經緯度 座標 φ, λ에 의한 測地網의 同時調整

Simultaneous Adjustment of Geodetic Networks by Geographical Coordinates φ, λ

白 殷 基*
Baick, Eun Kee
李 榮 鎭**
Lee, Young Jin
崔 允 秀***
Choi, Yun Soo

Abstract

This paper deals with simultaneous geodetic networks adjustment by geographical coordinates(φ, λ). The adjustment computation is performed by variation of coordinates, and the classical method with fixed points and free networks are also compared. Provisional values for observation equations are computed by extended Gauss-mid lattitude formula using existing official coordinates. Bessel ellipsoid and unit weight are adopted.

The processing of a test-network by distances yields the average root mean square error of position 6.2 cm for classical method and 2.4cm for free networks. The standard error of unit weight in a test-network is 1.66×10^{-6} radian(0.3″), and the analysis of error ellipses shows that free networks are more normally distributed errors.

要 旨

본 論文에서는 經緯度 座標(φ, λ)에 의해 測地網을 同時調整하는 컴퓨터 프로그램을 작성하고, 1點 1方向 固定인 경우와 自由網조정의 두 경우를 검토하였다. 舊成果를 初期値로 이용하고 Hubeny에 의해 확장된 Gauss의 平均緯度式을 사용하였으며, 座標調整法에 의해 調整計算을 실시하였다. 基準楕圓體로는 Bessel 치를 사용하고, 觀測에 대한 重量을 1로 가정하였다.

우리 나라 일부지역의 實測데이타를 적용한 결과 平均位置誤差가 1점 1방향 고정의 경우 6.2 cm, 自由網의 경우는 2.4 cm로 나타났다. 적용된 三邊網의 單位重量에 대한 標準誤差는 1.66×10^{-6} 라디안(0.3″)이고, 誤差楕圓을 분석한 결과 自由網이 오차분배면에서 효과적임을 보여 주고 있다.

* 正會員 · 서울市立大學 敎授, 土木工學科
** 正會員 · 서울市立大學 助敎, 土木工學科
*** 正會員 · 서울市立大學 大學院 碩士過程

1. 序 論

우리 나라의 1 등 測地網은 1910 년～1918 년의 土地調査事業을 통하여 이루어 졌다. 당시의 網은 13 개의 블록으로 구성하여 각 블록 내에 하나씩의 檢基線을 설치하고 총 400 점(남한 189 점)의 1 등 三角點으로 구성되었다[1,2].

관측된 각은 測點調整을 통하여 方向으로 바꾼후, 각각의 網(블록)에 대하여 조정을 실시하였다. 검기선을 증대시킨 변장과 조정을 끝낸 블록의 변장을 고정시킨 후, 條件式에 의해 調整을 (method of conditions)하였다. 동일 블록 내의 점의 座標(φ, λ)는 Schreiber 식에 의해 主問題 (direct problem)에 의해 구하였으며, 이때에도 既知點(이미 구한 점의 값)을 고정하여 계산하였다.

그러므로, 이와같은 각, 거리, 좌표의 조정값은 고정점의 오차(分散—共分散)를 무시하였으므로 해석법이 아니며, 각 블록내에서는 方向補正을 위한 점(laplace point)이 없기 때문에 우리 나라의 網 전체에 비틀림이 내재되어 있다.

이상과 같이 手計算에 의해 조정을 하는 과정에서 연산을 줄이기 위한 半解析的인 방법 (semi-rigorous method)과 條件式에 의한 방법을 채택하였으나, 근래에는 컴퓨터의 발달로 座標調整法에 의한 測地網의 同時調整이 가능하게 되었다[3,4,5].

우리 나라의 測地網에서도 동시조정을 통한 再調整이 절실하며, 진행중인 정밀 삼각망에 적용될 수 있다.

이러한 同時調整法에는 投影을 어떻게 適用시키느냐에 따라 다음 두가지로 대별된다[6].

