

우리나라 精密測地網 設定에 關한 研究

A Study on the Establishment of Precision Geodetic Network in Korea

安 哲 浩* 尹 載 殖**
Ahn Chul-Ho Yun Jae-Sig
金 元 翼*** 安 基 元****
Kim Won-Ik Ahn Ki-Won

要 旨

本 研究은 우리나라 精密測地網 設定에 關한 研究로서, 먼저 1981년부터 1985년까지 國立地理院에서 施行한 大韓民國經緯度原點의 天文觀測成果를 分析·評價한 후에 이 原點의 數值를 決定하였다. 그리고 設定된 우리나라 測地網의 調査·分析과 施行中인 測地測量의 現況分析 및 問題點 파악을 토대로 當面課題인 우리나라 精密測地網 設定의 基本方向을 提示하고자 하였다.

ABSTRACT

The objective of the present study is to establish the precision geodetic network in south Korea. The precision geodetic datum was determined based on the analysis and evaluation of the astronomic observation data observed by the National Geography Institute during the period of 1981~1985.

A proposal directions for the establishment of precision geodetic networks as well as re-view or analysis of current geodetic networks including the method of geodetic surveying in our country was completed.

1. 序 論

우리나라 測地網은 1910년대의 불행한 정치적

사회적 여건과 환경속에서 日帝에 의하여 設定된 測地網을 그 基盤으로 하고 있으나, 현재에 이르러서는 그 特性和 機能이 여러가지 측면에서 변모하고 있음은 물론, 다양화되고 있다.

변모된 것중의 하나는, 日帝에 의하여 설치된 당초의 三角網과 水準網이 6·25動亂으로 인하여 그 기능을 거의 잃게 되었기 때문에 우리 손으로 서둘러 이를 復舊 또는 再設하였으며, 이 과

* 서울大學校 工科大學 教授
** 全北大學校 工科大學 教授
*** 國立地理院 測地課長
**** 서울大學校 工科大學院 博士課程

정에서 얻어진 實用成果는 地圖製作을 비롯한 각종의 公共測量에서 活用되고 있는 것은 물론 旧小三角網과 같은 일부 內在인 불합리 요인을 是正, 補完하는등 測地網의 再編이 이루어졌다는 점이다.

그리고 1970년대 후반부터는 精密測地網 設定을 위한 선진기술의 도입 및 기술개발에 주력한 결과, 우리나라에서는 처음으로 三邊測量, 天文測量, 重力 및 地磁氣測量과 人工衛星測量 등을 계획, 실시하게 되었고 國際水準의 測地網으로 발돋움할 수 있는 기반과 계기가 조성 될 수 있었다.

이러한 時點에서 1981년부터는 大韓民國經緯度原點의 수치결정을 위한 原點觀測이 실시되었고, 1985년도에 그 관측을 효과적으로 마무리한 것은 그 原點이 앞으로 우리나라 測地分野에서 차지하게 될 비중이 막중하다는 점 뿐만 아니라 오랜 숙원이 성취될 수 있게 되었다는 점에서 그 意義는 매우 크다 하겠다.

한편 大韓民國經緯度原點의 設置와 때를 같이 하여 보다 높은 정확도의 精密測地網 設定事業도 새로운 차원에서 활성화될 것으로 기대되고 있으나, 현재 이 사업의 추진과정에서 과생된 기술적인 문제점이 적지 않으므로 이에 관한 개선방안과 발전방향의 定立이 시급한 실정이다.

따라서 本 研究에서는

- 1) 大韓民國經緯度原點 觀測成果의 分析, 評價
- 2) 原點 觀測成果를 기초로한 原點數値의 決定
- 3) 우리나라 既設 測地網의 調査, 分析
- 4) 測地測量의 現況分析 및 問題點 導出
- 5) 測地測量의 將來展望 및 發展方向의 提示
- 6) 精密測地網 設定方向의 再定立함을 그 目的으로 하였다.

2. 大韓民國經緯度原點

2.1 概 說

地圖製作등을 목적으로 시행되는 한 나라 또는 廣域의 測地測量에 있어서는 우선 그 測地測量의 出發點에서 天文測量을 실시하여 그 點의 經度, 緯度 및 方位角을 결정한 다음, 다른 모든 三角點 등의 基準點의 經度, 緯度와 모든 변의 方位角을 구하는 방법이 취해진다. 이와 같은 方法으로 결정된 量을 測地經度(Geodectic Longitude), 測地緯度(Geodectic Latitude) 및 測地方位角(Geodetic Azimuth)이라 부른다.

原點의 經度, 緯度 및 方位角으로는 흔히 그 點에 있어서의 天文觀測值를 채용하며, 原點에 있어서 準據橢圓體와 지오이드는 一致하는 것으로 假定한다.

우리나라 測地測量은 1910年代에 日本에 의하여 처음으로 실시되었기 때문에 다음과 같은 測地原點을 가지고 있는 日本原點을 그 原點으로 하고 있다.¹⁾

原點經度 : 139° 44' 40." 5020 E
 原點緯度 : 35° 39' 17." 5148 N
 原方位(原點-鹿野山) : 156° 25' 28." 442
 準據橢圓體 : 벡셀 橢圓體
 지오이드高 : 日本 水準原點下 24.4140 m

日本原點은 準據橢圓體와 지오이드가 그 점에 있어서는 一致하는 것으로 假定하고 있기 때문에 그 點에 있어서의 垂直線偏差의 두 成分은 零 즉, $\xi_0 = 0$, $\eta_0 = 0$ 임을 의미한다. 그러나 이와같은 가정에 따라 우리나라의 垂直線偏差를 計算하고 그 分布圖를 그리면 그림 1과 같이¹⁾ 거의 모든 수직선편차가 北西로 向하고 있다. 이것은 東京原點에 있어서의 벡셀 타원체의 設定이 지오이드와 適合하지 않는 것에서 비롯된, 즉 測地原點에서의 垂直線偏差를 零이라고 가정한 條件이 적당하지 않음을 말해준다.

