

# 우리나라 重力測定에 관한 研究

## A Study on Measurement of the Gravity in KOREA

白 殷 基\*      金 甘 來\*\*  
Baick Eun-Kee      Kim Kam-Lae

### 要 旨

本 研究에서는 Lacoste 重力計에 의하여 왕복 測定된 重力값으로 부터 地球潮汐補正 計算 및 부계 補正을 實施한 후 드리프트와 平均標準誤差를 計算하여 比較檢討하였다.

이 結果로 미지點의 緯度, 經度, 重力값 및 標高을 計算할 수가 있고 이는 지각구조 研究의 基礎資料는 물론 地球物理學的으로도 많이 利用될 것이다.

### ABSTRACT

Using double-measured gravity values which observed by Lacoste instrument, drifts and MSE are analyzed after TIDE correction and Bouguer reduction is investigation.

As the result of this study, it is possible to calculation a latitude, longitude, gravity and elevation at unknown point, and perhaps will be used as a fundamental data for application in the earth's crust structural analysis and geophysics.

### 1. 序 論

重力값은 地下構造에 따라서 좌우되기 때문에 重力값을 測定하여 그 地理的인 分布로부터 地下構造를 推定하여 크게는 大陸이나 海洋의 成立; 大山脈 海溝 등의 構造推定과 작게는 地域的인 地質解明이나 石油 등의 地下資原探査가 이루어지고 있으며 重力값이나 그 方向의 經年的 變化를 調査하여 地下의 變動을 深究하거나 太陽 혹은 달의 위치에 따른 重力값이나 그 方向의 變化 狀況을 調査하여 地球彈性을 推定하는

것이다.

우리나라 重力測定의 歷史는 1930年代에 日本에 의해 시행되었다고는 하나 그 結果記錄은 없고 1961年 美軍이 軍事的인 目的으로 金浦 여의도 江陵 등 14個 지점에 대하여 重力點을 設置하였고 1964年 金浦 釜山 浦項 등 15個 지점이 測定되었으며 같은해 美國의 위스콘신 大學의 G. P. Wollard教授에 의해 國際重力測定의 一部로서 金浦, 春川, 浦項 등이 再測定되었다.

實際的인 重力測定은 1970년에 重力資原研究所(舊 地質調査所)에서 U. Uotila 教授가 測定하였고 그 重力測定은 새로운 世界重力網 設立을 위한 作業의 일환으로 韓國, 日本, 香港, 싱가포르 필리핀 등에 연결하였고 그 測定에는 Lacoste 重力計가 使用되었으며 그 共同重力測定의

\* 서울市立大學校 工科大學 教授

\*\* 明知大學校 工科大學 副教授

結果는 IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971)에 反映되고 있다.

한편 1975년부터 國立地理院에서 측정한 重力測定은 韓國重力基準網의 完成을 指向한 것으로 어려운 여건속에서도 每年 측정되고 있다.

## 2. 重 力

### 2.1 引力과 重力

引力이란 두 質量사이에서 作用하는 힘이고 地球上의 物體에 作用하게 되는 引力과 遠心力의 合力을 重力이라고 한다.

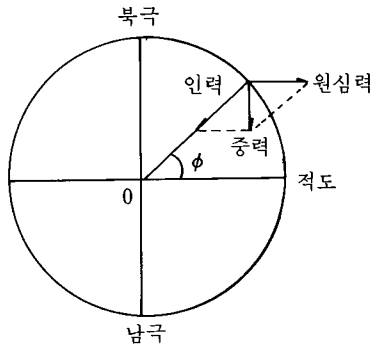


그림 2-1. 지구의 인력, 원심력과 중력

地球의 半徑R을 球로 가정하여 地球의 質量을 M 自轉의 角速度를  $\omega$ 로 하면 緯度 $\phi$ 를 地表로 하는 單位質量의 物體에 作用하는 引力과 遠心力을 各各  $GM/R^2$  및  $R\omega^2 \cos \phi$  라하면 極과 赤道와의 重力

$$g = GM/R^2 \quad g = GM/R^2 - \omega^2 R$$

이다.

重力은 引力과 遠心力과의 合으로 부터 重力 Potential과의 2개의 힘 Potential과의 合이다. 遠心力의 Potential을  $\Phi$ , 重力 Potential을 W라 하면

$$W = V + \Phi \quad (2-1)$$

이고

地球의 中心부터의 距離를 r라고 하면

$$\Phi = \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) = \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos^2 \phi \quad (2-2)$$

이다. Laplace's 方程式으로 부터 계산하면

$$W = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} (C_n^m \cos m\lambda + S_n^m \sin m\lambda) \times P_n^m(\cos \theta) + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \theta \quad (2-3)$$

으로 表示할 수 있다.

重力의 方向은 近似的으로  $-r$ 의 方向이므로 式(2-3)으로 부터

$$g = -\frac{\partial W}{\partial r} \quad (2-4)$$

로 計算하면 地表의 重力은  $r=R$ 에 가까와 지므로

$$g = \frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (n+1) (C_n^m \cos m\lambda + S_n^m \sin m\lambda) \times P_n^m(\cos \theta) - \omega^2 R \sin^2 \theta \quad (2-5)$$

이다.

### 2.2 橢圓體의 重力

地球의 形狀은 두 軸의 長이가 같은 回轉橢圓體(ellipsoid of revolution)에 가까우므로 回轉橢圓體의 方程式을 Cartesian 座標로 表示하면

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (2-6)$$

이 된다.

回轉橢圓體上의 한 點 P의 位置를 그 中心 O로 부터의 距離  $OP=r$ , 地心緯度  $\phi$  및 地心經度  $\lambda$ 로 表示하면

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \phi \cos \lambda \\ y &= r \cos \phi \sin \lambda \\ z &= r \sin \phi \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

로 주어진다.

