

## 우리나라 三角點 實用成果 算定에 關한 研究

# A Basic Scheme about the Determination of Official Coordinates of Geodetic Control Points in Korea

崔 在 和\* 金 世 傑\*\*

Choi Jae-Hwa Kim Se-Geul

崔 允 秀\*\*\*

Choi Yun-Soo

### 要 旨

본 연구에서는 우리나라의 새로운 測地座標系와 準據橢圓體의 設定 및 國家基準點(三角點)의 實用成果 산출에 관한 기본 방향을 제시하였다. 또한, 精密 1차, 2차 基準點測量成果를 기초로 한 삼각점 實用成果 更新(부분갱신)의 기본 방향도 제시하였다.

### ABSTRACT

The main objectives of this study are to present the new geodetic coordinate system, reference ellipsoid, and the basic scheme about the determination of official coordinates of geodetic control points. Moreover, provisional official coordinates on the basis of precise geodetic survey(1st and 2nd order geodetic networks) are proposed.

## 1. 序 論

우리나라 三角點의 實用成果는 학계, 관계기관 등의 오랜 조사연구 과제인 동시에 주된 관심의 대상이 되어 왔다. 이는 우리나라 삼각점의 실용성과가 1910년대에 일본에 의하여 산출되었다는 역사적 배경을 지니고 있고, 그 당시의 측지측량은 주로 中縮尺 地形圖의 제작과 地籍圖 등의 제작을 목적으로 시행된 것이기 때문에 기본적으로 삼각점좌표의 상대정확도는 낮은데다, 측지측량을 빠른 시일내에 마무리 하기 위하여 부분적으로 편법을 취하는 등의 많은 특색을 지니고 있기 때문이다.

또한 삼각점 복구사업을 통하여 그 정확도의不均等과 不整合性이 한층 심화되어 이로 인한

공공측량 등에서의 혼란이 문제점으로 부각되고 있다. 그 동안의 삼각점 실용성과에 관한 조사 연구에는 실용적, 학술적 차원에서 문제점을 도출하고 그 개선 방안을 제시하는 등의 알차고도 실질적인 조사연구가 있던 것도 사실이나 대부분이 단편적이거나 일반론적인 것이었다. 특히 삼각점의 실용성과 산출(또는 更新)에 관한 조사연구가 거의 이루어지지 않고 있는 것은 현재 조선총독부의 「三角點 및 水準點 成果表」 외에는 그 당시의 측지측량에 관한 기록과 자료가 남아있는 것이 없어 체계적이고도 본격적인 조사 연구를 할 수 없는 점도 있으나 근원적으로는

(1) 삼각점 실용성과 갱신(부분 또는 전면 갱신 등)에 관한 사회적 여건의 미비

(2) 삼각점 실용성과 갱신에 필요한 측지자료 및 정보의 부족

등이 그 원인이었다. 그러나, 국립지리원에서는 1975년부터 정밀 1차 기준점 측량을 계획, 실시하는 한편, 1986년부터는 정밀 2차 기준점 측

\* 成均館大學校 敎授

\*\* 韓國海洋科學技術(株) 副會長

\*\*\* 成均館大學校 大學院 博士課程

량을 계획, 실시하고 있으며, 측량은 광과거리 측정기를 사용하여 거리의 길고 짧음에 관계 없이 거리측정의 相對正確度를 높은 정확도로 확보하고, 측지망 평균계산도 종래와는 달리 대형 전자계산기에 의한 全國同時網 平均을 시행하여 실용성과의 정확도 향상과 계산의 비엄밀성에 기인하는 성과의 不均等, 모순을 제거하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 또한 측량에서 얻어지게 될 실용성과는 앞으로

- (1) 數値地圖(digital mapping)에 의한 大縮尺地圖 제작을 위한 정확하고 새로운 기준
- (2) 항공측량 및 그 밖의 모든 측량을 위한 높은 정확도의 기준
- (3) 지진예지 또는 지각변동조사 등을 위한 학술적, 실용적 자료
- (4) 지적측량을 위해 항상 재현 가능한 높은 정확도의 기준

등으로 활용될 것으로 기대된다. 물론 이 과정에서 실용상의 혼란과 각종 지도의 再製作과 再測量 등과 같은 재정적 손실을 초래할 것이나 장기적인 안목에서 이를 슬기롭게 극복하여야 할 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 학술적, 실용적 측면에서

- (1) 우리나라 측지좌표계와 준거타원체의 설정
- (2) 새로운 삼각점의 실용성과 산출
- (3) 삼각점의 실용성과 갱신

에 관한 기본방향과 방법을 도출, 제시하고자 한다.

## 2. 우리나라 測地座標系

현재 우리나라 측지측량에서 준거하고 있는 측지좌표계는 일본의 측지좌표계와 동일한 좌표계로서 일본 측지좌표계의 測地原子(geodetic datum)는 다음과 같다.

測地原點(동경원점)

經 度 : 139 44 40.5020 E

緯 度 : 35 39 17.5148 N

原 方 位 : 156 25 28.442(원점—녹야산)

準據橢圓體 : Bessel 타원체

적도 반경 : 6,377,397.155 m

扁 平 率 : 1/299.152813

지오이드高 : 24.4140m(동경만 평균해면상)

일본 측지좌표계에 있어서도 그 측지원자 중에서 경도, 위도 및 방위각은 측지원점에서의 天文測量에 의한 값을 그대로 채용하고 있는 준거타원체는 측지원점에서 지오이드와 일치하는 것으로 가정하고 있다. 이는 측지원점에서는 鉛直線 偏差(deflection of plumb line) 및 지오이드高를 零으로 정의한 것을 의미한다. 따라서 측지원점에 있어서는 준거타원체와 지오이드의 短軸은 <그림 1>에 표시하는 것과 같다.

그러나 일본 측지좌표계가 지구의 중심에 대하여 어긋나 있다고 하는 것은 널리 알려진 사실이다. 이로 인하여 우리나라를 포함한 일본의 천문연직선 편차 벡터는 거의 모두 북서로 향하

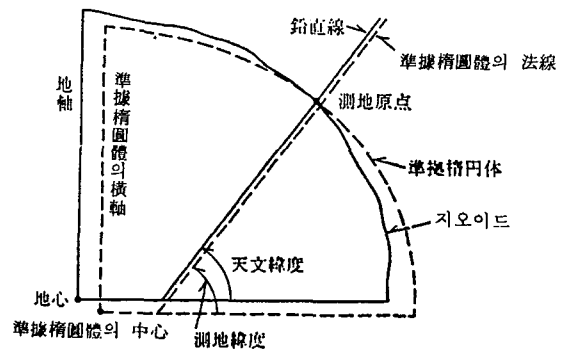


그림 1. 천문관측에 의한 측지원점

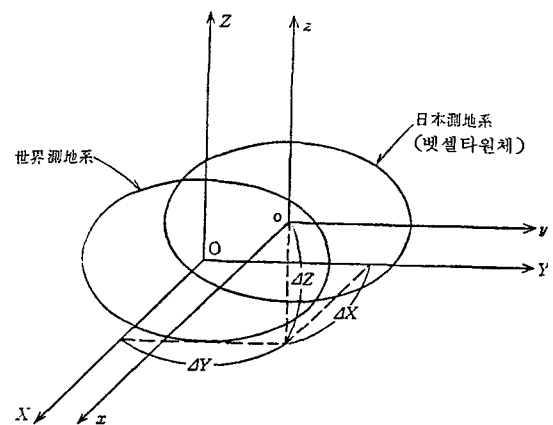


그림 2. WGS와 일본측지좌표계와 관계

고 있으며, 그 크기는 거의 10"를 넘고 있다. 그 원인으로서는

- (1) Bessel 타원체는 우리나라 부근의 지오이드에 적합치 아니하다.
- (2) Bessel 타원체의 위치가 적당치 않다.
- (3) 측지원점을 설정하는 경우 연직선 편차를 零으로 가정하였다.