먼저 地表面上의 觀測值를 楕圓體상의 값으로 補正한 후, i) 楕圓體상의 거리, 방향등을 이용하여 φ, λ 座標調整을 실시하고, 經緯度 座標를 구하는 방법, $x=h(\varphi, \lambda)$, $y=i(\varphi, \lambda)$의 투영 계산에 의해 x, y 좌표를 구할 수 있다.

ii) 楕圓體상의 거리, 방향을 축척계수를 이용한 距離補正, 方向補正($t-T$); 子午線收差(ν)에 대해 보정을 하여 平面상의 값으로 만든 후 X, Y 망으로써 座標調整을 실시하여 평면직각좌표를 구하는 방법. 여기서는 $\varphi=P(x, y)$, $\lambda=Q(x, y)$의 투영계산에 의해 φ, λ를 구할 수 있다.

이 두 방법은 地域의 크기에 따라 선택되지만 國家基準點網일 경우에는 보통 i)의 방법에 따르며 ii)는 보정량이 커져 망에 비틀림이 발생하므로 좁은지역에 적용되는 것이 보통이다.

본 연구에서는 i)의 방법에 따른 φ, λ망을 座標調整法을 적용하여 프로그램을 구성하고 측지망을 조정계산하고자 하였으며, 또, 1점 1방향 고정과 자유망 조정에 대하여 검토코자 하였다[7,8,9].

여기서 基準楕圓體로는 벳셀값을 채택하였으며, 관측에 대한 重量은 1로 가정하였다.

2. 座標調整法

좌표조정법(variation of coordinates)에서는 개개의 관측에 대하여 다음과 같은 觀測方程式으로 나타낼 수 있다[6,10,11].

$$AX=L+V \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, V는 잔차 벡터, A는 계수 메트릭스 또는 설계 메트릭스, X는 미지좌표에 대한 보정량 벡터로서 경도보정량 $\delta\lambda$, 위도보정량 $\delta\varphi$로 구성된다. 또, L은 관측치와 초기치와의 차이에 대한 벡터이다. 중량 메트릭스 P는 각각의 관측방정식에 적용될 수 있다.

윗 식 (1)에서 관측방정식의 수 m이 미지수의 수 n보다 클 경우 最小제곱법의 원리를 적용하여 다음 조건이 만족되도록 한다. 즉,

$$V^TPV=\min \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 V^T는 V의 전치행렬이다.

위 (2)식의 조건을 만족하기 위해서는 다음과 같은 正規方程式(normal equation)을 푸는 결과와 일치된다.

$$A^TPAX=A^TPL \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서 $A^TPA=N$, $A^TPL=t$로 놓으면,

$$X=N^{-1}t \quad \cdots\cdots (4)$$

가 된다. 이식이 보정량 $\delta\lambda_i$, $\delta\varphi_i$를 구하는 식이 된다.

또, $Q=N^{-1}=(A^TPA)^{-1}$은 중량에 대한 계수행렬이며 벡터 $\mathbf{X}$에 대한 分散—共分散 메트릭스(variance-covariance matrix)는 다음과 같다.

$$\Sigma=\sigma_0 Q \quad \cdots\cdots (5)$$

여기서, σ_0는 重量 1이 관측의 標準誤差로서 다음 식에 의해 구한다.

$$\sigma_0=\sqrt{\frac{V^TPV}{m-n}} \quad \cdots\cdots (6)$$

미지량(보정량)과 표준오차의 계산은 위의 각 식에 의해 구하면 되나 수치계산을 간단히 하기 위해서는 반복계산을 적용한다.

3. 自由網(Free Network)

앞서의 식 (4)와 같이 관측방정식에 의해 自由網을 조정하고자 하는 경우에는 正規方程式이 特異(singular)가 되어 일반적으로 解가 구해질 수 없다. 즉, N의 rank r이 미지수의 수 n에 대해 $r<n$이므로

$$\det(N)=0 \quad \cdots\cdots (7)$$

이 성립된다.