日本の 測地原點에 있어서의 最近 垂直線偏差를 구한 結果는 日本原點의 緯度 φ_0 에 +12", 經度 λ_0 에 -8" 정도의 補正을 해야되는 것으로 나타났다.²⁾ 우리나라 既存 測地網이 日本原點을

出發點으로 하고 있기 때문에, 이것은 우리손으로 設置되는 최초의 測地原點인 大韓民國經緯度原點의 필요성과 당위성에 대한 하나의 반증이 된다 하겠다.

國立地理院에서 1981년부터 5년에 걸쳐서 大韓民國經緯度原點 設置를 위한 原點觀測을 실시하여 이를 효과적으로 마무리한 것은 우리나라 測量史에 길이 남을 業績이라 할 수 있다.

2.2 原點觀測

大韓民國經緯度原點의 數值를 決定하기 위한 原點觀測은 精密天文觀測으로 實施되었다. 觀測點은 國立地理院 構內(경기도 수원시 遠川洞 산 63)의 大韓民國經緯度原點이고, 觀測期間은 1981년 8월~1985년 10월 이었다.

2.2.1 經度觀測

經度觀測에 사용된 장비는 Universal Instrument Theodolite Wild T-4, 時報記錄器(Chronometer Ω No. 478, Longine TL-2000), 時報受信器(Satellite 2000)이다.

經度觀測은 ①假定經度決定 ②觀測裝備調整 및 常數決定 ③觀測의 順으로 이루어졌고 ②에서 Lost Motion 및 接觸 Strip 補正과 Mayer's Method에 의한 眞北 Setting을 하였다. 여기에 사용된 計算式과 적용된 觀測基準은 다음과 같다.^{1) 3) 4)}

i) Lost Motion 및 接觸Strip補正

$$\text{Corr.} = \frac{R}{200} (m+S) \cdot \sec \delta \quad (2-1)$$

여기서 R : Micrometer의 赤道值
(恒星時의 秒)

m : Lost Motion

S : 接觸 Strip의 平均幅

δ : 恒星의 赤緯

ii) 眞北 Setting (Mayer's Method)

$$\Delta T + Aa + Bb + Cc - (\alpha - t) = 0 \quad (2-2)$$

여기서 A : 方位角係數 (= sin φ - tan δ · cos φ)

a : 方位角誤差(北으로부터 東 또

는 西)

iii) 觀測基準

- Apparent Places of Fundamental Stars (APFS)에 收錄된 恒星만을 使用하였다.
- 對象恒星의 A係數는 ±0.75를 초과하지 않고 1Set內의 A係數의 代數合은 ±0.1을 초과하지 않도록 하였다.
- 1Set의 觀測은 通常 6個 恒星의 子午線通過를 관측하는 것으로 이루어지며 보통 1時間을 초과하지 않았다.
- 一般적으로 對象恒星은 그 光度가 3~6等級의 것을 선택하여 사용하였다.
- 各Set의 계산에 있어서 殘差가 ±0.15 sec φ보다 큰 값을 가지는 별을 폐기하였다.

觀測에 있어서는 時報受信器에 내장되어 있는 水晶時計의 分秒信號를 時刻記錄에 사용하였고, 이를 JJY(日本 東京)의 標準時報信號를 사용하여 點檢하고 있다.

各Set別 經度計算에 사용된 式은 다음과 같다.

$$\lambda = \text{假定經度} + \Delta \lambda + \Delta \lambda_U + \Delta \lambda_T + \Delta \lambda_P \quad (2-3)$$

여기서 Δλ : 觀測值 Δλ_U : UT₁ - UT_C

Δλ_T : JJY 電波傳播時間補正量

Δλ_P : 極變化補正量

그리고 經度計算에서는 觀測에 사용된 時報受信器의 受信周波數(1,000Hz)와 JJY의 送信周波數(1,600Hz)의 周波數差로 인한 補正量으로 0.045를 취하고 있다.

表-1은 各次別로 Set 관측치들을 平均당 成果를 나타낸 것이다.

2.2.2 緯度觀測

緯度觀測은 中緯도와 低緯度에서 一般적으로 使用하고 있는 Sterneck法에 의하고 있고, 觀測裝備는 經度觀測에 사용된 장비를 그대로 사용하고 있다.

緯度觀測에 적용된 基準과 各Set別 緯度計算에 사용된 計算式은 다음과 같다.¹⁾

① 觀測基準

- 觀測對象恒星은 經度의 경우와 거의 같다.
- 觀測期間은 3日間으로 하였다.
- 天頂距離가 30° 이내의 별을 對象恒星으로 하였다.
- 機器는 子午線 가까이(1秒(시간) 이내)에 Setting 하였다.

② 計算式

- 별의 天頂이 北쪽인 경우 : $\varphi = \delta - Z_D$
(여기서 δ : 赤緯, Z_D : 天頂距離)
- 별의 天頂이 南쪽인 경우 : $\varphi = \delta + Z_D$
- 平均海面에의 換算
 $\Delta\varphi = 0.000171h \sin 2\phi$
여기서 $\Delta\varphi$: 緯度에 대한 補正量, 秒(角度)로 표시
 h : 測定의 標高(m)
 ϕ : 天文緯度

2.2.3 方位角觀測

方位角觀測에는 測角用으로 Wild T-4, 時角測定用으로 時報受信器가 使用되었다.

原方位點은 6.732km 떨어진 東鶴山(2等3角點)이다.

觀測은 北極星을 사용한 近接周極星에 의한 方向觀測法으로 실시되었고, 方位角計算에 사용된 計算式은 다음과 같다.¹⁾

$$A_2 = A + (M - S) + K + \Delta A_n + \Delta A_p \quad (2-3)$$

- 여기서, A : 北極星의 方位角
- $M-S$: 北極星과 地上目標사이의 水平角
- K : 日周光行差
- ΔA_n : 非對稱法線(Skewnormal) 補正量
- ΔA_p : 極變化補正量

5年間に 걸친 原點의 經度, 緯度 및 方位角觀測成果의 次數別 最大差는 經度에 있어서는 1.930, 緯度에 있어서는 1.043, 그리고 方位角에 있어서는 4.492이다.