등을 생각할 수 있다. 이 원인을 제거하기 위하여 Bessel 타원체 대신 다른 타원체를 채용하거나 타원체 위치를 보정하면 된다. 그러한 타원체가 최적 타원체이다.

또한 높이에 관하여도 일본의 측지좌표계는 東京灣 平均海面(지오이드면)을 0m로 하고 있으므로 회전타원체면의 높이와는 일치하지 않고 있다. 즉, 일본 측지좌표계가 준거하고 있는 Bessel 타원체는 동경 원점에서 연직선과 법선이 일치하고 그 원점 높이가 만큼 원점으로부터 떨어져 설정된 것이 된다. 이 경우 極軸도 평행이라고 하면 WGS와 일본측지좌표계와의 관계는 평행이동의 관계로 되어 <그림 2>에 표시하는 것과 같다.

표 1. NNSS 관측으로 구한 측지좌표계의 차이량

	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
筑波	-137.5 m	+527.4 m	+678.6 m
堂平	-137.4 m	+524.8 m	+678.5 m
平均	-137.4 m	+525.2 m	+678.5 m

Z축은 극축 즉, 지구의 회전축과 같고, XY 평면은 그리니치子午面과 일치한다.  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  및  $\Delta Z$ 는 두 좌표계의 평행이동량이다. 1976~1980년에 걸쳐 일본의 筑波 및 堂平에서 실시한 NNSS 관측에 의하여 구한 WGS72와 일본 측지좌표계의 차이량( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ )은 <표 1>과 같다. 이 차이량은 일본이 세계지도 중에서 남동으로 약 500m 정도 어긋나 위치하고 있다고 흔히 일컬어지고 있는 것과 상응하고 있다.

그 동안 일본에서는 최적타원체에 관한 많은 연구가 시행된 바 있고 삼각점에 있어서의 천문연직선 편차 데이터에 의한 대표적인 연구 결과의 하나는 다음과 같다.

- (1) 지구의 중심계를 기준으로 할 때의 Bessel

타원체의 어긋남

$$\Delta X = -149.57 \text{ m} \pm 62.28 \text{ m}$$

$$\Delta Y = +541.82 \text{ m} \pm 58.29 \text{ m}$$

$$\Delta Z = +706.07 \text{ m} \pm 63.83 \text{ m}$$

- (2) 동경원점에서의 천문연직선편차의 보정량
- $$\xi_0 = -11''.98 \pm 2''.04$$
- $$\eta_0 = +10''.24 \pm 1''.94$$

한편 동경원점의 경도값은 1886년에 공시된 값에 1918년에 이르러 +10''.405의 수정값을 더한 값이고, 판동대지진 때문에 원점을 지나는 자오환이 파괴되었을 뿐만 아니라 판동지방에 광역의 수평지각 변동이 발생하였음에도 필요한 원점 값의 수정, 변경을 하지 아니한 점에 유의할 필요가 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 일본의 측지좌표계는 측지학적인 측면에서 많은 문제점을 내포하고 있는 좌표계이고, 이를 논의로 하더라도 우리나라 독자적인 측지좌표계의 설정은 우리의 당면 과제이다. 일본 측지좌표계를 대신하는 우리나라의 새로운 측지좌표계의 도입, 설정을 위하여 국립지리원에서는 1980~1984년에 걸쳐 수원청사 구내에 천문측량을 시행하여 대한민국 경위도원점을 설치한 바 있다. 그 원점의 측지원점은 다음과 같다.

대한민국 경위도원점

경도 : 127 03 05.1451

위도 : 37 16 31.9034

방위각 : 170 58 18.190 (원점—동학산)

새로운 측지좌표계로는

- (1) 준거타원체로서 Bessel 타원체를 채용하고 대한민국 경위도원점에서 지구에 고정하는 측지좌표계
- (2) 천문연직선 편차 데이터에 의하여 구해진 最適橢圓體를 채용하고, 천문연직선 편차량 등을 보정하여 측지원점에서 지구에 고정하는 측지좌표계
- (3) 준거타원체로서 WGS계 등에 의한 세계 타원체를 채용하고 대한민국 경위도원점에서 지구에 고정하는 측지좌표계
- (4) 측지원점의 정의에 기초한 局所 좌표계가 아닌 지심 3차원좌표계

등을 생각할 수 있다. 그 중 (4)의 좌표계는 앞으로 이론적으로도 관측면에서도 중심적인 역할을 할 것으로 예견되지만 그 좌표계에서의 측정은 우주기술을 사용하는 측량이고, 그 기준체로서의 항성계, 전파성계, 인공위성의 궤도 등에 대한 동적인 측면을 정확하게 파악하고 이에 대응할 수 있는 이론적인 틀이 아직 확립되어 있지 아니하다. 그리고 (1)의 측지좌표계는 일본 측지좌표계에서와 거의 같은 세계측지계에 대한 큰 피리를 나타낼 것이고, (2)의 경우에는 계산에 사용한 데이터의 양과 질 등에 의한 불확실성이 남게 된다. 따라서 (3)에 의한 측지좌표계의 설정이 바람직하나 대한민국 경위도원점이 설정된 준거타원체의 위치 등에 관한 구체적인 조사연구가 이루어져야 하며, 실제로 새로운 측지좌표계의 설정 문제는 현재 추진중인 정밀측지망 정비 사업이 끝난 단계에서 실현될 사항이므로 앞으로의 보다 실용적이고도 다각적인 연구가 요청된다.

### 3. 三角點의 實用成果 更新

#### (1) 三角點의 實用成果

삼각점의 일반적인 위치결정 방법은 지구를 근사하는 회전타원체와 위치의 기준점인 측지원점을 설정하고 그 원점으로부터 출발하여 점간의 상대 측정에 의하여 회전타원체면상의 水平位置(경도 및 위도 등)와 회전타원체면에 대한 法線 방향의 거리(높이)를 구분하여 결정하는 것이다. 이 경우 수평위치의 결정에는 측정량으로서 공간거리, 천문방위각, 수평방향 및 수평내각 등이 있고 이를 회전타원체상의 측지선장, 측지선의 방위각, 방향 또는 수평내각으로 화성한 다음에 미지점의 수평위치(위도 및 경도)를 결정하는 방법과 평면상에 회전타원체상의 측지선의 거리나 방향으로 화성하여 위치(平面直角座標)를 결정하는 방법이 사용되고 있다.

