 알 수 있다(표 6, 7 참조). 즉, 본 연구에서 추구하는 측지망의 정확도를 향상시키면서 완전점의 좌표변동량을 최소화하여, 기존체계를 유지하려는 목표에 가장 근접한 결과이다(그림 14, 15 참조).

4. 갱신성과에 대한 고찰

본 연구에서는 국립지리원에서 1975년부터 1994년까지 관측한 정밀 1차 측지망 관측자료를 이용하여 관측자료 분석 및 오차분석을 실시하고, 이를 토대로 목표정확도에 상응하면서 기존 삼각점체계에 가장 부합되는 13점 고정에 의한 결과를 갱신실용성으로 채택하였다. 갱신된 1, 2등 삼각점 수평좌표의 위치오차는 다음과 같다.

89.9% 지역의 1, 2등 삼각점의 상대정확도

$$(m_{xy}/\text{평균관측거리}) \times 10^{-6}$$

10.0% 지역의 1, 2등 삼각점의 상대정확도

$$(m_{xy}/\text{평균관측거리}) \times 10^{-6}$$

0.1% 지역의 1, 2등 삼각점의 상대정확도

$$(m_{xy}/\text{평균관측거리}) \times 10^{-6}$$

따라서 본 연구에서 제시한 1, 2등 삼각점의 평균위치 정확도는 7.4 cm(상대정확도: 1/148,000)이므로 이 성과를 이용하여 산출될 정밀 2차 기준점의 추정 정확도는 다음과 같다.

$$\sqrt{\frac{1}{3}[(7.4 \text{ cm})^2 + (2.5 \text{ km} \times 1.6206, 265)^2]} = 4.4 \text{ cm}$$

본 연구에서 목표로 한 1, 2등 삼각점의 갱신성과의 이용목적은 3, 4등 삼각점의 성과갱신을 위한 골격망기본도 제작 및 공공측량의 기준점이므로 정밀 1차 기준점의 갱신성과는 3, 4등 삼각점 성과갱신, 기본도 제작 및 공공측량에 활용되는 데에 문제가 없음을 알 수 있다.

정밀 1차망 측량성과에 의한 전국 규모의 1, 2등 삼각점 성과갱신은 기설 1, 2등 삼각점 중에서 안정점을 추출하고 이 안정점에 결합시켜 산정한 성과로서 수평위치(B, L)만을 갱신대상으로 하였다. 이 성과를 기준점 좌표 94 라 한다.

1, 2등 삼각점 표고의 갱신은 현 삼각점 표고 및 수준점, 성과의 지역적인 부정합이 존재함으로 추후 정밀 2차 망의 관측이 완료된 이후 2차 망의 연직각 관측자료 및 수준측량자료 또는 GPS측량결과를 이용하여 1, 2등 삼각점 표고의 정합성을 검토하여 표고성과를 갱신한다. 갱신 표고성과를 Feedback하여 관측거리의 경사보정, 투영보정 계산을 재실시하여 투영법에 의한 조정계산시 활용한다.

기준점좌표 94의 정확도는 1/100,000 이상으로 3,

표 6. 조정좌표의 표준오차 분포

고정점수	미지점수	0~10 cm	10~20 cm	20 cm 이상
0점	1155	97.9%	2.1%	0%
8점	1147	93.0%	6.9%	0.1%
13점	1142	89.9%	10.0%	0.1%
14점	1141	90.0%	9.8%	0.2%
17점	1138	81.9%	17.8%	0.3%
21점	1134	74.7%	24.6%	0.7%

표 7. 조정좌표의 변동벡터 분포

고정점수	미지점수	0.5 m	0.5-1.0 m	1.0-1.5 m	1.5-2.0 m	2.0 m 이상
0점	175	27.3%	43.8%	15.3%	7.4%	6.2%
8점	167	24.5%	47.3%	16.2%	5.4%	6.6%
13점	162	27.3%	27.2%	10.5%	4.9%	7.4%
14점	161	27.3%	46.6%	14.3%	5.0%	6.8%
17점	158	45.6%	31.6%	10.8%	3.8%	8.2%
21점	154	44.8%	32.5%	11.0%	3.9%	7.8%