原點觀測은 季節的으로 그 觀測이 等分布를 이루도록 배려하고 있으며 실제에 있어서 4月~10月に 걸쳐 실시되었다.

2.3 經緯度原點의 數值

原點觀測結果에 의한 經緯度原點의 數值計算은

①各 次數의 Set別 觀測은 같은 正確度의 觀測으로 간주하여 次數別 標準偏差(中等誤差, S. D.)를 다음의 식으로 구하였다.⁵⁾⁶⁾

$$S. D. = \sqrt{\frac{[V^2]}{n(n-1)}}$$

- 여기서 $[V^2]$: 殘差의 제곱의 합
- n : 度數

表-1. 經緯度原點 成果

區分 年度	次數	經 度		緯 度		方 位 角	
		λ	S. D.	φ	S. D.	A	S. D.
'81	1	08°28'12.2819	±14 ^m s	37°16'32.100	±0.11	170°58'17.21	±0.95
	2	12.3126	7	32.226	0.20	19.37	0.53
'82	3	12.4025	10	31.537	0.12		
	4	12.3308	10	31.943	0.19		
	5	12.3483	18	32.407	0.11		
'83	6	12.3506	14	31.364	0.52	17.81	0.57
	7	12.3545	7	32.293	0.20	18.72	1.08
	8	12.3852	13	31.945	0.09	18.93	0.75
'84	9	12.4058	16	32.264	0.16	18.43	0.58
	10	12.2771	28	32.219	0.19	17.03	0.15
	11	12.3403	6	32.223	0.13	18.24	0.78
'85	12	12.2904	18	31.600	0.06	18.50	0.08

成果 : $\lambda = 08^{\circ}28'12.34302$ East = $127^{\circ}03'05.1451$ $\varphi = 37^{\circ}16'31.9034$ North $A = 170^{\circ}58'18.190$

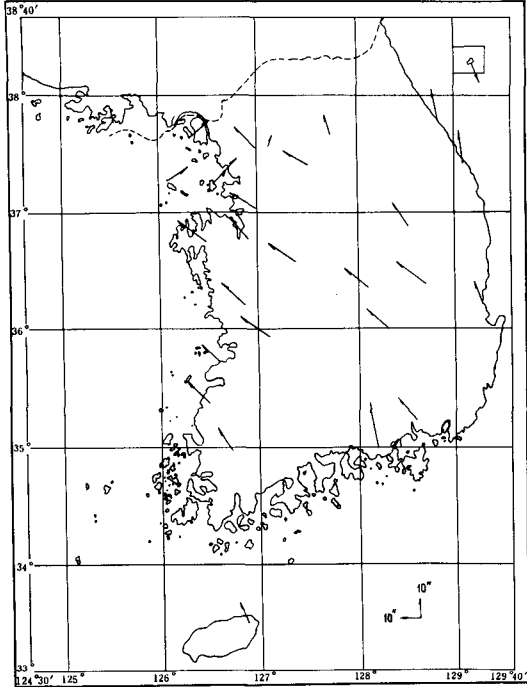


그림 1. 우리나라 天文測地 垂直線偏差

② 이를 기초로 각 次數의 重量을 다음과 같이 定하였다.

$$\text{重量 } P = \frac{1}{(S.D.)^2} \quad (2-5)$$

③ 觀測值의 最確值(一般平均)과 確率誤差를 算定하는 것을 原則으로 하였다. 그 계산식은 다음과 같다.

$$\text{最確值} = \frac{(\sum P_i X_i)}{(\sum P_i)} \quad (2-6)$$

여기서 X_i : 各 次數別 觀測值의 산술 평균값

다만 方位角計算에 있어서는 例年에 비하여 그 較差가 큰 1982年度 觀測分을 除外한 9次分의 觀測值를 사용하였다.

表-1은 그 成果이다.

그러나 각 觀測의 重量을 1로 하여 計算한 結果는 다음과 같다.

$$\text{經度} : 08^{\circ} 28' 12.34000'' (= 127^{\circ} 03' 05.71000'')$$

緯度 : $37^{\circ} 16' 32''.0101$

方位角 : $170^{\circ} 58' 18''.249$

3. 우리나라 測地基準網의 成立

현재의 우리나라 測地基準網(三角網 및 水準網)은 이른바 朝鮮土地調查事業에 의하여 1910年~1915年間에 設置된 測地基準網을 그 根幹으로 하고 있다.

朝鮮土地調查事業에 의한 測地事業量은 다음과 같다.⁷⁾

- 基線 : 13個所
- 大三角本點 : 400點
- 大三角補點 : 2,401點
- 小三角點 : 31,646點
- 水準測量 : 6,693km
- 檢潮所 : 5個所

3.1 三角測量

三角測量은 基線測量, 大三角本點測量, 大三角補點測量 및 小三角測量으로 구분하여 실시되었다.

基線測量은 1910年 大田基線의 위치 선정으로 시작되어 1913年의 古乾原基線의 측량이 완료될 때까지 모두 13個의 基線이 설치되었는데 이 基線들중에서 平壤基線의 길이가 약 4,625m 로서 제일 길고 安東基線은 약 2,000m로 그 길이가 가장 짧다. 基線測定에는 基線尺이 사용되었고 1/1,000,000 以上 그 全長에 영향을 미치는 補正은 모두 시행하는 것을 원칙으로 하고 있다. 測定成果는 매우 양호하여 대부분 正確度가 1/3,000,000내외였으나 현재 南韓地域의 基線중 사용할 수 있는 것은 하나도 없다.

大三角本點測量은 이를 基線網 및 大三角本點網의 두가지로 나누어 시행하였다. 基線網은 基線을 확대하여 大三角本點網의 한 辺을 設定하기 위한 三角網이고 大三角本點網은 大三角本點을 배치하기 위한 網이었다. 배치된 大三角本點의 平均 辺長은 약 30km로서 大三角本點은 현재의 1等三角點에 상당한다. 그리고 日本의 對馬島 1等三角點과 大三角本點測量의 起點인 絶影

島 및 巨濟島의 大三角本點을 연결하는 連結網의 平均計算의 결과는 그 中等誤差가 0.01로 알려지고 있어 상당히 좋은 결과임을 알 수 있다.