높이를 결정하기 위한 주된 측량은 比高를 측정하는 직접수준측량과 천정거리 또는 高度角을 측정하는 삼각수준측량으로 분류되지만 삼각수준측량에 있어서는 2 점간의 공간거리 또는 회

전타원체상에 化成된 거리를 필요로 한다. 그런데 직접수준측량에 의하여 얻어지는 높이는 평균해면과 거의 일치하는 중력등포텐셜면인 지오이드로부터의 높이이므로 준거타원체면의 법선에 의한 기하학적인 높이와는 일반적으로 일치하지 아니한다.

또한 측지측량에서와 같이 관측량의 수가 미지량의 수보다 많은 경우에는 最小제곱법에 의하여 위치를 구하고 있고 그 평균계산법에는 條件방정식을 사용하는 것과 觀測방정식을 사용하는 것이 있다. 이상에서와 같은 방법으로 구여진 삼각점의 수평위치와 높이를 각종 측량의 기준이 되는 성과로 공표, 사용될 때에 이를 實用成果라 한다.

국가기준점인 삼각점에 대하여는 성과표가 작성된다. 우리나라 삼각점의 성과표에는 그 점의 수평위치(경위도 및 평면직각좌표)와 높이 그리고 그 점에서 다른 삼각점에 이르는 거리, 방향각 등이 수록되어 있으며, 위도를 B(독어 Breite의 B), 경도를 L(독어의 Länge의 L), 평면직각좌표상의 종횡선을 X·Y, 높이를 H로 표기하여 그 값을 표시하고 있다. 우리나라 삼각점의 실용성과는 1910년대에 조선총독부에 의하여 계획, 실시된 측지측량의 측량성과를 그 근간으로 하고 있으며 1 등삼각점을 위시한 모든 삼각점의 수평위치는 평면상에서 그 위치를 평면직각좌표로 구한 것이고, 높이는 적당한 밀도로 선점한 삼각점의 높이를 직접수준 측량으로 결정한 다음 이를 기초로 그 밖의 삼각점의 높이를 삼각수준측량으로 구한 것이다.

그 당시 측량계산에 사용된 평면직각좌표는 서부(38°N, 125°E), 중부(38°N, 127°E), 동부(38°N, 129°E) 좌표계의 3系이고 좌표원점의 縮尺係數는 1.0000이다. 또한 평균계산은 수계산에 의존할 수 밖에 없었기 때문에 조건방정식을 사용한 XY網 평균계산법에 의하여 국지적으로 시행되었고 측량계산을 위하여 한 점에서 Gauss 二重投影에 의한 평면직각좌표값이 계산되고 있다. 즉, 삼각점 실용성과표상의 평면직각좌표계는 Gauss 이중투영에 의한 것이다.

그러나 1930년대에 이르러 일본의 육지측량

부에서는 정확도면에서 大三角點이 일본의 2등三角點, 小三角點이 일본의 3등삼각점과 같고 수준측량의 정확도는 일본에 비해서 떨어진 것이라고 평가하는 한편, 우리나라에서 1등삼각측량이 실시되지 않아 완전한 측지학상의 기준점

을 가지고 있지 아니한 것은 바람직하지 않을 뿐만 아니라 우리나라에 있어서의 1등삼각망은 아세아대륙과 일본과의 측지적 결합을 이룰 중요한 지위를 점하는 것이고 장래 실현하여야 할 국제삼각망의 기초를 이루는 것이라는 이유를

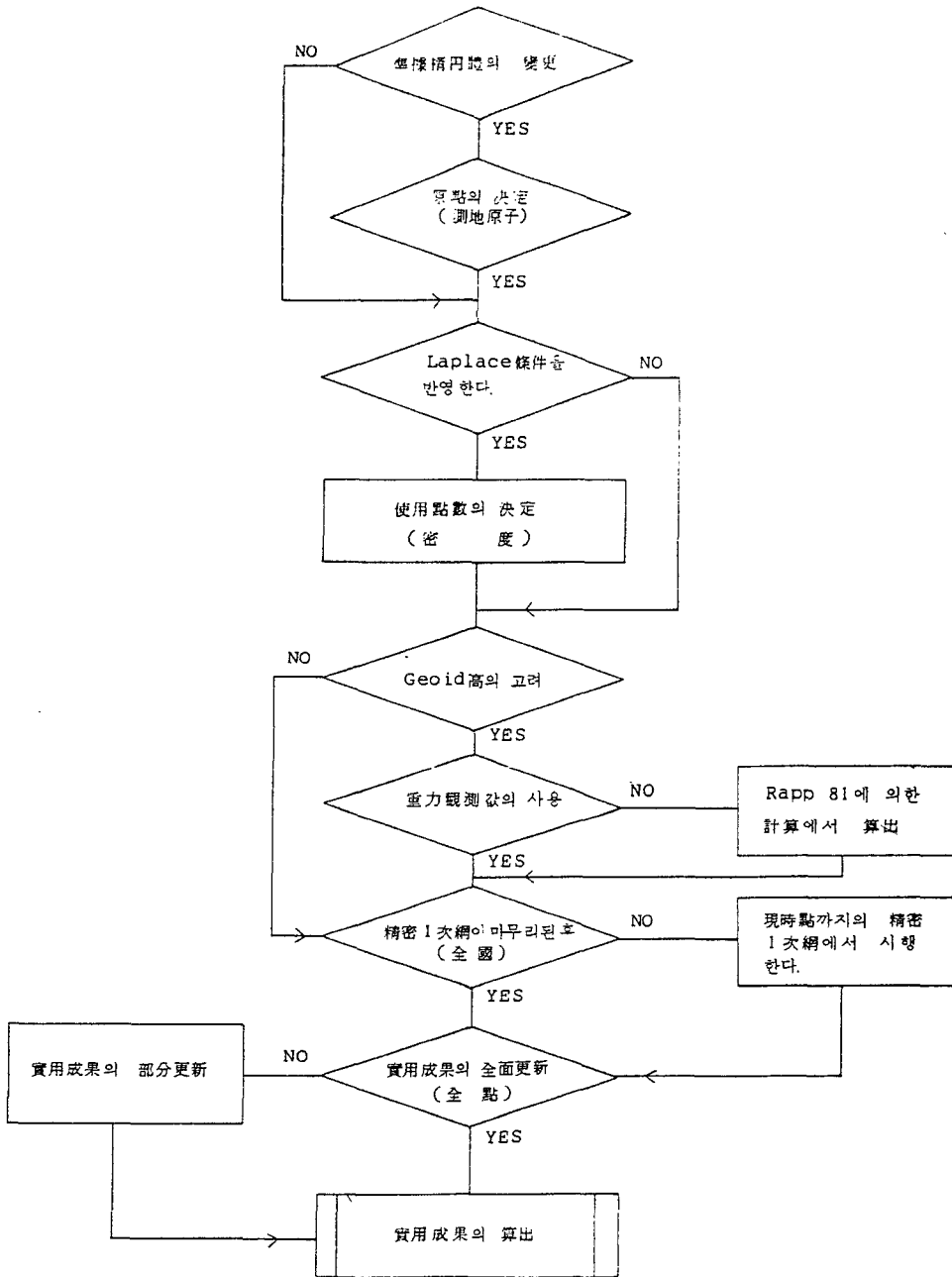


그림 3. 三角點의 實用成果 算出 흐름圖

들어 우리나라에 있어서의 1 등삼각측량은 반드시 실현하여야 할 사항이라는 주장이 공식화 되었다.