式(2-7)에서  $x, y, z$ 을 消去하면

$$r = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \phi + b^2 \cos^2 \phi}} = \frac{b}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \phi}} \quad (2-8)$$

윗 式에서  $e < 1$ 이고  $e^2$ 에 關한 冪級數로 展開하여  $e^6$  以上의 項을 無視하면

$$r = b \left( 1 + \frac{1}{2} e^2 \cos^2 \phi + \frac{3}{8} e^4 \cos^4 \phi \right) \quad (2-9)$$

$$= a(1 - f \sin^2 \varphi + \frac{1}{8} f^2 \sin^2 2\varphi)$$

가 된다.  $\varphi$ : 地理緯度

地表面의 點 P로부터 橢圓體의 垂線이 Z軸과 교차하는 點을 Q라 할때  $\overline{PO} = N$ 라고 하면

$$r \cos \phi = N \cos \varphi$$

이므로 이를 使用하여 식(7-8)을 다시쓰면

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2-10)$$

가 얻어지며 點 P의 Cartesian 좌표는 N을 使用하여

$$\begin{aligned} x &= N \cos \varphi \cos \lambda \\ y &= N \cos \varphi \sin \lambda \\ z &= b^2 / a^2 N \cos \varphi \end{aligned} \quad (2-11)$$

로 표시 할 수 있다.

### 2.3 Spheroidal 座標에 의한 引力 Potential

回轉橢圓體를 Spheroidal 座標로 表示할때는 Spheroidal 座標( $u, \beta, \lambda$ )에서는  $u = \text{const}$ 가 橢圓體를 나타낸다.

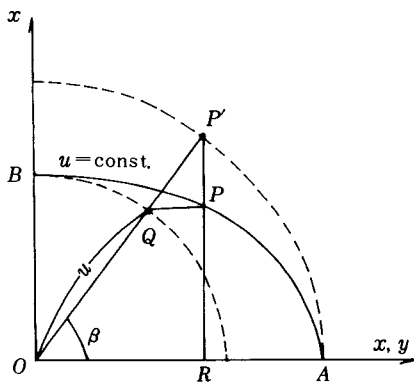


그림 2-2. Spheroidal Coordinate

그림 2-2에서  $u = \text{const}$ 인 面은 Z軸을 B에서 접하고  $u = \text{const}$ 面上的의 한 點을 P라할때, P에서  $xy$ 面에 垂線 PR가 A를 지나는 補助球面과 만나는 點을 P'라 할때  $\overline{OQ} = u$ ,

$$\overline{OP'} = \sqrt{u^2 + \epsilon^2}$$

이때  $\epsilon$ 는 橢圓面  $u = \text{const}$ 의 中心과 焦點과의 거리일때

$$\epsilon = ae \quad (2-12)$$

인 관계이다.

$\beta$ 는 P'에 關한 地心緯度이고 P의 更成緯度라고 할때

$$Q = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (2-13)$$

이 되며 Spheroidal 座標와 Cartesian 座標와의 관계는

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{u^2 + \epsilon^2} \cos \beta \cos \lambda \\ y &= \sqrt{u^2 + \epsilon^2} \cos \beta \sin \lambda \\ z &= u \sin \beta \end{aligned} \quad (2-14)$$

이다. 식(2-14)는 식(2-7)과 같으므로

$$\begin{aligned} r \cos \phi \cos \lambda &= \sqrt{u^2 + \epsilon^2} \cos \beta \cos \lambda \\ r \cos \phi \sin \lambda &= \sqrt{u^2 + \epsilon^2} \cos \beta \sin \lambda \\ r \sin \phi &= u \sin \beta \end{aligned} \quad (2-15)$$

을 얻을 수 있다.

橢圓體의 密度는 半径方向 및 그 緯度 經度에 따라서 값이 다르므로 Laplace's equation을 풀어서 얻어지는 橢圓體의 引力 Potential V는

$$V = \frac{GM}{b} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{Q_n^m \left(\frac{iu}{\epsilon}\right)}{Q_n^m \left(\frac{ib}{\epsilon}\right)} \left( A_n^m \cos m\lambda + B_n^m \sin m\lambda \right) P_n^m(\sin \beta) \quad (2-16)$$

이다.  $\epsilon \rightarrow 0$ 인 경우에는  $u = r$ ,  $R = b$ 로 되므로

$$V = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} \left( C_n^m \cos m\lambda + S_n^m \sin m\lambda \right) P_n^m \cos Q \quad (2-17)$$

을 얻을 수 있다.

### 2.4 正規重力 Potential

正規 Potential을 U로 하고 disturbing pote-

ntial을  $T$ 라고 할때 重力 Potential  $W$ 는

$$W = U + T \quad (2-18)$$

이다. 正規 Potential  $U$ 에는 經度成分이 포함되지 않으므로  $m=0$ 이다. 이때 식(2-16)에서  $U$ 와 遠心力 Potential에 對하여 整理하면

$$U = \frac{GM}{b} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Q_{2n}(\frac{iu}{\epsilon})}{Q_{2n}(\frac{ib}{\epsilon})} A_{2n} P_{2n}(\sin \beta) + \frac{1}{2} \omega^2 (u^2 + \epsilon^2) \cos^2 \beta \quad (2-19)$$

그림(2-2)에서  $u = b$ 가 等 Potential面  $U = U_0 (= \text{const})$ 일때 식(2-19)은

$$U_0 = \frac{GM}{b} \sum_{n=0}^{\infty} A_{2n} P_{2n}(\sin \beta) + \frac{1}{3} \omega^2 a^2 \{1 - P_2(\sin \beta)\} \quad (2-20)$$

로 된다. 식(2-20)가 모든  $\beta$ 에 對하여 成立하기 위해서는

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{b}{GM} (U_0 - \frac{1}{3} \omega^2 a^2) \\ A_2 &= \frac{\omega^2 a^2 b}{3GM} \\ A_{2n} &= 0 : n \geq 2 \end{aligned} \right\} \quad (2-21)$$

이 되어야 한다. 또한

$$Q_0(\frac{iu}{\epsilon}) = -i \tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} \quad (2-22)$$

$$Q_2(\frac{iu}{\epsilon}) = \frac{i}{2} \left\{ (1 + \frac{3u^2}{\epsilon^2}) + \tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} - \frac{3u}{\epsilon} \right\}$$

이 되므로 식(2-22)을 利用하여 식(2-19)을 다시쓰면

$$U = f(u) \cos^2 \beta + g(u) \sin^2 \beta \quad (2-23)$$

로 쓸 수 있다.