그러므로 몇개의 좌표(평면 삼변망의 경우 $d=3$)를 고정하는 데, 이 고정점을 어떻게 선택하느냐에 따라 位置의 誤差楕圓이 변화한다. 결국, 이 방법으로는 正確度의 절대적인 기준을 나타낼 수 없으므로 Meissl에 의해 제시된 조건이 더 필요하다[7]. 즉, $X^TX=\min$의 조건에 추가하여

$$\mathrm{tr}(Q)=\min \quad \cdots\cdots (8)$$

인 조건이 필요하다.

E. Mittermayer는 Bjerhammar의 正規行列에 대한 一般逆行列을 사용하여 윗 식 (8)의 조건을 만족시키는 방법을 고안하였다[5,7,8,9].

(증명에 대해서는 문헌 [7]참조) 즉, 식 (3)의 정규방정식을 다시 쓰면,

$$\underset{(n\times n)}{B}\;\underset{(n\times 1)}{X}=\underset{(n\times 1)}{R} \quad \cdots\cdots (9)$$

이 때 $B=A^TA$, $R=A^TL$ 임.

벡터 X에 대한 解를 구하면 다음과 같이 된다.

$$X=B(BB)^-R \quad \cdots\cdots (10)$$

$R=A^TL$ 이므로

$$X=B(BB)^-A^TL \quad \cdots\cdots (11)$$
$$=DL$$

이 되어 L의 함수 임을 알 수 있다.

分散—共分散 메트릭스를 구하기 위해 誤差傳播法則을 적용하면,

$$Q=DD^T$$
$$=\{B(BB)^-A^T\}\{B(BB)^-A^T\}^T$$
$$=B(BB)^-B(BB)^-B \quad \cdots\cdots (12)$$

가 된다.

$\mathrm{tr}(Q)=\min$이 성립하면 미지수에 대한 표준오차의 합도 역시 최소가 된다. 즉,

$$\sum_i \sigma_{xi}^2=\sigma_0^2\sum_i Q_{ii}=\min \quad \cdots\cdots (13)$$

그러므로 平均位置誤差는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\sigma_p=\pm\sigma_0\sqrt{\frac{\mathrm{tr}(Q)}{n}} \quad \cdots\cdots (14)$$

여기서, n은 網에서의 점(stations)의 수이다.

4. 觀測方程式

타원체상의 점 P_i와 P_j 거리는,

$$S_{ij}=S(\varphi_i, \lambda_i, \varphi_j, \lambda_j) \quad \cdots\cdots (15)$$

로 쓸 수 있으며 윗 식을 Taylor 급수로 전개하여 線形化하면 (16)식과 같다[6,11,13].

$$S_{ij}=S(\varphi_i^{(0)}, \lambda_i^{(0)}, \varphi_j^{(0)}, \lambda_j^{(0)})+\delta S$$
$$=S^{(0)}+\delta S, \quad \cdots\cdots (16)$$

$S^{(0)}$는 초기좌표 $\varphi_i^{(0)}, \lambda_i^{(0)}$와 $\phi_j^{(0)}, \lambda_j^{(0)}$으로 부터 계산된 값이다.

전체 미분 δS는

$$\delta S=\frac{\partial S}{\partial\varphi_i}\delta\varphi_i+\frac{\partial S}{\partial\lambda_i}\delta\lambda_i+\frac{\partial S}{\partial\varphi_j}\delta\varphi_j+\frac{\partial S}{\partial\lambda_j}\delta\lambda_j$$
$$=c_1'\delta\varphi_i+c_2'\delta\lambda_i+c_4'\delta\varphi_j+c_5'\delta\lambda_j, \quad \cdots\cdots (17)$$

이고, (17) 식중의 계수는 표 1과 같으며, 타원체 상의 거리에 대한 관측방정식은 다음과 같이 된다.

$$r_{ij}^S=c_1'\delta\varphi_i+c_2'\delta\lambda_i+c_4'\delta\varphi_j+c_5'\delta\lambda_j$$
$$+S_{ij}^{(0)}-S_{ij}, \quad \cdots\cdots (18)$$

단, S_{ij}는 地表面 상에서 觀測된 공간상의 거리를 楕圓體 상으로 화성하여 얻어진 타원체 상에서의 값이다.