이에 따라 육지측량부에서는 1938년에 安義基線, 1939년에 光州基線을 설정하는 한편 1941년에는 함경북도 회령군, 청진, 경흥, 명천 등의 이북지역에서 선점 10점, 조표 3점, 관측 7점 등의 1 등삼각측량작업을 실시하였다. 그 작업에 있어서는 대삼각점을 1 등삼각점으로 선점하고 1942년에는 관동군측량대와 협동하여 韓.中國境의 1 등삼각점 3점을 관측하였다. 1943년 이후에는 戰局의 격화로 측량을 중단하였으므로 우리나라에서의 1 등삼각측량은 10점의 관측으로 끝났으나 그 성과와 대삼각점의 성과를 병용하여 동경원점과 중국의 長春원점을 연결하였다. 그 결과 동경원점을 기준으로 하여 경도차 +9°.36, 위도차 -16°.96이라는 측량오차에 비하여 훨씬 큰 교차가 있음이 밝혀졌다.

그리고 우리나라에 있어서의 육지측량부의 1 등삼각측량계획은 그 내용으로 미루어 2 등 및 3 등삼각측량과 1 등 및 2 등 수준측량을 포함하는 전면적이고도 광범위한 계획이었던 점에 유의할 필요가 있다. 특히 특별소삼각측량을 실시한 지역(평양의 17개소)은 근본적으로 개척하도록 계획되고 있다. 더욱 해방이후 오늘날까지 삼각점 복구사업을 통하여 삼각점 실용성과의 不整合성이 한결 심화된 점을 감안할 때 새로운 첨단기술의 도입, 활용과 측지자료 및 정보의 축적을 도모하는 한편 이를 토대로

(1) 정밀측지망 정비사업의 조기 추진

(2) 삼각점의 실용성과 갱신

을 도모하는 일은 시대적 요청에 부응하는 측지분야의 당면 과제이다.

(2) 三角點의 實用成果 更新

일반적으로 삼각점의 실용성과는 측지좌표계, 공간좌표 결정방법, 측량방법 및 관측량 평균계산법 등에 의해 그 값 및 정확도를 달리한다. 따라서 삼각점의 실용성과 갱신을 논하는 경우에도 측지좌표계의 설정, 측량방법, 좌표평균법 등에 관한 사항이 다루어져야 한다.

현 측지좌표계(Bessel 타원체)는 그 동안 천문측량에서 얻어진 천문연직선 편차로 미루어 한반도 주변의 지오이드와는 남북 및 동서 방향으로 각각 약 10" 어긋나고 있음을 알 수 있다. 이는 측지원점인 동경원점에서 측지경위도로 채용한 천문경위도에 그 지역의 지형, 지각구조 등에 연유하는 연직선의 편차가 있기 때문이지만 이로 인하여 동경원점에서 일치시킨 준거타원체가 어떤 지역에서는 지오이드면과 상당히 어긋나게 되어 지상에서의 관측량을 타원체상에 화성할 때에 무시할 수 없는 오차가 생기게 된다.

그러나 우리나라 측지좌표계가 설정된 19C의 시점과는 달리 오늘날 측지학의 이론은 전통적인 타원체측지학의 이론에 중력론적 측지학을 접목하는 것에 의하여 거의 엄밀한 3차원측지좌표를 구하는 이론이 완성되었으며, 인공위성의 출현에 의하여 지오이드면의 전지구적인 형상이 밝혀진 동시에 측지좌표계도 종래의 국지적(지역별 또는 국가별)인 것에서 범세계적인 좌표계로 통일 결합하는 것이 가능해진 것 등에서 알 수 있듯이 장족의 진보를 하였다.

따라서 우리나라 정밀측지망 설정에 따른 삼각점의 실용성과 산정에 있어서는 새로운 범세계적 좌표계에 의하여 우리나라의 위치를 결정하고 평균지오이드에 일치하는 준거타원체를 설정하여 정확한 3次元 局地座標系를 확립하여야 한다. 既設 삼각망을 기초로 1차 및 2차망을 구성하여 종래의 測角을 주체로 한 삼각측량 대신 광파거리측정기를 사용한 測距를 주체로 한 정밀측지망측량(정밀 1차 및 2차 기준점측량)은 보다 높은 정밀도의 새로운 測地成果 확립에 적합한 측량이라 할 수 있으나 앞으로 그 측량작업의 능률화 및 정확도 향상 등을 위한 작업방식의 개발, 연구에 힘써야 할 것이다. 그리고 새로운 실용성과 산출을 위하여 정밀 1차망의 경우에 BL網평균계산, 그리고 정밀 2차망의 경우 XY網평균계산을 채용하는 것이 바람직하다. 전자계산기를 사용하면 우리나라 측지망 규모의 망평균은 全國 同時網 平均이 손쉽게 이루어질 수 있으나 그에 앞서 전국 동시망 평균계산이 가능한 평균계 프로그램을 개발하는 일이

표 2. 三角點의 實用成果 算出方法

1. 準據橢圓體의 變更 (世界的橢圓體의 採用)	2. Laplace條件의 고려	3. Geoid 高의 고려	4. 全國同時網 平均	5. 現 測地系에 서의 全點의 實用成果 更新	6. 現 測地系에 서의 部分成 果 更新
<p>① 全地球의 測地系와의 結合으로 位置의 絶對正確度 向上</p> <p>② 國家基準點의 成果가 크게 달라지기 때문에 成果를 使用하는  경우 誤謬가  없다.</p>	<p>網의 回轉 및 歪曲을 規制할 수  있다.</p>	<p>網正確度의  尙 상을  기할 수  있다.</p>	<p>全國의  國家基準點의  成果를  같은  正確度로  구할 수  있다.</p>	<p>國家基準點 상  호간의  整合이   좋아지고  座標의  正確度 또한   높아지므로  國家基準點의  信賴性이   높아진다.</p>	<p>현재의  成果를  그대로  使用할 수  있는  國家基準點도  있고  更新을  하는  量이  적어진다.</p>
<p>그동안  使用한  國家基準點의  成果를  使用할 수  없다.  그리고  이에  따른  公共測量 등  에서의  混亂이  예상된다.</p>	<p>현재까지의  觀測量(天文觀測)에  의하기도  하나  그  계산에는  期間을   필요로  하므로  긴  급한  成果算出이  어렵다.</p>	<p>左  同</p>	<p>全國의  觀測이  마무리될  때까지  成果를  算出할 수  없다.</p>	<p>그동안  使用한  國家基準點成果의  數値가  類似하므로  更新成果를  使用하는   경우에는  주의할  必要가  있고  1.에서와  같은  混亂도   예상된다.</p>	<p>地域에  따른  成果의  變動이  생기게  된다.</p>

과제이다.