단

$$\left. \begin{aligned} f(u) &= P(u) - \frac{\omega^2 a^2}{6q_0} q(u) + \frac{1}{2} \omega^2 (u^2 + \epsilon^2) \\ g(u) &= P(u) + \frac{\omega^2 a^2}{3q_0} q(u) \\ p(u) &= (U_0 - \frac{1}{3} \omega^2 a^2) \tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} / \tan^{-1} \frac{\epsilon}{b} \end{aligned} \right\} \quad (2-24)$$

$$q(u) = \frac{1}{2} \left\{ (1 + \frac{3u^2}{\epsilon^2}) \tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} - \frac{3u}{\epsilon} \right\}$$

$$q_0 = q(b)$$

$$\tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} (\frac{\epsilon}{u})^{2n+1}$$

이 된다.

式(2-21)에서 계산되는  $A_2$  및  $A_{2n} (n \geq 2)$ 와 함께 式(2-17)에 代入하여 정리하면

$$U = \frac{GM}{\epsilon} \tan^{-1} \frac{\epsilon}{u} + \frac{\omega^2 a^2}{3q_0} q(u) P_2(\sin \beta) + \frac{1}{2} \omega^2 (u^2 + \epsilon^2) \cos^2 \beta \quad (2-25)$$

로 된다. 이 式을 正規 重力 Potential이라고 한다.

## 2.5 正規 重力式

地球를 回轉 橢圓體로 간주하여 重力을 求하면 式(2-23)에서  $u$ 方向의 區配를  $r$ 라 하면

$$r = -\frac{1}{h_1} \cdot \frac{\partial U}{\partial u} = -\sqrt{\frac{u^2 + \epsilon^2}{u^2 + \epsilon^2 \sin^2 \beta}} \times \{f'(u) \cos^2 \beta + g'(u) \sin^2 \beta\} \quad (2-26)$$

이 되는데 이때  $u = b$ 로 하면

$$r = \frac{ar_P \sin^2 \beta + br_E \cos^2 \beta}{\sqrt{a^2 \sin^2 \beta + b^2 \cos^2 \beta}} \quad (2-27)$$

이다.

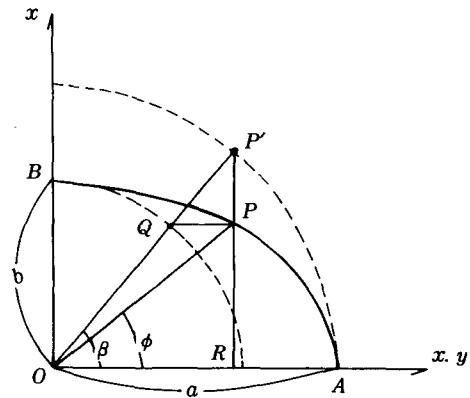


그림 2-3. 地心緯度  $\phi$ 와 更成緯度  $\beta$

$$\tan \phi \frac{\overline{PR}}{OR} = \frac{b}{a} \tan \beta$$

이 되므로 식(2-16)을 정리하면

$$r = \frac{ar_E \cos^2 \varphi + br_P \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2-28)$$

을 얻는다. 이 식을 正規重力式이라고 한다.

正規重力式  $\gamma_{1967}$ 의 展開式은 Chebyshev 近似로서

$$r_{1967} = 978.03185 (1 + 0.005278895 \sin^2 \varphi + 0.000023462 \sin^4 \varphi) \text{ gal} \quad (2-29)$$

(0.004 mgal)

$$r_{1980} = 978.03267715 (1 + 0.0052790414 \sin^2 \varphi + 0.000232718 \sin^4 \varphi + 0.000001262 \sin^6 \varphi + 0.0000000007 \sin^8 \varphi) \text{ gal}$$

(0.001mgal)

이다.

國際重力式  $r_{1930}$ , 正規重力式  $r_{1967}$ , 및 正規重力式  $r_{1980}$ 의 差를 求하는 式은

$$\begin{aligned} r_{1967} - r_{1930} &= -(17.2 - 13.6 \sin^2 \varphi) \text{ mgal} \\ r_{1968} - r_{1930} &= -(16.3 - 13.7 \sin^2 \varphi) \text{ mgal} \\ r_{1980} - r_{1930} &= (0.8316 + 0.0782 \sin^2 \varphi - 0.0007 \sin^4 \varphi) \text{ mgal} \end{aligned} \quad (2-30)$$

이 되고 한 重力式으로부터 다른 重力式과의 重力異常 變換에 使用되는 實用計算式 이다.

### 3. 重力값의 決定

#### 3.1 國際重力網

1909年 IAG總會에서는 絶對測定에 의하여 구한 重力값

$$g = 981.274 \pm 0.003 \text{ gal} \quad (3-1)$$

을 世界 基準값으로 채용하여 各地點에서는 重力振子를 使用한 相對測定으로 重力값을 얻었다.

그후 1930年代 美國의 國立標準局과 英國의 物理研究所에서 1956년에는 國際重力基準點 34點이 選定되었고, 1965年頃에는 美國에서 Lacoste 重力計를 使用하여  $\pm 0.1 \text{ mgal} \sim \pm 0.03 \text{ mgal}$ 의 높은 相對正確度를 얻을 수 있었다.

IGSN71에 의한 Postdam Datum Point의 새로운 重力값은

$$g = 981260.19 \pm 0.000017 \text{ gal} \quad (3-2)$$

이고 補正量은  $-14.0 \text{ mgal}$ 이다.

現存 우리나라 國立地理院에서 구하는 重力값은 IGSN71에 基礎한 重力값이다.

