광산지질 16권 2호(1983) pp. 79-81

重力의 大氣補正에 對한 研究

崔 光 善*

The Effect of Attraction by the Atmosphere to Gravity

Kwang-sun Choi

Abstract: The effeet of the mass of the earth's atmosphere for gravity is studied. The computed correction value of the air mass effect is g=+0.86−0.0978 h (km) mgal and has always positive sign. In comparision with usual gravity works, this value is relatively large. So that, all gravity works always carry out this correction.

1. 序 論

I. Newton 이 1687年 萬有引力法則을 發表하고 1798年 H. Cavendish 가 비틀림振子를 利用하여 最初로 萬有引力常數 G 를 測定한 이래, 常數 G의 精密度는 항상 物理學者와 地球科學者들의 관심의 대상이 되어 왔다. 現在에도 G의 測定誤差는 약 0.03%로 地球의 重力 및 質量에 관계되는 測定値中 가장 큰 誤差를 가지고 있어, G의 測定精密度는 곧 地球의 質量 M의 精密度가 된다. 그러므로 地球의 標準重力値 産出에 있어서는 두 要素 G와 M의 곱인 地心引力定數 GM을 利用하며, 地球둘레의 軌道를 運行하는 人工衛星의 軌道運動 半徑과 速度를 觀測하면 GM은 매우 精密하게 測定된다.

그러나 人工衛星의 觀測에 의해 決定되는 GM에는 地球 自體만의 質量效果 이외에 大氣의 質量效果도 包含되어 있으며, 大氣의 質量效果를 除去하기 위하여는 誤差가 많은 G를 使用하여야 하므로 Geodetic Reference System 1967 標準重力은 大氣의 質量效果가 包含된 GM을 利用하여 決定된 重力式이다.

그러므로 GRS 1967을 使用할 때에는 大氣의 質量效果를 考慮하는 補正을 하여야 함에도 불구하고, 大氣質量이 地球質量의 약 10^{-6}倍이므로 이를 無視해 버리고 있다. 그러나 地球의 重力이 약 10^6 mgal 이므로 大氣補正値는 약 1 mgal이 되며 이는 通常의 重力測定에서 매우 큰 값으로 GRS 1967 使用時는 언제나 大氣補正을 하여야 할 것이다.

2. GRS 1967 標準重力

Claraut의 定理에 의하면 緯度 ϕ인 地點의 spheroid 上의 標準重力値 g_ϕ는 다음과 같이 表現된다.

$$g_\phi=g_0(1+\beta_2\sin^2\phi+\beta_4\sin^4\phi) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$=g_0(1+(\beta_2+\beta_4)\sin^2\phi-\frac{\beta_4}{4}\sin^2 2\phi)\cdots(1)$$

GRS 1967에 의하면 地心引力定數 GM은

$$GM=398{,}603\times10^9 m^3/s^2 \text{ (大氣質量包含)}$$

이며, 이에 의해 決定된 重力式 (1)의 各 常數값은 다음과 같다.

g_0=赤道上의 標準重力値(大氣質量效果包含)
=978.031845 58 gal

$\beta_2=0.005278895$

$\beta_4=0.000\ 023\ 462$

즉 GRS 1967 標準重力式은

$$g_\phi=978.03185(1+0.005\ 278\ 895\sin^2\phi+0.000\ 023\ 462\sin^4\phi)\text{ gal}$$

로 表現되며 이 式에는 大氣의 質量效果도 包含되어 있다.

3. Spherical shell의 重力 Potential

球形의 地球 둘레의 大氣層에 의한 重力效果를 考慮해 보기 위하여 spherical shell에 의한 重力 potential을 導入하면 便利하다.

中心이 0이고 半徑이 a, 面密度가 ρ인 spherical shell의 微小面積을 ds라 하면 點 p에서의 shell에 의한 potential U는

$$U=G\rho\int\frac{ds}{D}$$

와 같다. Fig. 1에서 op軸을 回轉시키면 만들어 지는 幅 $ad\theta$되는 環의 面積 ds_1은

$$ds_1=2\pi a^2\sin\theta\, d\theta$$

이다. 그러므로 shell에 의한 potential U는

$$U=2\pi a^2\rho G\int_0^\pi\frac{\sin\theta\, d\theta}{D} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

이다. Fig. 1 에서

$$D^2=a^2+r^2-2ar\cos\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

이므로 (3)式을 微分하여 整理하면

* 釜山大學校 地球科學科

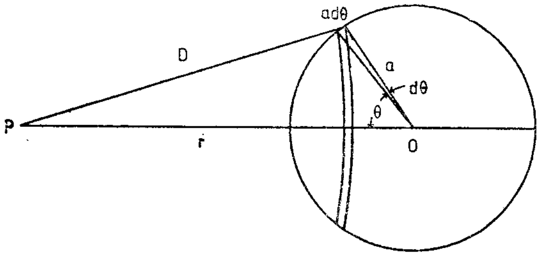

Fig. 1 Gravitational potentials of a spherical shell.

$$\frac{\sin\theta\, d\theta}{D}=\frac{dD}{ra} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

가 된다. 그러므로 po ential U 는

$$U=\frac{2\pi a\rho G}{r}\int_{D_1}^{D_2} dD \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

로 表現되며, D_1, D_2는 各各 D 값중 最小, 最大의 값이다.

點 P가 shell의 밖에 있을 경우

$$D_2-D_1=2a$$

이므로 (5)式에서 potential U는

$$U=\frac{4\pi a^2\rho G}{r} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

가 되며 shell의 質量 m은

$$m=4\pi a^2\rho$$

이므로 potential U는

$$U=\frac{Gm}{r}$$

이 된다. 이는 shell의 質量 m을 中心 0에 있는 點質量으로 볼 때의 potential과 같다.