위에서 논의, 도출된 사항은 엄밀한 의미에서는 삼각점의 실용성과 갱신에 관한 사항이 아닌 정밀 측지기준점의 새로운 실용성과 산출에 관한 사항이다. 그러나 현 삼각점의 실용성과는 정확도면에서 통일되어 있지 아니하고 그 不整合이 심할 뿐만 아니라 정밀 2차 기준점측량 과정에서 2차점의 망실율이 30~40%에 달하고 있는 점 등으로 이 연구에서는 현 삼각점의 실용성과와 정밀 1차 및 2차 기준점측량 성과를 기초로 한 망평균 계산 등의 계산에 의하여 그 좌표차가 기준좌표차 이상인 삼각점의 실용성과를 부분更新하는 방법을 도입하였다. 부분 갱신의 기본 방향은 다음과 같다.

- (1) 정밀 1차망의 관측값에 의하여 각종 망평균계산을 시행, 變動벡터도를 작성하고 固定點을 선정한다.
- (2) (1)의 고정점에 실용성과를 부여하여 재차 망평균계산을 시행하여 구한 좌표를 정

밀 1차점의 실용성과로 한다.

- (3) (2)에 의하여 산출된 정밀 1차점의 실용성과와 정밀 2차망의 관측값에 의하여 정밀 2차망의 각종 망평균계산을 시행, (1)에서와 같이 변동벡터도를 작성하고 고정점을 선정한다.
- (4) (1) 및 (3)에서 선정된 고정점을 고정하여 재차 망평균계산을 시행하여 구한 좌표를 정밀 2차점의 실용성과로 한다.

〈표 2〉는 우리나라에 있어서의 삼각점의 실용성과 산출 방법에 관한 사항을 요약한 것이고 그 흐름은 〈그림 3〉과 같다.

#### 4. 三角點의 實用成果 更新計算

##### (1) 更新計算 地域 및 過程

###### 1) 更新計算 地域

갱신계산은 정밀 1차 및 2차 기준점측량이 실시된 서울, 경기 및 강원 일원을 그 대상지역으

로 하였으며 갱신계산에 사용된 정밀 1차 및 2차 기준점의 점수는 다음과 같다.

정밀 1차점 : 99 점(서울, 경기 및 강원 일원)

정밀 2차점 : 293 점(수원지구 134 점, 원주 흥천지구 159 점)

3등 및 4등삼각점(정밀 2차 기준점)의 갱신 계산 지역으로 수원지구와 원주, 흥천지구를 선정한 것은 수원지구가 舊小三角測量이 시행된 지역이고 원주, 흥천지구에 있어서는 두 지역간의 실용성과의 不整合이 두드러졌기 때문이다.

## 2) 更新計算 過程

갱신계산 과정은 다음과 같다.

(1) 정밀 1차망에 관한 自由網 平均계산(Free-net adjustment)을 시행하여 고정방향(1466 ~1476)을 결정하였다.

(2) (1)의 고정방향에 의하여 1點 1方向固定 망평균계산 및 성과갱신 벡터계산을 시행하여 성과갱신 벡터도를 작성하였다.

(3) (2)의 성과갱신 벡터계산에서 산출된 변동량이 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 및 50 cm 이하인 점을 고정하여 망평균계산을 시행하였다.

(3) (3)에서의 예비망평균계산 결과 그 성과 갱신 벡터량이 20 cm 이하인 14 점을 고정점으로 하여 망평균계산을 시행하여 정밀 1차기준점(1등 및 2등 삼각점)의 실용 성과를 산출하였다. 그리고 정밀 2차 기준점(3등 및 4등삼각점)의 실용성과는 정밀 1차 기준점의 실용성과 산출을 위한 각종 계산을 동일한 수준으로 시행하여 이를 산출하였다. 다만, 실용성과 산출을 위한 고정점으로는 수원지구에 있어서는 당해 지역내의 정밀 1차점(9점)만을 취하였고 원주, 흥천지구에 있어서는 당해 지역내의 정밀 1차점 全點 및 그 성과갱신 벡터량이 20 cm 이하인 정밀 2차점을 합한 39 점을 취하였다. 이는 현실적으로 수원지구 정밀 2차점에서 고정점을 선정하는 일은 무의미한 것으로 간주되었기 때문이다.

높이(標高)는 정밀 2차망에서의 鉛直角(고저각) 관측값 등을 사용하여 高低網(H망) 평균계

산으로 산출하였으며, 정밀 1차점의 높이도 고저망평균계산에 의하여 산출된 높이를 사용하였다.

정밀 1차망 및 2차망의 각종 망평균계산등에 사용된 전산프로그램은 일본 국토지리원에서 개발된 프로그램을 수정, 보완한 것으로 정밀 1차망 및 2차망의 좌표평균은 각각 BL 망평균 및 XY 망평균을 실시하였다.

## (2) 更新計算 結果

실용성과 갱신결과를 위한 성과갱신 벡터계산법은 다음과 같다.

$$v_{xi} = dx_0 + x_i \left( \frac{ds}{s} \right) - y_i (da_0) - \Delta x_{(N-0)i} \quad (4-1)$$

$$v_{yi} = dy_0 + y_i \left( \frac{ds}{s} \right) + x_i (da_0) - \Delta y_{(N-0)i} \quad (4-2)$$

식 (4-1) 및 식 (4-2)에 의하여  $dx_0$ ,  $dy_0$ ,  $ds/s$  및  $da_0$  를 구하고 이를 관측방정식에 대입하여  $\Delta x_i = -V'_{xi}$  과  $\Delta y_i = -V'_{yi}$  를 구한다.

다만,

$x_i, y_i$  : 1 점 1 방향 고정에 의한 망평균계산에 있어서의  $i$  점과 고정점과의 X 및 Y座標差  
 $\Delta x_{(N-0)i}, \Delta y_{(N-0)i}$  : 1 점 1 방향 고정에 의한 망평균계산으로부터 구한  $i$  점의 變動量

본 연구에서 실용성과 갱신계산 대상으로 삼은 정밀 1차망에 관한 성과갱신 벡터계산을 위한 망평균계산 결과와 성과갱신 벡터, 실용성과 산출을 위한 망평균 계산결과는 각각 <표 3> <표 4> <그림 4>와 같다.