같은 방법으로 方位角에 대한 觀測方程式은,

$$r_{ij}^{\alpha}=a_1'\delta\varphi_i+a_2'\delta\lambda_i+a_4'\delta\varphi_j+a_5'\delta\lambda_j$$
$$+\alpha_{ij}^{(0)}-\alpha_{ij}, \quad \cdots\cdots (19)$$

이고, 계수는 표 1과 같다. α_{ij}는 천문 방위 각 A_{ij}를 타원체상으로 화성하여 얻어진 값이고,

$\alpha_{ij}^{(0)}$는 초기좌표에서 계산된 방위각이다.

方向 觀測方程式은,

$$r_{ij}^{d}=a_1'\delta\varphi_i+a_2'\delta\lambda_i+a_4'\delta\varphi_j+a_5'\delta\lambda_j$$
$$-\delta\Omega_i+d_{ij}^{(0)}-d_{ji}-\Omega_i^{(0)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

단, $\Omega_i^{(0)}$는 標準角의 初期値, $\delta\Omega_i$는 標定誤差, d_{ij}는 方向의 觀測値, $d_{ij}^{(0)}$는 方位角으로 계산한 d_{ij}의 初期値이며, $\Omega=\delta\Omega_i+\Omega^{(0)}$이다.

또한 水平角의 觀測方程式은

$$r_{ijk}^{\omega}=(a_1'(k)-a_1'(j))\delta\varphi_i+(a_2'(k)$$
$$-a_2'(j))\delta\lambda_i+a_4'(k)\delta\varphi_k+a_5'(k)\delta\lambda_k$$
$$-a_4'(j)\delta\varphi_j-a_5'(j)\delta\lambda_j+\omega_{ijk}^{(0)}-\omega_{ijk}\cdots(21)$$

가 된다. 단, $\omega_{ijk}^{(0)}$는 초기 좌표값으로부터 계산된 타원체상의 값이며 ω_{ijk}는 타원체상으로 화성된 관측값이다.

표 1. [6]

미지수	첨자	관측각 또는 방향 a'	관 측 거 리 c'
φ_i	1	$M\sin\alpha/S$	$-M\cos\alpha$
λ_i	2	$N'\cos\alpha'\cos\varphi'/S$	$N'\sin\alpha'\cos\varphi'$
φ_j	4	$M'\sin\alpha'/S$	$-M\cos\alpha'$
λ_j	5	$-N'\cos\alpha'\cos\varphi'/S$	$-N'\sin\alpha'\cos\varphi'$

표 1에서,

$$N=\frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{卯酉線 반경}$$

$$M=\frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)^2}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\text{子午線 반경}$$

특별한 경우로서 Hubeny는 平均緯度를 사용할 수 있는 식을 제시하고 있다[3,4,5,12,13].

한 예로서, 距離 觀測方程式의 경우는

$$v=-a_s\delta\lambda_1-b_s\delta\varphi_1+a_s\delta\lambda_2+b_s'\delta\varphi_2$$
$$+\frac{S_{prov}-S_{obs}}{S_{prov}}\rho, \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

가 된다.

여기서

$$a_s=\frac{N\cos\phi\sin\alpha}{S_{prov,}}$$

$$b_s=\frac{M\cos\alpha}{S_{prov}}+\frac{N\sin\phi\sin\alpha}{2S_{prov}}\cdot\frac{\Delta\lambda}{\rho},$$

$$b_s'=\frac{M\cos\alpha}{S_{prov}}-\frac{N\sin\phi\sin\alpha}{2S_{prov}}\cdot\frac{\Delta\lambda}{\rho},$$

단,

$$\phi=\frac{\phi_1+\phi_2}{2}\cdots\cdots\cdots\text{점 1과 점 2의 평균위도}$$

$$\Delta\lambda=\lambda_2-\lambda_1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{경도의 차이}$$

$$\alpha=\frac{A_{12}+A_{21}\pm180°}{2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{평균 방위각}$$

첨자 prov. (provional values) 초기치
obs. (observations) 관측치

5. φ,λ網 調整 프로그램

座標調整法에 의하여 測地網을 同時調整(simultaneous adjustment)하기 위하여 그림 1과 같이 1점 1방향고정과 自由網조정이 가능하도록 프로그램을 작성하였다.