#### 3.2 重力計에 의한 相對測定法

우리나라의 國立地理院에서의 重力測定은 Lacoste 重力計에 의한 相對測定에 의하고 있으며, 測點의 選定은 水準點 및 三角點을 利用할 수 있으며 가능한 한 測點間의 重力差가 적게끔 選定하고 測點間의 移動時間은 1日以內이며 基準重力點에서의 閉塞時間은 10日以內가 적당하다.

水準點을 測點으로 하는 경우에는 網을 構成하여 單位作業에서는 環을 閉合시키고 1等重力點과 반드시 結合한다.

三角點을 이용하는 경우에는 緯度  $3' \sim 4'$ , 經度  $5' \sim 6'$ 마다 한 點이상의 密度로 하고 測點은 基準點을 使用하는 것이 原則이다.

#### 3.3 Lacoste 重力計

表 3-1. Lacoste 重力計에 의한 測定方法과 測定正確度

測定의 類型 및 誤差	重力異常을 구하는 것을 目的으로 하는 등 비교적 正確度를 요하지 아니하는 測定 $0.05 < \delta < 0.15$	重力의 變化를 檢出하는 것을 目的으로 하는 등 正確度를 요하는 測定 $\delta < 0.03 \text{ mgal}$
區 分	mgal	
重力計  운반방법	徒步에 의한 운반도 가능함	자동차에 의한 운반을 위주로 하는 한편 보다 신중히 다룬다.
氣溫(季節)	특별히 배려할 필요는 없음	氣溫이 相對的으로 높은 여름철이 양호
環의 設定	單一環으로 할 수도 있음	往復測定
한點에 있어서의 讀定回數	1회이상	3회이상

단,  $\delta$ : 測定誤差

Lacoste 重力計는 恒溫槽에 의하여 計器内部를 약 50°C 정도로 維持하여 언제든지 測定할 수 있는 狀態가 되게 하는 동시에 하루에 한번은 測定을 시행하여 drift의 狀態를 파악하여야 한다.

重力計에는 drift가 發生하는데 이는 測定正確度에 영향을 미치는 것으로 그 原因은 重力計의 충격, 運搬方法의 變化, 電源電圧의 變化, 周位溫度의 變化등을 들 수 있다.

### 3.4 測定값의 計算

國立地理院에서는 1975년부터 Lacoste 重力計를 使用하여 重力測定을 하였다. 本 研究에서는 1984年の Computer 처리값 중에서 LOOP4~11까지의 結果를 수록하였다.

相對測定에 의한 重力點의 重力값은 製作會社에서 주어진 重力計定數表를 使用한다.

各 測點에서의 讀定값을 重力값으로 變換한 重力값에는 器機高補正, drift補正, 地球潮汐(TIDE)補正을 施行하여 重力差를 加減하여 計算한다.

#### 3.4.1 重力差計算

(1) 測定값을 重力값으로 變換

$$g = G + \delta g + \delta g' \quad (3-3)$$

(2) drift의 補正

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i^2} \quad (3-4)$$

(3) 두 點間의 重力差

$$\Delta g_{ij} = [g_i - \alpha(t_i - t_1) - \{g_j - \alpha(t_j - t_1)\}] \cdot C \quad (3-5)$$

(4) 平均제곱오차

$$m = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta g_i - \alpha \cdot \Delta t_i)^2 / (n-1)} \quad (3-6)$$

#### 3.4.2 地球潮汐(TIDE)補正

달 및 太陽에 의한 起潮力은 시시각각으로 變化하는 달 및 太陽의 位置를 求하여 그 때의 引

力을 直接計算하는 方法을 채택하였다.

(1) 計算方法

地球表面에 미치는 달 또는 太陽의 起潮力 Potential은

$$\begin{aligned} V &= \frac{GM}{R} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{r}{R}\right)^n P_n(\cos z) \\ &= \frac{GRr^2}{R^3} \{P_2(\cos z) + \frac{r}{R} P_3(\cos z) \\ &\quad + \left(\frac{r}{R}\right)^2 P_4(\cos z) + \dots\} \quad (3-7) \end{aligned}$$

이다.

이때 달의 起潮力  $V_m$ , 太陽의 起潮力  $V_s$  라 할때 起潮力 Potential은

$$\begin{aligned} V &= V_m + V_s \\ &= \frac{GM_m r^2}{2R^3 m} \{3\cos^2 Z_m - 1 + \frac{r}{R_m} \\ &\quad (5\cos^2 Z_m - 3\cos Z_m)\} + \\ &\quad + \frac{GM_s r^2}{2R_s^3} (3\cos^2 Z_s - 1) \quad (3-8) \end{aligned}$$

인데 球面天文에서

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H \quad (3-9)$$

$$H = t + \lambda + \alpha \circ - \alpha + \pi \quad (3-10)$$

$$\begin{aligned} \alpha \circ &= 18^h 38^m 45.836 + 8640184.542 T' \\ &\quad + 0.0934 T'^3 \quad (3-11) \end{aligned}$$

이다. 이 起潮力은 式(3-8)을 微分하여 式(3-10)을 式(3-9)에, 式(3-9)를 式(3-8)에 代入하여 微分하면 起潮力の 3成分은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_{up} &= \frac{\partial V}{\partial r} \\ &= \frac{GM_r}{R^3} \{3\cos^2 z - 1 + \frac{3r}{2R} (5\cos^3 z - \\ &\quad 3\cos z)\} \quad (3-12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{north} &= \frac{\partial V}{r \partial \phi} \\ &= \frac{GM_r}{R^3} \{3\cos z + \frac{3r}{3R} (5\cos^2 z - 1)\} \\ &\quad (\cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos H) \quad (3-13) \end{aligned}$$

$$W_{east} = \frac{1}{r \cos \phi} \cdot \frac{\partial V}{\partial \lambda}$$

$$= -\frac{GM_r}{R^3} \left\{ 3 \cos z + \frac{3r}{2R} (5 \cos^2 z - 1) \right\} \cos \delta \sin H \quad (3-14)$$

으로 계산한다.

#### (2) 달의 위치計算

달의 運動은 Brown이 確立하고 Eckert 등이 개량한 “Im Proved Lunar Ephemeris 1952-1957”의 計算法을 使用하였다.