그러나 絶影島 및 巨濟島 大三角本點의 標識는 완전히 망실되었을 뿐만 아니라 오늘에 이르기까지 이에 가름할 三角點이 설치되지 아니한 상태이다. 基線網 및 大三角本點網의 계산은 日本 陸地測量部の 計算式에 준거하고 있다.

大三角補點測量은 小三角測量의 既知點으로 사용될 大三角補點(현재의 2等三角點)을 설치하기 위한 측량으로서 大三角補點은 經度 20', 緯度 15'의 方眼內에 既知 大三角本點을 합친 9點의 比率로 설치되었고(配點밀도 약 點/125km²) 點間 거리는 약 10km이다.

次數는 大三角本點을 既點으로 하여 第1次點을 결정하고 특별한 경우외에는 5次이내로 제한하였다. 觀測은 6對回의 方向觀測을 실시하여 平均値를 취하였고 倍角差는 10", 三角形의 閉合誤差는 7"이내로 하였으며 관측방향은 5方向 이내, 觀測角의 읽음단위는 秒단위였다. 大三角補點測量의 計算은 各 大三角補點에 있어서의 관측 결과와 大三角本點의 成果를 기초로 한 것이다.

小三角測量은 地籍圖 製作등을 위한 圖根測量의 기초를 제공하기 위하여 실시된 측량으로서 三角測量의 마무리 測量이라고 할 수 있는데 大三角測量의 成果를 기초로 실시되었다.

小三角點은 5km² 方眼內에 1等點(현재의 3等三角點에 해당) 1點 및 2等點(현재의 4等三角點) 3點의 比率로 설치되었으며 水平角관측은 方向觀測法에 의거하여 小三角 1等點은 4對回, 2等點은 3對回로 하였고 小三角1等點의 三角形의 허용폐합오차는 10"이다. 小三角 1等點의 平均計算은 日本 陸地測量部の 3等三角點 平均法에 준거한 平面直角座標 平均法, 그리고 2等點의 平均計算은 圖解法에 의하였다.

1912년에는 都市地域에 대한 土地調査事業을 조속히 추진하기 위하여 大三角測量이 완료되지 아니한 一部 도시지역과 大三角網과의 연결이 불가능하였던 울릉도에서는 獨立된 小三角測量을 시행하였는데 이를 特別小三角測量이라고 부르고 있으며, 나중에 特別小三角點을 大三角網과

연결하였으나 울릉도의 경우는 끝내 연결되지 못하였다.

3.2 水準測量

水準測量의 基準面 決定을 위한 檢潮는 水準測量에 앞서서 仁川, 木浦, 淸津, 元山 및 鎭南浦의 5個所에서 실시되었고 檢潮所에 설치된 自記檢潮儀에 의한 1~3年の 檢潮결과로부터 平均海面을 산출하였다.

우선 檢潮 自記記錄紙에 기록된 檢潮曲線과 基準低線 및 兩端 縱線에 의하여 區劃된 면적을 求積器로 계산하고 이 면적을 基準低線幅으로 나눈 값을 그날의 平均海面으로 취한 다음 그 總合을 總日數로 나눈 결과에서 浮標의 沈水量을 뺀 값을 平均海面으로 하였다.

이와 같이 구해진 平均海面을 地上에 고정하기 위하여 각 檢潮室에서 70m 이내 떨어진 곳에 水準起點을 엄밀히 매설하였다.

朝鮮土地調査事業에 의한 水準測量은 路線水準測量과 直接水準測量의 두 종류로 구분하여 시행되었는데 基線의 길이를 基準面上의 길이로 보정하기 위한 基線兩端點의 標高決定과 三角點의 標高決定을 그 목적으로 하였다.

路線水準測量의 1等路線에 있어서는 매 4km마다, 2等路線에 있어서는 매 2km마다 標石을 설치하였고 각 水準點의 標高는 全水準路線을 南北의 2個 水準網으로 나누어 平均計算에 의하여 산출하였다.

直接水準測量에 있어서는 水準路線 4km당 三角點 1點의 비율로 그 부근에 있는 三角點의 標高를 레벨로 측정하여 間接水準測量의 기초로 삼았다.

3.3 三角測量 및 水準測量 成果表

朝鮮總督府에서 발행한 「三角測量 및 水準測量 成果表」는 全 6券으로 되어 있다.

大三角本點 및 補點과 小三角 1等點에 대하여는 각각 그 經緯度 (B, L), 標高 (H), 眞北方向角 (α), 平面直角座標 (X, Y), 그 點과 任意點에 관한 平均方向角 및 거리, 그리고 基準으로

한 平面直角座標系名을 收錄하고 있다. 小三角 2等點에 대하여는 그 經緯度, 平面直角座標와 基準平面直角座標系名만을 수록하고 있다.

成果表에 기재되어 있는 平面直角座標系는 東部, 中部 및 西部의 座標系는 물론, 旧小三角測量(朝鮮土地調査事業 이전에 旧韓國政府에서 실시한 獨立的인 小三角測量을 확장한 측량) 區域에 적용된 11個의 假原點座標系를 말한다.

한편 水準點에 관하여는 등급의 구분없이 記号와 路線을 點의 配置圖에 表示하고 있고 그 標高를 cm까지 기록하였다. 이로 미루어 1等水準測量에 의하여 그 標石이 설치된 水準點의 成果만을 成果表에 기재한 것으로 믿어진다.

4. 測地測量的 現況과 展望

8·15光復後 우리나라의 測地事業은 6·25動亂이 계기가 된 軍用地圖의 製作을 위한 基準點 복구사업과 60年代 후반의 航空写真測量 方法에 의한 각종 地圖製作으로 이루어졌으나, 본격적이고 체계적인 測地事業이 推進되기 시작한 것은 國立地理院의 創設(1974年) 이후라고 할 수 있다.