즉 정밀 1차망에 있어서의 갱신 실용성과의 수평위치 정확도는

$$m_0 \sqrt{\text{trace}(Q)/n} = 2.7'' \times 0.066 \text{ m/sec} \\ = 18 \text{ cm}$$

이다. 이 정확도는 실용성과 갱신 계산에 의한 수평위치의 정확도로서는 만족스러운 것이라 할 수 있다.

수원지구는 정밀 2차망의 갱신 계산을 위한 자유망 평균계산 결과, 실용성과 산출망 평균계산 성과는 <표 5> 및 <표 6>과 같다.



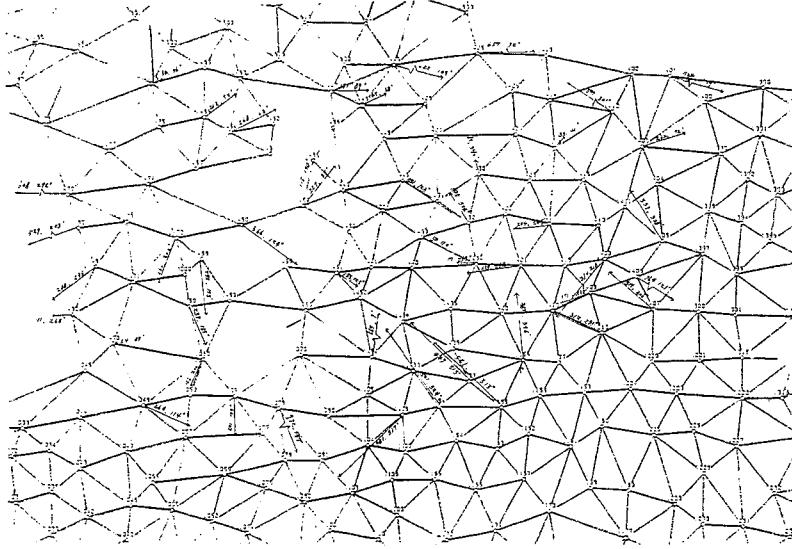


그림 4. 成果更新뵘터圖(精密1次, 서울, 京畿, 江原地區)

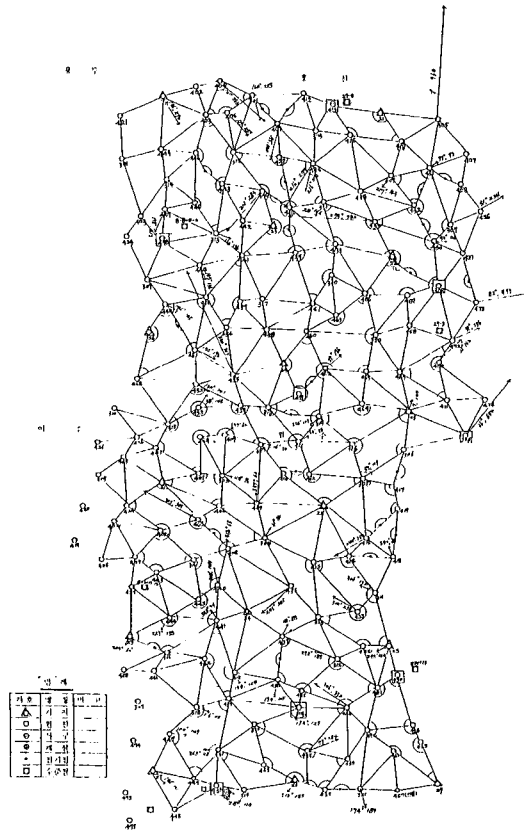


그림 5. 成果更新뵘터圖(精密2次, 原州, 洪川地區)

표 3. 成果更新벡터 計算을 위한 網平均計算 結果(精密 1 次網)

區 分	平均계 곱誤差 (m <sub>0</sub> )	$\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$	位置誤差(最大)	距離誤差(最大)	對象點數	邊觀測數
自由網平均	1".30 (3.19 cm)	0.066 m	$\Delta X=0.513$ m $\Delta Y=0.066$ m 0.167 m	-0.089 m (14.5 km)	99	249
1點1方向 固定網平均	1".30 (3.19 cm)	0.404 m	$\Delta X=0.772$ m $\Delta Y=0.409$ m 0.873 m	-0.089 m (14.5 km)	99	249

표 4. 實用成果算出을 위한 網平均計算 結果(精密 1 次網)

區 分	固定點	未知點數	平均계 곱根誤差 (m <sub>0</sub> )	位置誤差(最大)	距離誤差(最大)	變動 Vector (最大)
成果更新 Vector 量이 10 cm 以 下인 點 固定	5 點	94	1".40 (3.44 cm)	$\Delta X=0.153$ m $\Delta Y=0.055$ m 0.153 m	-0.093 m (4.5 km)	0.904 m $\theta=129^\circ$
成果更新 Vector 量이 20 cm 以 下인 點 固定	14 點	85	2".70 (6.63 cm)	$\Delta X=0.269$ m $\Delta Y=0.092$ m 0.284 m	0.137 m (8.0 km)	0.935 m $\theta=129^\circ$
成果更新 Vector 量이 30 cm 以 下인 點 固定	26 點	73	4".04 (9.93 cm)	$\Delta X=0.305$ m $\Delta Y=0.101$ m 0.364 m	0.309 m (9.7 km)	0.955 m $\theta=130^\circ$
成果更新 Vector 量이 40 cm 以 下인 點 固定	33 點	66	5".24 (12.86 cm)	$\Delta X=0.227$ m $\Delta Y=0.211$ m 0.310 m	0.309 m (9.7 km)	0.950 m $\theta=130^\circ$
成果更新 Vector 量이 50 cm 以 下인 點 固定	35 點	64	5".49 (13.48 cm)	$\Delta X=0.227$ m $\Delta Y=0.200$ m 0.302 m	0.309 m (9.7 km)	1.220 m $\theta=130^\circ$

표 5. 自由網 平均計算 結果(水原地區 精密 2 次網)

方 法	平均계 곱根誤差 (m <sub>0</sub> )	$\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$	邊觀測數
自 由 網	1".42	0.0079 m	391

표 6. 實用成果算出을 위한 網平均計算 結果(水原地區 精密 2 次網)

固 定 法	固 定 點	未 知 點	平均계 곱根誤 差	位置誤差(最大)	距離誤差 (最大)	變 動 Vector
실용성과가 산 출된 1次點 全 點固定	1次點: 9點	-Ⅲ,Ⅳ 134點 151點 -전점 17點	5".50 (4.34 cm)	$\Delta X=0.100$ m $\Delta Y=0.069$ m 0.121 m	-0.271 (3.3 km)	$\theta=146^\circ$ 3.246 m

표 7. 成果更新 icker 計算을 위한 網平均計算 結果(原州, 洪川地區 精密 2次網)

區 分	平均제곱根誤差 (m <sub>0</sub> )	$\sqrt{\text{Trace}(Q)/n}$	邊觀測數
自由網平均	1".44	0.008 m	356
1點1方向固定網平均	1".44	0.008 m	356