ILE에 의하면 달의 黃經 黃緯와 距離는 各各 獨立的으로 求하고 그 平均位置에 많은 攝動項이 부가 되는 값이다.

$$S = 270^\circ 43436 + 481267^\circ 88314 T \quad (3-15)$$

$$-0^\circ 00113 T^2 WA$$

$$H = 279^\circ 69668 + 36000^\circ 76892 T \quad (3-16)$$

$$+0^\circ 00030 T^2 WB$$

$$P = 334^\circ 32944 + 4069^\circ 03403 T \quad (3-17)$$

$$-0^\circ 01033 T^2 WC$$

$$N = 259^\circ 18327 - 1934^\circ 14201 T \quad (3-18)$$

$$+0^\circ 00208 T^2 WD$$

$$P' = 281^\circ 22083 + 1^\circ 71918 T \quad (3-19)$$

$$+0^\circ 00045 T^2 WE$$

이다. 달의 黃經

$$L_m = S + \sum_i k_i \sin(A_i) \quad (3-20)$$

으로 둘째項은 Periodic term이다.

달의 黃緯는 角度計算에서 18"이상의 振幅을 갖는 項까지 취하였고 式은

$$\beta_m = 18159''.7 \sin(F + \sum_i m_i \sin B_i) \quad (3-21)$$

$$+ \sum_j n_j \sin C_j$$

이고 달까지의 地心距離는 ILE에서는 視差의 正弦으로

$$H = 3422''.700 + \sum_i q_i \cos E_i \quad (3-22)$$

으로 本 研究에서는 달 太陽의  $\alpha, \delta$ 에 대해서는  $90''$ ,  $R$ 에 대해서는 0.01%의 正確度로

$$L_s = h + 2e \sin \ell' + \frac{5}{4} e^2 \sin 2\ell' \quad (3-23)$$

$$\beta_s = 0$$

$$\frac{C}{R_s} = 1 + e \cos \ell' + e^2 \cos 2\ell' \quad (3-25)$$

#### (3) 太陽의 位置計算

太陽의 運動은 橢圓運動으로 간주하여 Kepler의 運動式으로 計算하여야 하지만 本 研究에서는 近似式을 使用하여

$$g' = G \cdot g_0 \quad (3-26)$$

로 計算하였으며 TIDE 계산프로그램을 使用하였다.

#### 3.4.3 우리나라의 重力測定값의 計算

1975년부터 施行된 重力測定은 2等重力測定에 의한 2等重力點을 設置하기 위하여 약 2000點의 예정에서 1984년까지 676點을 完了하였고 1981년에 釜山, 大邱, 大德등지에 4點의 重力補助 基準點을 相對測定에 의하여 設置하였다.

國立地球院에서는 Lacoste重力計를 使用하였고, 重力計算값의 計算正確度는 0.01mgal 이상 이므로 重力點의 높이는 約 3cm의 正確度로 하였다.

Computer 計算時에 “OBSERVATION RESULT”는 年度別, 環別로 測點의 重力差를 計算한 것이고 各 Loop마다 測定의 一連番號와 測點名, 觀測日時와 重力 測定값을 入力한다. 觀測時間의 單位는 時로 소수 3位까지 표시하였다. “MGA”은 測定값을 重力計定表에 의하여 重力값으로 變換한 후에 地球潮汐補正(TIDE) 및 器械高補正(IM)을 한 讀定값에서 구한 重力값이다.

또한 “CALCULATION RESULTS”는 各 測點의 重力값을 重力基準點의 重力값에 “DIFFERENCE IN GRAVITY”에 의한 重力差를 더하여 구하고 正規重力式  $r_{1971}$ 에 의하여 各 測點의 正規重力값과 重力異常의 計算式에 의하여 Free-Air異常과 Bouguer異常을 計算하였다.

#### 4. 重力의 補正 및 重力異常

地球上의 各 觀測에 있어서 重力값은 높이의 함수로서 周圍의 狀況도 여러가지로 다르므로

實測값에 適當한 補正을 하여야 하며 重力값은 Geoid面上에 補正한 重力값에서 正規重力값을 뺀 것을 重力異常이라고하며, 地球表面上의 構造에 대한 귀중한 정보를 얻는데 使用되고 있다.

#### 4.1 重力의 補正

重力의 補正에는

- 高度補正 (Free-air Reduction)
- 地形補正 (Topographic Reduction)
- 부계補正 (Bouguer Reduction)
- 아이소스타시 補正 (Isostasy Reduction)

등이 있다.

##### 4.1.1 Free-air Reduction

높이가  $h$ 인 測點에서 測定된 重力값  $g$ 를 Geoid面에 補正할때 物質의 引力은 고려하지 않고 重力을 求하는 것으로 1m에 대하여 0.0003086 gal 이다.

보정후의 重力값  $g_0$ 는

$$g_0 = g + \Delta g = g + 0.3086h \quad (4-1)$$

$$h : m, g : g_0 : mga\ell$$

##### 4.1.2 Topographic Reduction

測點이 山의 中腹에 있는 경우 水平面 上部에는 物質이 없고 下部에는 全部物質이 꼭 차있는 경우와 비교할때 測定되는 重力값은 觀測點 周위의 높은 部分을 깎고 낮은 部分은 메워 平坦한 地形으로 고른 경우의 重力값보다는 적다. 이때 적어지는 量을 計算하여 더함으로서 항상 (t)의 값을 갖으므로 實測값에 더한다.

$$\begin{aligned} g'_0 &= g_0 + \Delta g' \\ &= g + 0.3086h + \Delta' g \end{aligned} \quad (4-2)$$

##### 4.1.3 Bouguer Reduction

高度補正의 경우는 測點과 Geoid사이에는 物質이 存在하지 않는 것으로 가정하였지만 實際는 岩石이 存在하므로 測點에 引力이 미치고 있으므로 地形補正을 한 다음에 두께  $h$ , 密度  $\rho$ 인

無限平板의 引力은  $2\pi G\rho h$ 이고 이것을 測定값에서 빼면

$$\begin{aligned} g''_0 &= g + 0.3086h + \Delta g' - 2\pi G\rho h \\ &= g + 0.1967h + \Delta g' \end{aligned} \quad (4-3)$$

#### 4.2 重力異常

各 地點에서 決定되는 重力값( $g$ )와 같은 地點의 正規重力값( $r$ )은 일치하지 않으므로 重力異常 값도 달라지게 된다. 즉  $\Delta g = g_0 - r$ 를 高度異常,  $\Delta g'' = g''_0 - r$ 를 부계異常이라 하는데 重力異常은 Geoid의 凹凸, 地下構造의 推定등에 이용되고 Computer Program에 利用된 重力異常式은 다음과 같다.