현재 國立地理院에서는 精密三角測量과 基準點復旧를 중점사업으로 추진하는 한편 天文測量, 重力 및 地磁氣測量과 人工衛星觀測을 시행하고 있으며 그 技術 및 情報의 축적은 국제 수준에 이르고 있다.

이제 이러한 觀點에서 우리나라 測地測量的 現況을 分析하고 아울러 그 將來를 전망하고자 한다.

4.1 精密三角測量

精密三角測量은 光波測距儀를 사용한 三邊測量에 의해 보다 높은 正確度の 새로운 測地網 설정을 목적으로 하고 있으며, 1等 및 2等三角點으로 三角網이 形成되어 있고 그 平均邊長은 약 10km이다.

精密三角測量은 1975년에 시작되어 현재 총 1292點중 600點의 測量이 완료되고 있는데 그 作業의 概要는 다음과 같다.

① 單三角形으로 精密三角網을 形成하고 三邊測量을 원칙으로 하며 三角形의 來角은 25° 이상을 원칙으로 한다.

② 視通이 되지 않을 경우에는 偏心을 할 수 있으나 偏心距離(e)는 $e < 0.1S$ 를 限度로 한다. 여기서 S는 邊長이다.

③ 標高는 測標水準測量, 또는 直接水準測量에 의해 그 標高가 결정된 2個의 固定點에 의한 間接水準測量에 의하여 결정한다.

④ 거리측정의 Set數는 3Set로 하고 Set間의 측정간격은 20分 이상으로 하며, 氣象補正後의 測定值의 Set間 較差의 制限은 35mm로 한다.

⑤ 三角點의 平面直角座標는 mm單位, 經緯度는 0.0001, 角은 0.1, 邊長은 mm單位까지 산출하는 것으로 한다.

⑥ 平均계산은 1點固定 1方向指定의 XY 또는 BL網平均 계산으로 한다.

精密三角測量의 계산에 사용되고 있는 주요 計算式은 다음과 같다.⁸⁾

① 光波測距儀의 氣象補正 計算

$$D = D_s + (\Delta S - a \frac{P}{273.2 + t} + E) \cdot D_s$$

$$\text{여기서, } \Delta S = \frac{273.2(n_g - 1)}{273.2 + t_0} \cdot \frac{P_0}{760} - \frac{15.0 e_0}{273.2 + t_0} \cdot 10^{-6}$$

D = 氣象補正이 끝난 거리(m)

D_s = 氣象補正을 하지 않은 거리(m)

P₀ = 光波測距儀가 기준으로 하는 기압(mmHg)

P : 測點1과 測點2의 平均기압(mmHg)

t₀ : 光波測距儀가 기준으로 하는 온도(°C)

t : 測點1과 測點2의 平均온도(°C)

e₀ : 光波測距儀가 기준으로 하는 수증기압(mmHg)

E : 濕度項(관측하지 않은 경우에는 0.6×10^{-6} 을 사용)

n_g : 群速度에 대한 屈折率(0°C, 760 mmHg, 0.03% CO₂의 공기)

보통 ΔS , α , E 로는 사용한 光波測距儀에 주어진 값을 채택한다.

② 準據橢圓體面上에서 投影補正 計算

$$S = D \sqrt{\frac{1 - (h/D)^2}{(1 + H'_1/R\alpha)(1 + H'_2/R\alpha)}} + \frac{D^3}{24R\alpha^2} \cdot (1 - K)^2 \quad (4-2)$$

여기서, $K = 0.2$

$$H'_1 = H_1 + i_1$$

$$H'_2 = H_2 + f_2$$

$$h = H'_2 - H'_1$$

H_1 : 測點1의 標高

H_2 : 測點2의 標高

i_1 : 測點1의 器械高

f_2 : 測點2의 器械高

$R\alpha$: 方位角 γ 를 가지는 法載面의 曲率半徑

S : 準據橢圓體面上의 距離 (球面距離)

D : 測定距離

③ XY 網平均

• 方向補正

$$(4-3)$$

$$t_{12} = T_{12} + (t_{12} - T_{12}), \quad t_{21} = T_{21} + (t_{21} - T_{21})$$

$$(t_{12} - T_{21})'' = -\frac{\rho''}{4R_0} \cdot (y'_1 + y'_2)(x'_2 - x'_1) +$$

$$\frac{\rho''}{12R_0} \cdot (x'_2 - x'_1)(y'_2 - y'_1)$$

$$(t_{21} - T_{21})'' = \frac{\rho''}{4R_0} \cdot (y'_1 + y'_2)(x'_2 - x'_1) +$$

$$\frac{\rho''}{12R_0} \cdot (x'_2 - x'_1)(y'_2 - y'_1)$$

• 距離補正

$$\left(\frac{S}{S}\right)'' = 1 + \frac{1}{6R_0^2} \cdot (y_i'^2 + y_i' y_j' + y_j'^2) \quad (4-4)$$

• 觀測方程式

i) 거리의 관측방정식

$$v_{(S_{12})} = -b_{12}\Delta x - a_{12}\Delta y + b_{12}\Delta x_2 + a_{12}\Delta y_2 - \frac{s_{12} - s_{12}'}{s_{12}'} \cdot \rho'' \quad (4-5)$$

ii) 方向角의 관측방정식

$$v(t_{12}) = -\Delta Z_1 + a_{12}\Delta x_1 - b_{12}\Delta y_1 - a_{12}\Delta x_2 + b_{12}\Delta y_2 - l_{12} \quad (4-6)$$

여기서, $s_{12}' = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2}$

$$l_{12} = Z'_1 + U_{12} - \tan^{-1} \left(\frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1} \right)$$