距離의 觀測値 S와 舊成果를 入力데이타로 하여 Hubeny에 의하여 확장 유도된 Gauss의 평均緯度公式(문헌 12 참조)을 적용하여 관측치의 初期値가 계산되도록 편성하였다[3,12,13]. 觀測方程式의 계수메트릭스는 식(18) 또는 식(22)에 의하고 測地網 調整은 1점 1방향 고정의 경우는

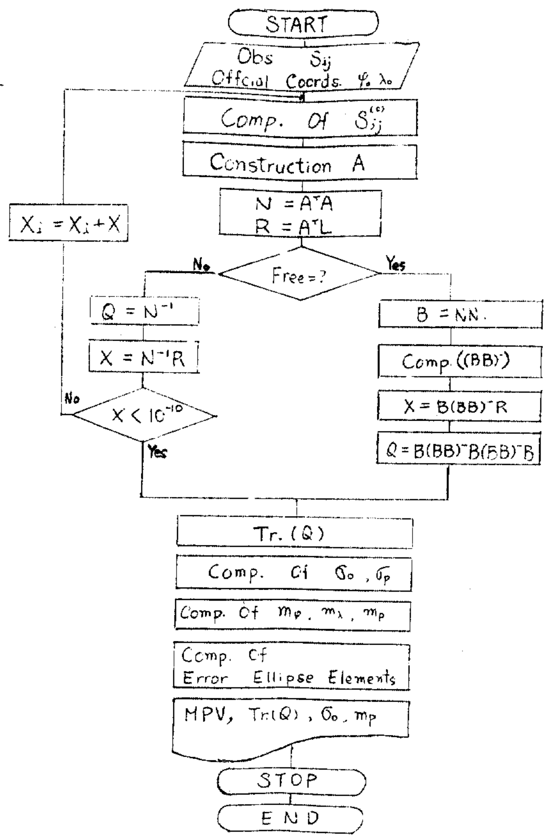

그림 1. 흐름도

식(4), (5)를 自由網 調整의 경우에는 식(11), (12)을 적용하였다.

正規方程式은 Gauss의 消去法을 적용하여 直接 解를 구하도록 구성되어 있다. 1점 1방향 고정의 경우 세좌표($\delta\varphi_1=\delta\lambda_1=\delta\varphi_2=0$)를 고정하고 10^{-10}에 수렴되도록 反復計算을 실시하였다. 自由網調整의 경우에는 Mittermayer와 같이 정규행렬의 一般逆行列(normal inverse)[7,8,9]을 사용하여 풀리도록 구성하였다.

최종적으로 最確値인 경위도좌표의 조정치(φ, λ), 단위중량에 대한 표준오차 σ_0, 각 점에 대한 위치오차 M_p, 오차타원요소 및 평균위치 오차 $\sigma_0\sqrt{\mathrm{tr}(Q)/n}$의 값들이 出力되도록 하였다.

프로그램의 타당성을 입증하기 위하여, 1점 1 방향고정의 경우 Komaki의 lecture note 〔문헌 14참조〕의 예제를 적용하여 본 결과 그값이 정확하게 일치함을 확인하였다[14].

6. 적용 및 분석

이 논문에서는 國立地理院에서 1982년에 관측한 精密三角測量 觀測値의 일부인 忠北미원, 속리지역의 13점(관측변장 26개, 평균관측거리 10.7km)의 값을 사용하였다.

測量成果審査基準 및 同解說의 作業規程에 따라 관측한 거리를 기상보정 및 평균해면상으로 투영계산된 기준타원체상에서의 거리를 사용하였다[4].

먼저, (18)식과 (22)식을 관측방정식으로 각각 적용한 결과 단위 중량에 대한 표준오차 σ_0가 1.66×10^{-6}rad으로 같으며 최확치도 정확히 일치함을 확인하였다.

데이타를 처리한 결과, 最確値와 舊成果와의 차이는 표4와 같이 1점 1방향의 경우 0~0.045초(RMS 0.020초), 자유망 조정의 경우 0.003~0.034초(RMS 0.014초)로 나타났다.