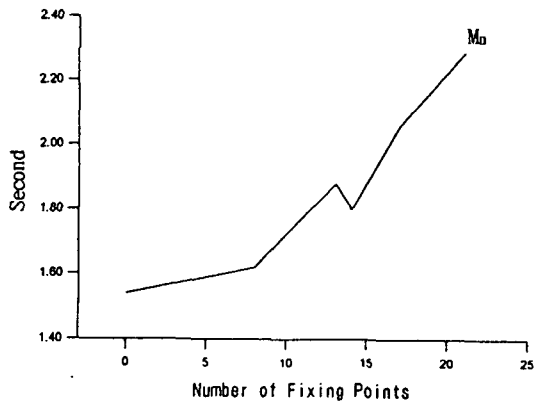


그림 14. 고정점 변화에 따른 M₀의 변화

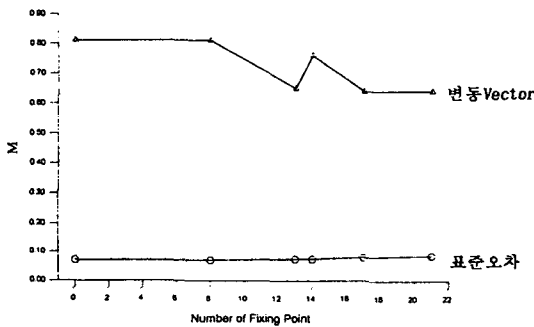


그림 15. 고정점 변화에 따른 표준오차, 변동벡터의 변화

4등 삼각점의 성과갱신, 기본도제작, 공공측량의 기준점좌표로 사용하는데 문제점이 없으나, 일부 도서지역, 산악지역의 경우 조정좌표의 표준오차가 10 cm이상이므로 GPS를 이용하여 추후 이지역 측지망 강도강화 및 정확도 향상이 필요하다. 특히 기준점좌표 94에서 제시된 성과의 현 실용성과에 대한 좌표의 변동량은 최대 3 m이고, 평균 0.65 m로 일부지역 기본도제작의 경우 지역적인 평행이동으로 간주하여(지도 한도엽은 전국도에 비하여 미소면적이므로) 좌표변환하여 사용한다면 실용상 문제가 없을 것으로 판단된다.

이 성과는 직접 관측된 삼변측량 자료를 이용한 성과로 실용성과의 축척오차, 약식보정 계산, 수계산에 의한 누계계산오차가 제거된 우리나라 최초의 동질성있는 기준점좌표이다. 그러나 우리나라 지역의 지오이드 모델이 미비하기 때문에 지오이드고를 무시한 전개법(Development Method)에 의한 성과이므로 지오이드 모델을 고려한 투영법(Projection Method)에 의한 측지

표 8. 정밀1차 측지망의 정확도

구 분	자유망조정 결과를 기준으로 한 목표정확도(작업규정상의 정의)	실정확도
수평위치 오차	3 cm	7.4 cm
상대정확도	1/330,000	1/148,000
측각정확도	1.0초	1.88초

망의 재조정이 요망된다.

이 갱신성과는 장기적으로 GPS측량이나 천문측량의 기초자료로 활용될 수 있으며 새로운 한국원점 기준계의 산정을 위한 기본자료입과 동시에 한국원점에 대응되는 지구규모 측지망과의 결합을 위한 변환요소의 산정에 필수적인 기초 자료이다.

기준점좌표 94는 보다 면밀한 연구, 검토를 거쳐서 실용성과로서 고시할 수 있으며 추출된 안정점은 갱신성과의 산정에 이용되므로 보다 세심한 유지관리가 필요하다.

새로운 한국원점 측지계(ITRF계)의 구축을 위해서는 GPS를 이용한 정밀 1차망의 재구성에 의한 기존의 1차망의 강도증대 및 정확도 향상이 필요하며, 기술개발 및 작업규정의 재정비가 필요하다. 한국원점체계 구축에는 현재 사용중인 기준점 체계, 기준좌표, 제공할 정보, 사용자 인터페이스, 관측자료의 DB구축 등에 대한 장기적이고 체계적인 연구가 시급하다. 또한 GPS측량, VLBI측량, 중력지오이드 개발 등이 필수적이다.

GPS, VLBI 등 신기술은 측지분야 뿐만 아니라 지각변동조사, 기상이변연구, 해면상승 등 지구환경에 대한 국제공동연구에 가장 중요한 수단으로 이 기술을 국내에 정착시키기 위한 과감한 투자가 필수적이다.