- Free-air Reduction

$$\delta_{fa} = g + 0.3086H(m) + \delta_a - r \quad (4-4)$$

- Bouguer Reduction

$$\delta_{bs} = g + 0.1967H(m) + \delta_a - r \quad (4-5)$$

本 研究에서는 式(4-4) 및 式(4-5)에 의하여 계산된 Free-air異常 및 Bouguer異常은 表4-1과 같다.

### 5. 우리나라 重力異常의 分析

Computer에 의해서 計算된 값으로 Free-air異常圖(그림5-1) 및 Bouguer異常圖(그림5-2)를 그릴수 있었다.

本 研究에서는 Bouguer異常圖로 부터 重力異常을 分析하였다.

① 內陸에 넓은 地域에 걸쳐 異常이 負(-)인 地域인 江原道 橫城, 平昌, 寧越地方과 慶尙南道 居昌, 咸陽의 異常이 큰데 이 地域은 山岳의 高地와 一致하고 있다.

② 平野地域인 서울 議政府 安養地方 일원에 正(+ )인 異常에 둘러싸인 負(-)의 異常이 存在한다.

③ 沿岸部 平野地域의 異常은 正(+ )이며 東海岸쪽의 異常이 비교적 크다. 또한 浦項地域은 全國의 最高인 +45~+60mga\ell 로서 地下構造가 背斜構造 또는 密度가 높은 鑛床으로 推定된다.



表4-1. OBSERVATION RESULTS

OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 4) TERM(9.26 - 9.26) LACOSTE 1984 G - 391										
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	1116	9.26	9.170	3238.844	-47	274	3444.740	0.000	0.000	0.000
2	1119	9.26	11.310	3231.279	53	280	3436.804	-7.936	7.000	2.233
3	11112	9.26	13.070	3231.681	94	283	3437.264	-7.477	7.000	3.833
4	11112	9.26	14.190	3231.709	73	283	3437.272	-7.468	7.009	5.033
5	1119	9.26	15.470	3231.336	7	278	3436.809	-7.931	7.005	6.500
6	1116	9.26	17.130	3238.848	-62	283	3444.733	-0.008	-0.008	7.933
DRIFT = -0.0004 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0085										
STATION DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)										
1	1116	{ 6 }						0.000	+/-	0.002
2	1119	{ 7 }						-7.932	+/-	0.003
3	11112	{ 8 }						-7.471	+/-	0.005
CACULATION RESULTS										
--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
6	1116	34 58.10	126 57.80	979726.30	979730.20	10.24	5.43	43.02		
7	1119	34 55.80	126 59.00	979718.36	979726.94	11.57	4.58	62.50		
8	11112	34 52.80	126 59.30	979718.82	979722.70	21.30	12.48	78.79		
OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 5) TERM(9.27 - 9.27) LACOSTE 1984 G - 391										
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	11112	9.27	9.410	3231.832	-64	280	3437.266	0.000	0.000	0.000
2	11114	9.27	10.300	3223.600	-31	286	3428.543	-8.723	0.000	0.817
3	D455	9.27	14.220	3200.602	52	27	3404.080	-33.185	0.000	4.683
4	D455	9.27	15.240	3200.651	25	27	3404.105	-33.161	0.025	5.717
5	11114	9.27	17.120	3223.622	-52	275	3428.542	-8.724	-0.001	7.517
6	11112	9.27	18.150	3231.857	-84	283	3437.273	0.007	0.007	8.567
DRIFT = 0.0007 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0176										
STATION DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)										
1	11112	{ 8 }						0.000	+/-	0.001
2	11114	{ 9 }						-8.730	+/-	0.003
3	D455	{ 10 }						-33.189	+/-	0.012
CACULATION RESULTS										
--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
8	11112	34 52.80	126 59.30	979718.82	979722.70	21.30	12.48	78.79		
9	11114	34 51.10	127 1.10	979710.09	979720.30	20.38	9.60	96.32		
10	D 455	34 48.50	127 3.00	979685.64	979716.63	45.27	17.92	244.38		
OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 6) TERM(9.28 - 9.28) LACOSTE 1984 G - 391										
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	D455	9.28	10.370	3200.719	-56	272	3404.173	0.000	0.000	0.000
2	D476	9.28	14.250	3199.576	22	283	3403.042	-1.131	0.000	3.800
3	D476	9.28	15.230	3199.590	12	283	3403.046	-1.126	0.005	4.767
4	D455	9.28	18.460	3200.739	-85	270	3404.165	-0.008	-0.008	8.150
DRIFT = -0.0009 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0054										
STATION DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)										
1	D455	{ 10 }						0.000	+/-	0.000
2	D476	{ 11 }						-1.125	+/-	0.003
CACULATION RESULTS										
--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
10	D455	34 48.50	127 3.00	979685.64	979716.63	45.27	17.92	244.38		
11	D476	34 49.60	126 58.50	979684.51	979718.18	43.32	15.71	246.73		
OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 7) TERM(9.29 - 9.29) LACOSTE 1984 G - 391										
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	1116	9.29	10.230	3238.851	-60	273	3444.735	0.000	0.000	0.000
2	D418	9.29	13.290	3194.263	-16	225	3397.333	-47.402	0.000	3.100
3	D418	9.29	14.360	3194.265	-8	225	3397.343	-47.391	0.010	4.217
4	1116	9.29	16.470	3238.825	-29	279	3444.740	0.005	0.005	6.400
DRIFT = 0.0010 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0091										
STATION DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)										
1	1116	{ 6 }						0.000	+/-	0.001
2	D418	{ 12 }						-47.416	+/-	0.004
CACULATION RESULTS										
--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
6	1116	34 58.10	126 57.80	979726.30	979730.20	10.24	5.43	43.02		
12	D418	34 58.30	126 53.50	979678.88	979730.48	17.85	-7.03	222.29		

OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 8) TERM(10.2 - 10.2)								LACOSTE 1984 G - 391			
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	--	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	D418	10.2	9.410	3194.202	49	230	3397.335	0.000	0.000	0.000	0.000
2	D440	10.2	14.350	3221.782	-55	269	3426.580	29.246	0.000	4.900	29.240
3	D440	10.2	15.430	3221.794	-60	269	3426.588	29.253	0.007	6.033	29.246
4	D418	10.2	17.260	3194.306	-57	238	3397.342	0.008	0.008	7.750	-0.001

DRIFT = 0.0011 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0060

STATION		DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)		
1	D418 ( 12 )	0.000	+/-	0.000
2	D440 ( 13 )	29.254	+/-	0.003

CACULATION RESULTS

--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
12	D418	34 58.30	126 53.50	979678.88	979730.48	17.85	-7.03	222.29		
13	D440	34 54.30	126 52.70	979708.13	979724.82	21.28	7.82	120.24		

OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 9) TERM(10.3 - 10.3)								LACOSTE 1984 G - 391			
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	--	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	D440	10.3	9.280	3221.653	82	273	3426.581	0.000	0.000	0.000	0.000
2	D410	10.3	15.030	3234.462	-60	221	3440.049	13.468	0.000	5.583	13.468
3	D410	10.3	16.130	3234.471	-69	221	3440.050	13.470	0.001	6.750	13.469
4	D440	10.3	18.000	3221.783	-59	280	3426.581	0.000	0.000	8.533	0.000

DRIFT = 0.0000 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0010

STATION		DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)		
1	D440 ( 13 )	0.000	+/-	0.000
2	D410 ( 14 )	13.473	+/-	0.001

CACULATION RESULTS

--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
13	D440	34 54.30	126 52.70	979708.13	979724.82	21.28	7.82	120.24		
14	D410	34 56.00	126 50.00	979721.61	979727.23	69.80	42.76	241.64		

OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 10) TERM(10.4 - 10.4)								LACOSTE 1984 G - 391			
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	--	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	D410	10.4	9.140	3234.306	98	225	3440.043	0.000	0.000	0.000	0.000
2	D408	10.4	11.480	3228.984	50	220	3434.331	-5.711	0.000	2.567	-5.712
3	D408	10.4	13.050	3229.036	4	220	3434.341	-5.702	0.010	3.850	-5.702
4	D410	10.4	16.210	3234.469	-74	218	3440.042	-0.001	-0.001	7.117	-0.002

DRIFT = 0.0002 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0095

STATION		DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)		
1	D410 ( 14 )	0.000	+/-	0.001
2	D408 ( 15 )	-5.708	+/-	0.005

CACULATION RESULTS

--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
14	D410	34 56.00	126 50.00	979721.61	979727.23	69.80	42.76	241.64		
15	D408	34 43.50	126 48.50	979715.90	979709.57	40.85	28.64	109.08		

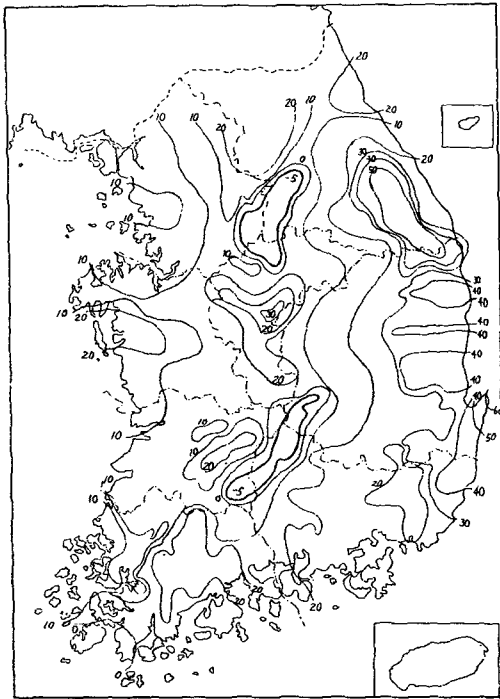
OBSERVATION RESULT LOOP(1984 - 11) TERM(10.5 - 10.5)								LACOSTE 1984 G - 391			
NO	STATION	DATE	TIME	READING	TIDE	IH(MM)	MGAL	-	--	LAPSE(HOUR)	RESULT(MGAL)
1	D408	10.5	9.410	3228.933	102	231	3434.333	0.000	0.000	0.000	0.000
2	D404	10.5	15.280	3241.404	-59	237	3447.440	13.107	0.000	5.750	13.102
3	D404	10.5	16.440	3241.427	-79	237	3447.445	13.113	0.005	7.050	13.106
4	D408	10.5	18.430	3229.091	-58	228	3434.340	0.007	0.007	9.033	-0.001