平均位置誤差($\sigma_0\sqrt{\mathrm{tr}(Q)/n}$)는 1점 1방향 固定에서 6.2cm 自由網 조정에서는 2.4cm로 나타났다. (표2참조) 1점 1방향 고정인 경우와 자유망 조정인 경우에 대한 각각의 표준오차와 오차타원은 표3과 그림 2, 그림 3과 같이 나타났으며, 자유망의 경우가 誤差分配面에서 효과적임을 확인할 수 있었다.

표 2. 관측데이타 및 결과

	1점 1방향 고정	자유망
관측수	26	26
삼각점수	13	13
미지수의 수	23	26
Rank Defect	0	3
잉여관측수	3	0
단위중량에 대한 표준오차	1.66×10^{-10} rad(0.3″)	1.66×10^{-6} rad(0.3″)
평균위치오차$\sigma_0\sqrt{\mathrm{tr}(Q)/n}$	1.03×10^{-8} rad(6.2cm)	0.39×10^{-8} rad(2.4cm)
좌표의 고정	$\delta\varphi_1=0$ $\delta\lambda_1=0$ $\delta\varphi_2=0$	없음

표 3. 좌표오차 및 위치오차의 비교

(단위 : 라디안)

No.	1점 1방향 고정(10^{-9})			자유망 (10^{-9})		
	m_φ	m_λ	m_p	m_φ	m_λ	m_p
1	0	0	0	2.77	3.69	4.6
2	0	4.18	4.18	2.83	2.65	3.9
3	6.73	4.99	8.4	3.29	2.34	4.0
4	10.3	7.55	12.8	2.49	3.54	4.3
5	2.35	6.94	7.3	2.98	3.46	4.6
6	2.99	5.63	6.4	2.23	2.62	3.4
7	6.71	5.89	8.7	2.15	2.4	3.2
8	8.42	4.84	9.7	2.25	2.31	3.2
9	13.2	6.08	14.5	2.44	3.41	4.2
10	3.79	10.1	10.8	2.66	2.79	3.9
11	5.67	9.07	10.7	2.63	2.30	3.5
12	10.1	9.2	13.6	2.91	3.04	4.2
13	12.4	5.08	13.7	2.25	3.10	3.8

표 4. 최확치와 구성과와의 차

구분	$\Delta\varphi''$ (평균치)	$\Delta\lambda''$ (평균치)	평균치
1점 1방향 고정	0.023	0.017	0.020
자유망	0.014	0.014	0.014