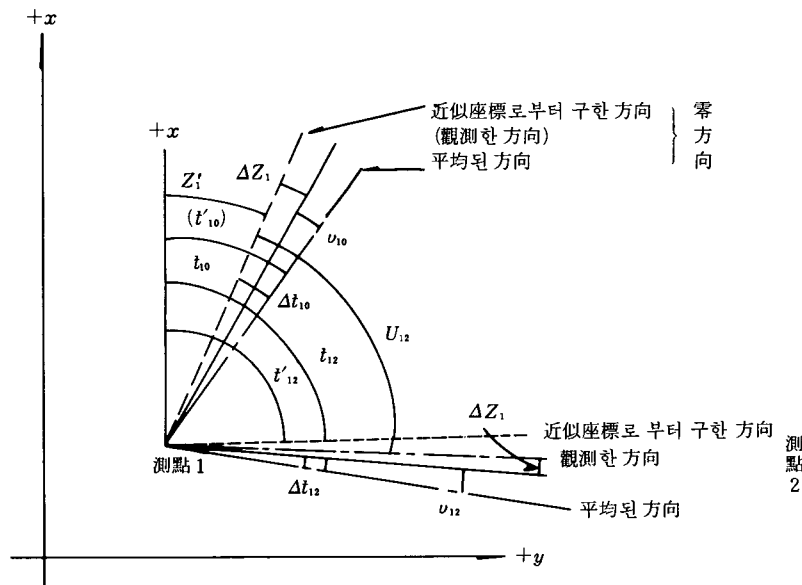


그림 2.

$$a_{12} = \frac{y'_2 - y'_1}{S_{12}^2} \cdot \rho''$$

$$b_{12} = \frac{x'_2 - x'_1}{S_{12}^2} \cdot \rho''$$

$$x_1 = x'_1 + \Delta x_1$$

$$y_1 = y'_1 + \Delta y_1$$

$$x_2 = x'_2 + \Delta x_2$$

$$y_2 = y'_2 + \Delta y_2$$

R_o : 座標系 原點의 平均 曲率半徑

t_{ij} : 測點 i 로부터 測點 j 의 座標面上의 觀測方向角

T_{ij} : 測點 i 로부터 測點 j 의 球面上的 觀測方向角

x_i, y_i : 測點 i 의 x, y 座標(最確值)

x'_i, y'_i : 測點 i 의 x, y 座標(近似值)

$\Delta x_i, \Delta y_i$: 測點 i 의 x, y 座標(補正值)

s_{ij} : 測點 i 로부터 測點 j 의 座標面上의 측정거리

S_{ij} : 測點 i 로부터 測點 j 의 球面上的 측정거리

ΔZ_1 : 標定誤差(標準角에 대한 補正值)

Z'_1 : 標準角(測點1과 그 零方向의 근사 좌표로부터 구한 方向角)

U_{12} : 測點1에서의 零方向과 測點2의 座標面上的 來角

• 觀測方程式의 重量

i) 거리의 觀측방정식의 重量

$$P_s = \frac{m_s^2 S^2}{(m_s^2 + \gamma^2 S^2) \cdot \rho''^2} \quad (4-7)$$

ii) 方向角의 觀측방정식의 重量

$$P_t = \frac{N_t}{N} \quad (4-8)$$

iii) 方位角의 觀측방정식의 重量

$$P_A = \frac{N_A}{N} \quad (4-9)$$

여기서, S : 測定距離

m_s : 測距儀에 의한 거리의 측정에서 거리의 長短에 關係없이 生기는 平均제곱오차

γ : 測距儀에 의한 거리의 측정에서 거리에 比례하는 오차의 比例定

數

m_t : 角의 1方向의 平均제곱오차

N : 所定의 觀測對回數

N_t : 실제로 觀측한 方向角의 觀測對回數

N_A : 실제로 觀측한 方位角의 觀測對回數

한편 經緯度座標는 지구 전체를 통한 연결좌표이기 때문에 經緯度網平均法은 어떠한 큰 網에서도 적용할 수 있는 平均法인데, 여기서는 紙面關係상 省略하지만 앞으로 빠른시일內에 XY 網平均計算 프로그램은 물론 BL 網平均計算 프로그램을 개발·實用을 도모하여야 할 것이다.

당면과제중에서 技術的인 懸案事項을 抽出하여 그 改善 또는 發展方向을 제시하자면 다음과 같다.

① 大韓民國經緯度原點은 有心多角網을 통하여 精密三角網에 연결되어야 하며, 原點에는 150~200m 높이의 철근콘크리트塔을 세우고 測標로서는 回光燈(Signal Lamp)을 사용하여야 한다.

② 精密三角測量에서 網平均은 최소자승법에 기초하여 未知點의 座標를 미지량으로 한 觀測方程式에 의하여야 하며, 보다 적용범위가 넓은 經緯度網平均에 의해 시행되는 것이 바람직하고, 전국에 걸친 同時網平均을 原測으로 하여야 한다.

또한 앞으로 測地網의 平均에서는 '84年度의 測地研究에서 提示된 바와 같이 構메르카토르投影法을 채용하고, 平面直角座標系는 현재의 3系에서 6~7系로 하여야 할 것이며 0.9999와 같은 1보다 작은 座標原點 縮尺系數를 導入하여야 할 것이다.

③ 精密三角測量은 三邊測量方式을 원칙으로 하고, 이때 進行方向에 직각인 方向의 誤差를 감소시키기 위해 正밀삼각망內에 Laplace點을 設定해야 한다.

그리고 人工衛星觀測에 의하여 精密測地網에 큰 邊長(약 500km)과 그 方位를 부여하여 길이의 오차누적과 網의 歪曲을 바로 잡는다.

④ 전국에 걸친 일괄 同時網平均에 의한 實用 成果計算을 해야 할 것이며, 成果更新벡터 및

거리변화량의 계산으로 기존 실용성과의 正確度와 그 變動量등을 조사분석하여 필요한 경우 일부 실용성과의 잠정적인 更新을 도모하는 일도 바람직 할 것이다.

4.2 三角點復旧

三角點復旧는 亡失 또는 損壞된 國土의 位置 기준이 되는 3等 및 4等三角點을 再設 또는 復旧하기 위한 測量으로서, 國立地理院에서는 이를 用役事業으로 추진하여 마무리단계에 있으며 그 내용은 다음과 같다.