표 8. 實用成果算出을 위한 網平均計算 結果(水原, 洪川地區 精密 2次網)

方 法	固 定 點	未 知 點 數	m <sub>0</sub>	位置誤差(最大)	距離誤差(最大)	變 動 Vector
成果更新 Vector 量이 10 cm 以 下인 點 固定	1次點: 12點 2次點: 5點	-Ⅲ,Ⅳ 146 162點 -절점 16	3".82 (3.05 cm)	$\Delta X=0.057$ m $\Delta Y=0.046$ m 0.073 m	-0.186 m (2.39 km)	$\theta=272^\circ$ 1.011
成果更新 Vector 量이 15 cm 以 下인 點 固定	1次點: 12點 2次點: 20點	-Ⅲ,Ⅳ 131 147點 -절점 16	6".40 (5.12 cm)	$\Delta X=0.090$ m $\Delta Y=0.070$ m 0.117 m	0.185 m (1.96 km)	$\theta=292^\circ$ 1.081
成果更新 Vector 量이 20 cm 以 下인 點 固定	1次點: 12點 2次點: 27點	-Ⅲ,Ⅳ 124 140點 -절점 16	7".34 (5.86 cm)	$\Delta X=0.104$ m $\Delta Y=0.086$ m 0.135 m	0.194 (2.62 km)	$\theta=296^\circ$ 1.048

그리고 원주, 홍천지구 정밀 2차망에 관한 성과갱신벡터 계산을 위한 망평균계산 결과, 실용성과 산출을 위한 망평균계산 결과는 <표 7> <표 8> <그림 5>와 같다.

따라서, 수원지구 및 원주, 홍천지구 정밀 측지망에 있어서의 수평 위치 정확도는 각각 다음과 같다.

$$m_0 \cdot \sqrt{\text{trace}(Q)/n} = 5".5 \times 0.0079 \text{ m/秒} \approx 4.3 \text{ cm}$$

$$m_0 \cdot \sqrt{\text{trace}(Q)/n} = 7".34 \times 0.0080 \text{ m/秒} \approx 5.9 \text{ cm}$$

원주, 홍천지구에서 크게 나타나고 있는 것은 그 지구의 정밀 2차점 25점을 고정점으로 하고 있기 때문이나 일본의 경우에 비하여 만족스러운 결과인 것으로 평가된다.

정밀 1차 및 2차점의 높이(표고) 산출결과는 <표 9>와 같다. 정밀 1차 및 2차 기준점 측량에 있어서는 거리측정이 주체로서 종래보다 높은 정확도로 높이를 결정할 필요가 있다. 고지망(H망) 평균 계산에 의한 m<sub>0</sub>는 3".09 및 2".11이다. 즉, 정밀 2차망의 평균거리를 3 km로 하는 경우 1방향의 m<sub>0</sub>는 각각

$$\left. \begin{aligned} \text{水原地區: } 3".09 \times 3 \text{ km/l}'' &= 4.5 \text{ cm} \\ \text{原州·洪川地區: } & \\ 2".11 \times 3 \text{ km/l}'' &= 3.1 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \text{平均: } 3.8 \text{ cm}$$

이다. 지금 우리나라 수준점의 정확도를 약 2 cm, 그리고 간접수준 측량의 오차를 약 2 cm라 생각하면 높이의 종합정확도는

$$\begin{aligned} &\sqrt{(1 \text{ 方向의 } m_0)^2 + (\text{水準點의 正確度})^2} \\ &+ (\text{間接水準測量의 誤差})^2 \\ &= \sqrt{(3.8 \text{ cm})^2 + (2 \text{ cm})^2 + (2 \text{ cm})^2} \\ &\approx 4.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

이므로 충분한 정확도를 가진 것으로 판단된다.

표 9. 高低網(H網) 平均計算 結果

地 區	平均제곱根誤差 (m <sub>0</sub> )	與點	求 點
水 原	3".09	9點	2次點: 134點 1次點:
原州·洪川	2".11	8點	2次點: 139點 1次點: 15點

또한, 조선총독부 실용성과 및 현재 사용되고 있는 실용성과와 갱신계산에 의한 실용성과 등을 비교하였다. 完全點에 대하여는 갱신계산에 의한 실용성과 (3)과 朝鮮總督部 실용성과 (1)

과의 座標差((3)-(1))과 갱신계산에 의한 실용성과와 현 실용성과(2)와의 座標差((3)-(2)) 두 가지 모두를 구하였다.

정밀 1 차망에 있어서 좌표차((3)-(1))(우리나라 삼각점 실용성과의 특성상 완전점인 경우 좌표차 ((3)-(1))과 좌표차 ((3)-(2))는 같음)은 그 최대값이 1<sup>m</sup>.16 이고 그 값이 0<sup>m</sup>.5 이상인 점도 상당수에 이르고 있는 것으로 나타나고 있는데 이는 기본적으로 조선총독부 실용성과의 不整合性を 나타내고 있는 것으로 판단된다. 그리고 본 연구에서의 실용성과 산출을 대상으로 한 정밀 1 차망에 있어서는 그동안의 再·移設을 통하여 그 실용성과가 산출된 점은 없었으나 완전점인 측점번호 1059 및 1078의 경우 ((3)-(1))과 ((3)-(2))의 교차는 각각 0<sup>m</sup>.241 과 0<sup>m</sup>.248 이었다.

정밀 2 차망의 경우 수원지구의 좌표차 ((3)-(2))는 그 최대값이 3<sup>m</sup>.246 이고 1<sup>m</sup>.0 을 넘는 점들이 상당수에 이르고 있다. 이는 그 지구가 구조삼각측량 지역에 속하고 있는 데에 연유하는 것으로 보아야 하고 이에 따라 좌표차 ((3)-(1))에 관하여는 참고적으로 B.L 에 관한 좌표차를 구하는 데 그쳤다.

또한 원주, 홍천에 있어서는 좌표차 ((3)-(1)) 및 ((3)-(2))의 최대값은 각각 1<sup>m</sup>.680 및 3<sup>m</sup>.129 이고, 그 좌표차가 1<sup>m</sup>.0 을 넘는 점은 전자의 경우 2점이고 후자의 경우에는 8점이다. 따라서 현 실용성과의 不整合性は 조선총독부 실용성과의 不整合性에 비하여 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

## 5. 結 論

본 연구에서 도출된 우리나라의 새로운 측지좌표계와 준거타원체의 설정 및 국가 기준점(삼각점)의 실용성과 산출과 1차, 2차 기준점 측량성과를 기초로 한 삼각점의 실용성과 갱신의 기본 방향은 다음과 같다.

- (1) 새로운 실용성과 산출의 기초가 되는 정밀측지방의 조기정비를 위하여 정밀 1차 및 2차 기준점 측량을 가능한 한 급세기 내에

마무리 한다. 이를 위하여 위성측지법 등의 첨단기술의 도입, 활용과 새로운 기술의 개발에 주력하는 동시에 官, 産, 學의 유기적 협동체제 하에서 고급 기술인력의 양성, 확보를 도모한다.