7. 結論

본 論文에서는 經緯度 座標(φ, λ)를 사용하여

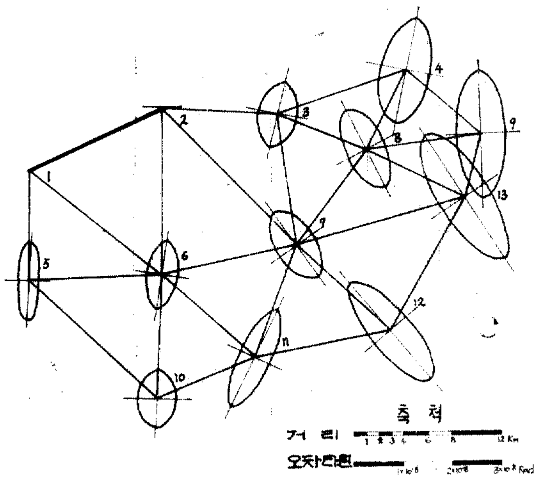

그림 2. 1점 1방향 고정의 경우

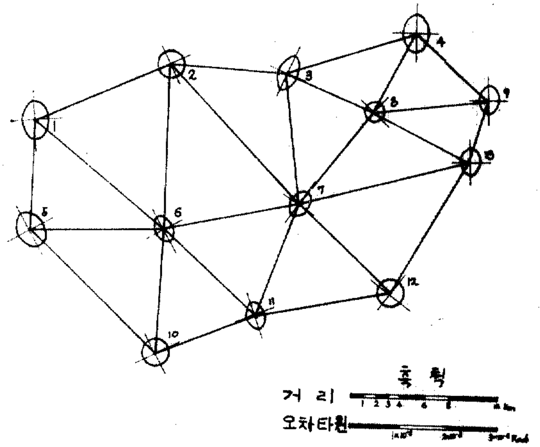

그림 3. 자유망의 경우

觀測方程式을 세우고, 測地網을 同時調整하는 프로그램을 작성하였다. 基準楕圓體의 要素로는 Bessel 치를 사용하고 舊成果를 初期値로 하여 Hubeny에 의해 확정된 Gauss의 평균위도식을 계산치로 구하는 데 이용하였다.

프로그램의 타당성을 검토하기 위하여 예제를 통하여 확인한 후, 우리 나라의 충북 일부지역의 13점(26측선)에 대한 관측데이타로써 1점 1방향 固定인 경우와 自由網 조정인 경우의 두 가지로써 적용해 본 결과 약 3회의 反復計算으로 실용상 충분한 결과를 얻었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 平均位置誤差($\sigma_0\sqrt{\mathrm{tr}(Q)/n}$)는 1점 1방향 固定일 경우 6.2cm($1.1\times1.03^{-8}$rad), 自由網일 경우 2.4cm($4.0\times10^{-9}$)로써 自由網의 경우가 훨씬 작다(표 2).

② 각 測點의 位置誤差 m_p는 1점 1방향의 경우 0~1.39×10^{-8}rad, 自由網일 경우 3.2×10^{-9}~4.2×10^{-9} rad으로써 나타났다, 이는 자유망의 경우가 誤差分配面에서 타당함을 보여주고 있다(그림 2, 그림 3).

③ (18)식과 (22)식을 觀測方程式으로 각각 사용한 결과 단위중량에 대한 標準誤差 σ_0가 1.66 $\times10^{-6}$ rad으로 같으며 最確値도 정확히 일치하므로 단순한 식(18)을 사용하는 것이 타당하다고 사료된다.

④ 最確値와 舊成果의 差가 平均誤差가 1점 1방향 고정의 경우 0.0206″, 자유망 조정의 경우 0.0144″로 나타났으나, 관측에 대한 신뢰도를 통한 상호검토가 필요할 것으로 사료된다(표 4).

參 考 文 獻

1. 建設部 國立地理院, 測地技術發展硏究報告書.
2. 朝鮮總督府 臨時土地調査局, 朝鮮土地調査事業報告書, 1918年 11月.
3. Komaki, K., "The Readjustment of the Meiji First order Triangulation Network by the Projection Method", *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, Vol. XXIX, Part 2, 1985. 3, pp. 1~45.
4. 國立地理院, "測量成果審査基準 및 同解說(1. 精密 三角測量)", 1980.
5. 日本測量協會, "精密基準點測量(改訂版)", 1980.
6. Vaniček, P. and E.J. Krakiwsky, "*Geodesy; the concepts*", North-Holland Publishing Co., 1982, pp. 398~405.
7. MitterMayer, E., "A Generalization of the Least-Squares Method for the Adjustment of Free-Networks", *Bulletin Geodesique* Vol. 104, 1972, pp. 139~157.
8. 日本測量協會, "測量の數學的基礎", 1982, pp. 273~301.

9. Bjerhammar, A., "*Theory of Errors and Generalized Matrix Inverses*", Elsevier Scientific Publishing Co., 1973, pp. 80~111.
10. Mikhail, E.M. and G. Gracie, "*Analysis and Adjustment of Survey Measurements*", VNR, 1981, pp. 59~105, pp. 148~179.
11. Bomford, G., "*Geodesy*", Oxford, 1980, pp. 126~157.
12. 坪山家恒・大森又吉, "測地學 序說, 山海堂, 1968, pp. 1~12, pp. 176~195.
13. 佐藤裕, "測地學の基礎", 山海堂, 1984, pp. 25~58.
14. Komaki, K., "*Adjustment; Precise Geodetic Network*", Lecture Note.

(接受 : 1985. 10. 21)