① 水平角觀測은 方向觀測法에 의한 3對回 관측으로 하고 한 測點에서의 方向數는 2方向 이상 6方向이하로 한다.

② 倍角差는 20", 觀測差는 10"를 허용범위로 한다.

③ 鉛直角觀測은 1對回 관측으로 하고 高度定數制限은 15"로 한다.

④ 水平位置의 平均 계산은 條件方程式에 의한 BI 網平均計算으로 하고, 이에 두 三角點의 經緯도로부터 구하여진 거리 및 방위각으로 계산한다.

⑤ 標高計算은 既知 三角點의 標高로 부터의 高低計算으로 한다.

3等 및 4等三角點은 지도제작을 비롯한 각종 公共測量에서 가장 活用度가 높는데 반하여, 그 성과는 다른 삼각점과의 相關關係가 명확하지 않고, 좌표의 精確도를 객관적으로 평가할 수 없는 문제점을 내포하고 있다.

따라서 전국적으로 통일되고, 높은 精確도의 效果的인 測量方式에 의해 成果가 결정되어야 할 것이며, 그 方案은 다음과 같다.^{8) 9)}

① 3等 및 4等三角點으로 구성되는 三角網을 精密三角網에 結合시키며, 三角形의 夾角은 25° 이상을 원칙으로 한다.

② 三邊測量方式을 원칙으로 하고 좌표의 精確도는 水平位置 3cm, 標高 5cm로 한다.

③ 水平位置 계산은 觀測方程式에 의한 1點固定 1方向指定의 XY 網平均 계산에 의하고, 經緯度는 橫메르카토르投影法에 의한 XY - 經緯度 變換 계산에 의하여 산출한다.

④ 高低計算은 網平均 계산에 의하고 直接水準測量에 의하여 결정된 임의의 삼각점의 標高를 基準으로 한다.

⑤ 삼각점의 平均직각좌표, 經緯도, 角, 辺의 길이 등은 精密三角測量에 준한다.

⑥ 實用成果는 座標系별로 同時網平均 계산에 의해 산출한다.

위와 같이 3·4等 三角點이 同一 正確度로서 統一的으로 再整備하여야 할 것이다.

4.3 水準測量

水準測量은 精密水準測量과 水準點復旧로 구분하여 실시되고 있으며, 精密水準測量은 1等水準測量에 해당하고 水準點復旧는 2等水準測量에 해당된다.

國立地理院에서는 840點의 1等水準點과 3761點의 2等水準點의 설치를 계획하고 용역사업으로 그 99% 이상을 完了하고 있다.

精密水準測量과 水準點復旧의 測量方式의 概要는 아래와 같다.¹⁰⁾

① 1等水準路線은 水準原點을 그 出發點 및 終點으로 하고 원칙적으로 環을 형성하여야 하며, 2等水準路線은 1等水準點 또는 既設 2等水準點에 結合되도록 형성하여야 한다.

②

區 分	精密水準測量	水準點復旧
往復觀測의 較差	2.5mm \sqrt{S}	5.0mm \sqrt{S}
環閉合差	2.0mm \sqrt{S}	5.0mm \sqrt{S}
視準距離	最大 50m	最大 60m
읽음單位	0.1mm	1mm

여기서, S : 片道距離

③ 水準點의 標高는 觀測值에 橢圓補正을 한 결과에 기초하여 水準網平均計算을 시행하여 구하는 것으로 한다.

水準測量計算에 사용되는 橢圓補正計算式은 다음과 같다.

$$K = 5.29 \cdot \sin 2B \cdot \frac{B_1 - B_2}{\rho'} \cdot H$$

여기서, K : 楕圓補正數 (mm單位)

B_1, B_2 : 水準路線의 출발점 및 중점의 緯度 (分單位)

$B : (B_1 + B_2) / 2$

H : 水準路線의 平均標高 (mm單位)

$\rho' : 1 / \sin 1'$

水準測量의 誤差는 기본적으로 그 觀測距離에 비례하여 누적되는데, 오차의 누적을 最小化하기 위한 개선방안은 다음과 같다.

① 出發點 또는 도착점이 되는 點에서는 그 標識의 변동有無를 조사하기 위하여 그 點과 인접 水準點을 연결하는 檢測을 실시한다.

② 水準測量의 계산은

- 觀測結果에 의한 高低差의 계산
- 標尺補正計算
- 楕圓補正計算
- 觀測의 平均제곱 誤差의 계산
- 網平均計算

의 順으로 시행하여야 할 것이다.

4.4 天文測量 및 人工衛星測量

天文測量은 經緯度原點과 均일한 配點密度가 되도록 選點한 1等 및 2等三角點 등에서 天文經緯度 및 天文方位角을 觀測하여

- 經緯度原點 數值의 決定
- 觀測誤差의 누적 및 局地重力異常등에 起因하는 測地網의 規正
- 重力測量과 組合하여 지오이드의 상세한 形狀의 決定

등을 위한 자료를 얻는것을 目的으로 하고있고, 人工衛星測量은 NNSS方式에 의하여 觀測點의 위치 또는 地上에서 視通하기 어려운 地點間的 상대적 위치관계를 결정하여

- 落島位置의 決定
- 國際的인 測地網結合을 그 目的으로 하고 있다.

天文點은 精密測地網의 Laplace點 및 天文지오이드點으로 活用될 것으로 기대되며, 현재 40點中 30點의 測量이 완료되고 있으나 현재의 配點密度로는 그 기능을 다 할 수 없으며 적어도 80點~100點의 天文點이 必要한 것으로 생각된다.

다.

人工衛星測量은 현재 20個所中 5 개소에서 的 落島位置決定을 위한 觀測이 완료되고 있으며, 세계적으로 볼때 1987년부터는 測位正確度가 cm 정도로 알려진 GPS가 實用단계에 이를 것으로 전망되고 있다.

GPS가 실용화되면 우리나라에서도 加급적 빨리 이 方式을 導入하여야 함은 물론, 우리나라 測地系와 세계적 測地系와의 偏位量 計算 및 測地網의 規正, 지오이드觀測을 推進하여야 할 것이다.