기준점좌표는 지금까지 우리가 인식하고 있는 고정된 좌표의 개념에서 시간에 따라서 변할 수 있다는 인식이 무엇보다도 중요하다.

5. 결 론

우리나라 정밀 1차 기준점 측량 관측자료(1975~1994)를 체계적으로 분석하고 이를 토대로 우리 국토의 동질성을 가진 1, 2등 삼각점의 갱신성과(기준점좌표 94)를 제시하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 정밀 1차 측지망 관측자료의 Data Set를 구축하고 전국 동시망 조정계산을 실시한 결과, 단위중량에 대한 표준편차 (m_0)가 1".55, 평균 위치오차가 6.5 cm로 평가 되었다.

(2) 자유망조정, 1점 1방향 고정에 의한 조정, 다고정점 결과를 분석하면 일부 삼각점 실용 성과의 부정합이 과도하게 크다. 이는 조선토지조사사업 당시 기설 측지망이 여러 가지 원인에 의하여 지역적으로 왜곡되었음을 의미한다.

(3) 완전점 중에서 안정점을 추출하여 이 점들을 고정하고 조정계산한 결과, 단위중량에 대한 표준편차(m_0)가 1".88, 평균 위치오차가 7.4 cm이다. 즉, 상대정밀도가 1/100,000 이내로 평가되어 이 조정좌표를 1, 2등 삼각점의 갱신성과(기준점 좌표 94)로 제시하였다. 이 갱신성과는 측척오차, 수계산에 의한 누적계산오차 등이 제거된 최초의 동질성 있는 국토의 골격이다.

감사의 글

본 연구는 건설부 국립지리원,의 1994년도 측지연구사업의 일환으로 한국측지학회에서 수행한 것으로서 자료의 제공과 협조에 대하여 관계자 여러분께 사의를 표합니다. 또한 귀중한 자료제공 및 조언을 해주신 일본국 건설성 국토지리원 관계자 여러분께도 감사드립니다.

參考文獻

1. 최재화, 정밀 1차망의 실용성과 산정에 관한 연구, 국립지리원, 1994.
2. 최재화, 정밀 1차망의 성과분석 및 활용방안에 관한 연구, 국립지리원, 1993.
3. 최재화, 최윤수, 우리나라 정밀 1차 측지망 측량의 성과 분석, 한국측지학회, 12(1), 1994, pp. 15-24.
4. 국립지리원, 우리나라 기설측지망에 관한 조사연구, 측지기술발전 연구보고서, 1980.
5. 최윤수, 우리나라 정밀측지망의 동시조정에 관한 연구, 성균관대 대학원, 박사학위논문, 1991.
6. 안철호, 우리나라 정밀 측지망의 설정에 관한 연구, 국립지리원, 1985.
7. 최재화, 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구, 국립지리원, 1989.
8. 유복모, 측지기준점 유지관리에 관한 연구, 국립지리원, 1991.
9. 최재화, 정밀삼각망의 성과산정 방안에 관한 연구, 국립지리원, 1992.
10. 최재화, 이영진, 최윤수, 국가삼각점 성과의 갱신방안에 관한 연구, 한국측지학회, 10(2), 1992, pp. 13-24.
11. 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.
12. 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.
13. K. Komaki, Horizontal Crustal Movement Revealed by Geodetic Measurements, Bulletin of the Japan G.S.I. Vol. 39, 1993.
14. M. Tobita, Application of the Geodetic Network and Integration of the Coordinate System, Bulletin of the Japan G.S.I., Vol. 41, 1994.
15. J. D. Bossler, Redefinition of the North American Geodetic Networks, 1989.
16. 최재화, 최윤수, 우리나라 정밀 측지망의 동시조정, 대한토목학회 논문집, 13(1), 1993, pp. 151-159.
17. 최재화, 김세걸, 최윤수, 우리나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구, 한국측지학회지, 8(1), 1990, pp. 1-13.
18. 日本國建設省 國土地理院, 平成 4年度 三角点成果更新手法に關する調査研究, 1993.
19. 西田文雄, 公共測量の精度の設定についての一考察, 日本國建設省 國土地理院 内部資料, 1994.
20. 국립지리원, 측량성과기준(안) 및 동해설, 정밀삼각측량 1980.
21. 국립지리원, 정밀 1차 기준점 측량 작업규정, 1988.
22. 日本國建設省 國土地理院, 地震とその豫知, 1988.