DRIFT = 0.0009 (MGAL/HOUR) MSE = 0.0041

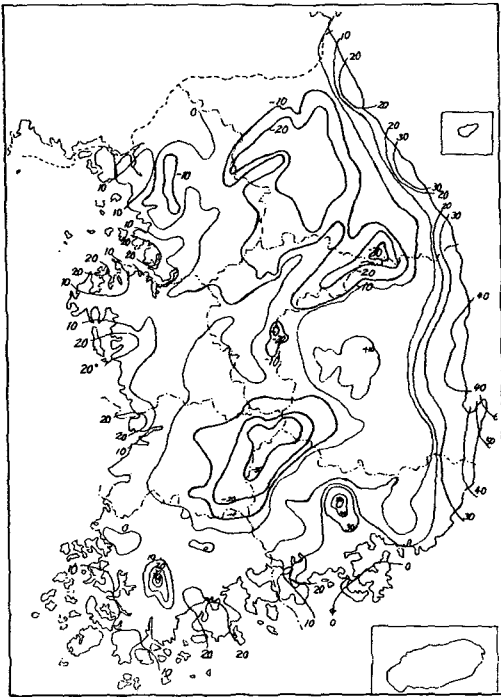
STATION		DIFFERENCE IN GRAVITY(MGAL)		
1	D408 ( 15 )	0.000	+/-	0.000
2	D404 ( 16 )	13.109	+/-	0.002

CACULATION RESULTS

--- UNKNOWN ---										
NO	STATION	LATITUDE	LONGITUDE	G-VALUE	NORMAL	F-ANO	B-ANO	HEIGHT		
15	D408	34 43.50	126 48.50	979715.90	979709.57	40.85	28.64	109.08		
16	D404	34 54.80	126 48.00	979729.01	979725.53	127.94	83.11	400.60		



5-1. 우리나라의 Free-air 異常



5-2. 우리나라 Bouguer 異常

④ 正(+)<sup>의</sup> 異常은 沿岸에서 內陸으로 갈수록 적어지고 그 線은 南北으로 길게 뻗고 있다.

⑤ 中部內陸地域인 忠北 槐山 地方에 負(-)<sup>의</sup> 異常을 헤집고 들어간 正(+)<sup>의</sup> 異常이 存在하므로 地下에는 dome의 現象을 볼 수 있다.

分析을 綜合하여 볼 때 地形의 凹凸에는 상관없이 地下의 어느정도 까지 이르면 壓力이 一定해지는(Isostasy라한다) 것을 알 수 있다.

## 6. 結 論

本 研究의 遂行과정에서 볼때 우리나라의 重力測定은 그 測定技術과 測定資料處理技法 次元에서 아직도 初期段階에 있다고 볼 수 있다.

現存 우리나라에서 시행되고 있는 重力測定은 技術革新을 통한 測定技術의 向上, 發展이 이루어져야 할 것이다.

첫째, 1等重力測量的 計劃 實施로서 國立地理院에서는 2等重力測定을 計劃 實施하므로 重力基準點 및 補助基準點만으로는 精密한 重力網을 構成할 수 없기 때문에 1等重力點의 新設로 重力網의 整備, 完成과 各種 重力測定의 正確度 및 向上을 기하여야 할 것이다.

둘째, 重力測定技術 및 測定資料의 國際化로서 IUGG/IAIG 등의 國際機構를 통한 重力에 關한 國際共同事業 및 活動에의 積極參與와 先進技術의 効果的인 導入·活用함으로서 汎世界的 次元에서 논의 되어야 하겠다.

셋째, 正(+)<sup>인</sup> 異常에 둘러쌓인 負(-)<sup>의</sup> 異常이 存在하는 서울, 의정부, 안양일원과 dome을 推定케하는 槐山 地方에 대하여는 계속적으로 研究가 進行 되어야 할 것이다.

넷째, 標高가 높은 山地의 重力異常은 負(-)<sup>인</sup>데 天文測量과 測地測量의 結果分析에서 鉛直線偏差가 山의 質量으로 부터 계산된 것보다 적고 山地에 있어서 地殼의 密度는 작은 것을 알 수 있다.

다섯째, 새로운 重力檢定基線의 設定으로서 移轉된 신청사인 國立地理院에 重力基準點에 準하는 重力點의 設置와 Scale檢定을 위한 새로

은 重力檢定基線의 設定이 要望된다.

### 謝 辭

本稿에 收錄된 結果는 1985年度 國立地理院의 研究事業으로서 韓國測地學會가 遂行한 “重力測定에 關한 研究”의 一部이다. 本 研究에 資料를 제공하여 주신 國立地理院과 서울 市立 大 學校 電算所 여러분에게 謝意를 表한다.

### 參考文獻

1. R. A. W. Haddon and K. E. Bullen; Phys. Earth Planet. Inter., 2, 35, 1979.
2. International Association of Geodesy; Geodetic Reference System 1967, Bureau Central de A. I. G. Spec. 3, 1967.
3. International Association of Geodesy; Bull. Geodesique, 118, 1975.
4. M. Hotine; Mathematical Geodesy, p. 321, ESSA Monograph 2, U. S. Dept. Commerce, 1967.
5. E. M. Gaposchkin; 1973 Smithsonian Standard Earth (III), S. A. O. Spec. Rep. 353, 1973.
6. Y. Hagiwara; Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 1091, 1967.
7. I. Murata; Bull. Earthq. Res. Inst., 49, 53, 1978.
8. W. H. Michael and W. T. Blackshear; Moon, 3, 388, 1972.
9. W. L. Sjogren, J. Lorell, L. Wong and W. Downs; J. Geophys. Res., 80, 2889, 1975.
10. R. J. Phillips and R. S. Saunders; J. Geophys., 80, 2893, 1975.
11. Kurt Lambeck, The Earth's Variable Rotation; Geophysical Causes and Consequences, 1980, Cambridge University Press.
12. P. Vanicek, E. J. Krakiwsky, Geodesy; the Concepts, 1982, North-Holland Publishing Company.
13. G. S. 1., Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. XIV, PART2., March, 1969.
14. Wolfgang Jorge, Geodesy, 1980, Walter de Gruyter.
15. C. E. Ewing and M. M. Mitchell, Introduction to Geodesy, 1975.
16. 金世傑, 重力의 補正과 重力異常, 測量 1979, 1.
17. 建設部 國立地理院, 重力測定에 關한 研究, 1986.
18. 萩原幸男, 地球重力論, 1978, 共立全書.
19. Lacoste 重力計 (G型) による 精密重力測定 および 國際重力結合における 問題點, 月刊地球, 1983.
20. 研晴雄, 國土地理院 における 最近の 重力測定一データ處理について, 月刊地球, 1983.