그리고 레이저測距儀등에 의한 人工衛星基準點 設置를 위한 調查研究를 추진하여 技術의 국제화를 도모하여야 할 것이다.

4.5 重力 및 地磁氣測量

重力測量은

- 測地測量의 기초가 되는 地球 形狀의 決定
- 지오이드高의 計算
- 地殼内部構造의 調查研究
- 全國의 精密한 重力 分布의 究明

등을 위한 資料의 整備를 目的으로 하고 있으며 현재 총 2,000點의 觀測을 計劃하여 866點의 觀測을 完了하고 있다.

그리고 地磁氣測量은

- 全國의 地磁氣 3成分의 地理的 分布 究明
- 이를 기초로 基本圖의 磁針方位決定, 一般測量의 方位決定과, 航空·航海 및 物理探鑛등에 應用될 地磁氣圖의 作成
- 地殼内部構造의 調查研究

등에 사용될 資料의 整備·提供을 目的으로 하며 현재 1等地磁氣點 30點과 2等地磁氣點 900點의 觀測을 計劃하여 각각 4點, 560點의 觀측을 완료하고 있다.

重力 및 地磁氣測量은 直營事業으로 계획, 실시되고 있으나 아직 歷史的 傳統이 日淺하여 成果計算에서의 體制 및 技法이 確立되지 못하고 있으므로 이의 해결을 위해 다음과 같은 노력이 뒷받침되어야 할 것이다.

重力測量에 있어서는

- 地域的인 重力測量的 基點으로 사용한 1 等重力點의 新設
- 보다 有用한 檢基線의 設定
- 重力基準點에 있어서의 重力 絕對測定
- 각종 成果計算의 體系化 등이 검토·실현 되어야 할 것이다.

地磁氣測量에 있어서는

- 2 等 地磁氣測量的 促進
- 測地觀測所의 設치, 운영
- 각종 成果計算의 體系化 등이 도모되어야 할 것이다.

또한 1 等重力點의 設치數는 20~30點이 적당 할 것으로 생각되며, 地磁氣測量機器의 개발· 檢정과 자료의 正비를 위하여 1~2個所의 測地 觀測所의 設치· 운영을 추진하여야 할 것이다.

5. 結 論

本 研究를 통하여 얻어진 大韓民國經緯度原點의 數値와 精密測地網 設定의 基本方向 및 發展 指標는 다음과 같다.

가. 다음을 大韓民國經緯度原點의 數値로 한다.

經 度 : 127°03'05".1451

緯 度 : 37°16'31".9034

原方位角 : 170°58'18".190

準據橢圓體 : 뱃셀橢圓體

그리고 위 原點에서 $\zeta = 0$, $\eta_0 = 0$ 즉 垂直線 偏差는 零으로 하며 지오이드高는 仁川水準原 點아래 26.6871m이다.

나. 精密測地網의 효과적인 正비를 위하여 현재의 精密三角測量을 精密 1次基準點 測量으로 改稱하고 3等 및 4等三角點을 대상으로 하는 새로운 精密 2次基準點網을 형성하며 精密 1次 및 2次基準點測量은 三邊測量方式에 의하는 것을 원칙으로 한다. 그리고 大韓民國經緯度原點을 精密 1次基準點網에 結合한다.

다. 精密 1次 및 2次基準點의 實用成果는 各 各 전국에 걸친 BL網平均 및 各 平面直角座標 系別 XY網平均 結果를 사용하여 算定하고 현재의 實用成果는 위와 같은 새로운 實用成果가 算定될 때까지 사용하는 것으로 한다.

라. 水準點에 대하여는 반복측량을 추진하여

그 成果를 更新한다.

마. 天文測量 및 人工衛星測量에 있어서는 精密測地網의 規正등을 위한 資料의 초기 正비를 위하여 天文點의 增設, 人工衛星 반복觀측점의 新設을 도모하며, 重力 및 地磁氣測量에 있어서는 기술 및 성과의 高度化와 초기正비를 추진하고 필요한 경우 새로운 測量體制를 도입한다.

바. 각종 測量은 우리나라 實정에 알맞은 測量方式을 도입하고 이에 따른 作業規程을 작성한 후 당해 作業규정에 準하여 엄격하게 시행한다.

사. 測地觀測所, 測量機器 檢定施設등과 같은 測地施設을 加급적 빠른 시일내에 設置하여 운영한다.

아. 특히 각종 測量計算은 모두 전산처리에 의하도록 하고 이에 필요한 프로그램의 개발을 추진한다.

謝 辭

本 研究는 韓國測地學會가 遂行한 國立地理院의 1985年度 研究事業으로서, 本 研究를 위하여 좋은 資料의 提供과 많은 協助를 해주신 國立地理院 및 韓國測地學會에 謝意를 表하는 바 이다.

參考文獻

1. 建設部 國立地理院, 測地技術發展研究報告書(韓國 原點에 관한 測地學의 考察), 建設部 國立地理院, 서울, pp. 21~35, pp. 33~35, p. 50.
2. 萩原幸男, 測地學入門, 東京大學出版會, 東京, 1982, pp. 118~119.
3. 國立建設研究所, 精密天文測量, 國立建設研究所, 서울, pp. 110~277.
4. Torge, W., Geodesy, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1980, pp. 68~79.
5. 金宇哲 外, 現代統計學, 英志文化社, 서울, 1982.
6. 日本測量協會, 現代測量學: 第 3卷(一般測量), 大日 本印刷(株), 東京, 1982.
7. 朝鮮總督府 臨時土地調查局, 朝鮮土地調查事業報告 書, 凸版印刷(株), 東京, 1918, pp. 662~664.
8. 日本測量協會, 精密測地網: 一次基準點測量 作業規 程(案), 日本測量協會, 東京, pp. 23~40.
9. 日本建設省 國土地理院, 精密測地網: 二次基準點測 量作業規程(案), 國土地理院, 東京, 1980, pp. 2~ 17.
10. 日本測量協會, 水準測量作業規程, 日本測量協會, 東京, 1977, pp. 14~17.