- (2) 새로운 측지좌표계 및 준거타원체로서 지심 3차원좌표계 (geocentric cartesian coordinate system) 및 세계타원체 (WGS에서 채용하고 있는 타원체 등)를 확립, 설정한다. 그리고 측지원점으로는 원칙적으로 1985년에 설치된 대한민국 經緯度原點을 채용되 엄밀한 측지학적, 중력학적 조사, 분석을 통하여 그 測地原子(geodetic datum)를 확정한다. 조사, 분석 과정에서 현재의 대한민국 경위도원점이 새로운 측지좌표계의 측지원점으로 적합치 않은 것으로 판명되었을 때에는 측지원점으로 적합한 다른 점을 선정한다.

- (3) 새로운 측지좌표계에 의한 정밀 1차 및 2차점의 실용성과는

—정밀 1차망에 있어서는 BL 망평균에 의한 전국 同時網平均에 의하여 정밀 1차점의 실용성과를 산출한다.

—정밀 2차망에 있어서는 XY 망평균에 의한 전국 同時網平均 또는 전국을 몇 개의 평면직각좌표계로 구분하여 실시하는 지역별 망평균에 의하여 정밀 2차점의 실용성과를 산출한다.

이를 위하여 1990년대 중에 망평균계산용 전산프로그램을 개발하며, 실용성과 산출을 위한 망평균계산에 있어서는 Laplace 조건 및 지오이드高를 고려하는 한편, GPS 또는 VLBI에 의한 2~3개소의 基線場을 확립한다. 평면직각좌표계로서는 가우스-크뤼거 투영법(Gauss-Kruger Projection)에 의한 새로운 평면직각좌표계(6-7계)를 채용한다.

- (4) 현 삼각점의 실용성과를 정밀 1차 및 2차 기준점 측량성과를 사용, 계산에 의하여 부분 更新한다. 지역에 따른 성과의 변동이 예상되지만 이를 극소화하는 방향으로 갱신한다. 부분 갱신에 의한 실용성과는 새로운

측지좌표계에 의한 실용성과가 산출될 때까지의 暫定 실용성으로 한다.

## 謝 辭

본 연구는 한국측지학회가 수행한 국립지리원의 1989년도 연구사업으로서 본 연구를 위하여 기탄없는 조언과 자료를 제공해 주신 국립지리원 관계자 여러분에게 심심한 사의를 포함합니다.

## 參 考 文 獻

1. 최재화, 1983, 우리나라 평면직각좌표에 관한 연구, 한국측지학회지, 1(2), pp.42-59.
2. 안철호, 최재화, 1986, 일반측량학, 문운당.
3. 국립지리원, 1987, 정밀 2차기준점 측량 작업규정.
4. 국립지리원, 1987~8, 측량심의회 자료.
5. 이영진, 1989, 고밀도 측지망의 결합조정에 관한 연구, 한양대(박사논문).
6. 백은기, 이영진, 최윤수, 1985, 경위도 좌표에 의한 측지망의 동시조정, 토목학회 논문집, 5(4), pp.121-127.
7. 백은기, 이영진, 최윤수, 1985,  $\phi, \lambda$  망과 X, Y 망의 동시조정에 관한 연구, 한국측지학회 학술발표회.
8. 안철호, 1985, 우리나라 정밀측지망의 설정에 관한 연구, 국립지리원.
9. 건설부 국립지리원, 1984, 우리나라 정밀삼각망 조정에 관한 연구, 건설부 국립지리원, 서울.
10. 홍성영, 1987, 측지측량에 관한 연구 보고서, 일본국 건설성 국토지리원.
11. 田島, 小牧, 1988, 最小自乗法の理論とその應用
12. 조선총독부 임시토지조사국, 조선토지조사 사업 보고서, 판인쇄(주), 동경.
13. 일본 측량협회, 1970, 측량. 지도백년사, 매일본인쇄(주), 동경.
14. 육지측량부 삼각과, 조선삼각 및 수준측량계획, 육지측량부, 동경.
15. 일본측량협회, 1983, 현대측량학: 제 4 권(측지측량①), 매일본인쇄(주), 동경.
16. 일본 측량협회, 1982, 현대측량학: 제 3 권(일반측량), 매일본인쇄(주), 동경.
17. 일본 측량협회, 1980, 정밀 기준점측량, 동경.
18. 일본 측지학회, 1974, 測地學の概觀, 일본 측지학회, 동경.
19. 野村正七, 地圖投影法, 일본 지도 Center.
20. 檀原毅, 1973, 測量工學, 삼북출판(주), 동경.
21. 건설성 국토지리원, 1988, 정밀측지망 1차 기준점 측량작업규정, 일본 측량협회, 동경.
22. 건설성 국토지리원, 정밀측지망 1차 기준점 측량작업규정 기재요령(안), 건설성 국토지리원.
23. 일본 측지학회, 1989, GPS, 장광사 인쇄(주), 동경.
24. The Defence Mapping Agency, 1987, Department of Defence World Geodetic System 1984, The Defence Mapping Agency, Washington, DC.
25. Bjerhammar, A., 1973, Theory of Errors and Generalized Matrix Inverses, Elsevier Scientific Publs.
26. Blachut, T.J., A. Chrzanowski and J.H. Saastamoinen, 1979, Urban Surveying and Mapping, Springer-Verlag.
27. Bomford, G., 1980, Geodesy, Oxford-University Press.
28. Davis, R.E., 1981, Surveying: theory and practice.
29. Grundig, L. and J. Bahndorf, 1984, Accuracy and Reliability in Geodetic Networks-Program System OPTUN, Journal of Surveying Engineering(ASCE), 110(2), pp.133-145.
30. Rao, C.R. and S.K. Mitra, 1971, Generalized inverse of Matrices and its Applications, John Wiley & Sons.
31. Richardus, P., 1984, Project Surveying, A.A. Balkema.
32. Mikhail, E.M., 1976, Observations and Least Squares, Harper & Row.
33. Kavanagh, B.K. and S.J.G. Bird, 1984, Surveying: principles and applications, Prentice-Hall.
34. Leick, A., 1983, Minimal Constraints in Two-Dimensional Networks, Journal of the Surveying Engineering(ASCE), 108(SU2), pp.53-68.
35. Koch, K.R., 1984, Statistical Tests for Detecting Crustal Movements Using Bayesian Inference, NOAA Technical Report, NOS NGS-29.
36. Koch, K.R., 1982, S-Transformations for Obtaining Estimable Parameters, in Forty Years of Though (vol. 1), Delft.
37. Tienstra, J.M., 1956, Theory of the Adjustment of Normally Distributed Observations, N. V. Uitgeverij.
38. Vanicek, P. and E.J. Krakiwsky, 1982, Geodesy: the concepts, North-Holland.