點 p가 shell의 內部에 있는 경우

$$D_2-D_1=2r$$

이므로 potential U는

$$U=4\pi a\rho G$$

$$=\frac{MG}{a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

로 常數가 된다. 그러므로 點 p가 shell의 內部에 있을 경우 引力은 언제나 0이 된다.

球는 서로 다른 半徑을 가진 無數한 shell의 集合이므로 지금까지 考察한 shell의 경우는 球에서도 適用된다.

4. 大氣補正

大氣質量에 의한 引力을 求하기 위하여는, (6)式에 의해, 地球 둘레의 大氣의 全地質을 地球中心 0에 있는 點質量으로 取扱할 수 있다. 1979年 國際測地學協會(IAG)에서 採擇한 地球大氣의 地心引力定數 GM_A

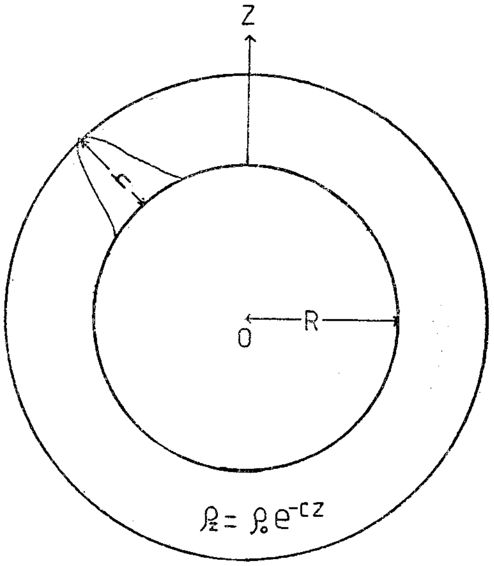

Fig. 2 Gravitational attraction caused by air mass below height h.

는

$$GM_A=(35\pm0.3)\times10^7 m^3/s^2$$

이다. 그러므로 GRS 1967에 包含되어 있는 地球大氣에 의한 引力 g_A'는

$$g_A'=\frac{GM_A}{R^2}$$

$$=0.86\text{mgal}$$

이다. 즉 GRS 1967은 使用한 地心引力定數 GM에 GM_A가 包含되어 있으므로 地球質量만의 標準重力보다 0.86mgal 더 크게 나타나며, 이는 重力補正時 無視해 버리기에는 매우 큰 값이다. 重力異常은

重力異常=補正된 觀測重力-標準重力

이므로 平均海面 높이에서 測定한 重力의 重力異常은 g'_A만큼 적게 되므로 大氣補正 g_A'는 언제나 "+" 符號가 된다.

平均海面高度 h에서 測定한 觀測重力은 (7)式에 의해 h 以上의 높이에 存在하는 大氣質量에 의한 引力은 0이 되고, 海面과 高度 h 사이에 存在하는 大氣質量에 의한 引力 g_A''가 包含되어 있으므로 高度 h에서 測定한 重力의 大氣補正 g_A는

$$g_A=g_A'-g_A''$$

이다.

實際의 大氣密度 ρ는 緯度에 따라 다르며, 높이 Z의 函數로써 높이에 따라 指數的으로 減少하나, 美國標準大氣(1976)을 引用하면

ρ_0(海面大氣密度)=1.2250Kg/m³

ρ_1(1Km 上層大氣密度)=1.1117Kg/m³

으로 地表 가까이에서는 密度의 變化가 작고, 地球半徑 R에 비해 高度 h가 대단히 작으므로 地表 가까이에서의 g_A''의 높이에 따른 變化率은 一定하다고 할 수 있다.

平均海面에서 高度 h 사이의 大氣의 質量 m_A는

$$m_A=\int_0^h \rho_z dv_z$$
$$=4\pi\rho_0\int_0^h (R+Z)^2 e^{-cz}dz$$
$$=-4\pi\rho_0 e^{-cz}\left[\frac{R^2}{C}+2R\left(\frac{Z}{C}+\frac{1}{C^2}\right)+\frac{Z^2}{C}+\frac{2Z}{C^2}+\frac{2}{C^3}\right]_0^h$$

이며, (6)式에 의해 m_A를 地球中心 0의 點質量으로 取扱할 수 있으므로 高度 h인 곳의 g_A''는

$$g_A''=\frac{Gm_A}{(R+h)^2}$$

이다. 우리나라는 대부분 標高가 1 Km 未滿이므로 h=1Km로 하면 平均海面과 高度 1 Km 사이의 大氣質量 m_A

$$m_A=5.965\times10^{20}g$$

이며, 이에 의한 引力 g_A''는

$$g_A''=9.78\times10^{-2}mgal/km$$

이다. 그러므로 平均海面高度 h인 測點의 大氣補正 g_A는

$$g_A=+0.86-0.0978\,h(Km)\,mgal \qquad (8)$$

이 된다.

(8)式에서 重力測定點의 高度 h는 海面 以上인 경우, 즉 $h\geq0$인 區域에서만 定義되어 (8)式이 成立되며 h가 海水面 以下인 경우, 즉 $h<0$인 區域에서는

$$g_A''=0$$

이므로, (8)式에서 h=0인 값을 使用하여 補正해 주어야 한다.

5. 結 論

大氣補正值는 平均海面에서 0.86mgal이 되며 이는 通常의 重力測定에서 매우 큰 값이므로 重力補正時 항상 大氣補正을 하여야 한다.

大氣補正 g_A는

$$g_A=+0.86-0.0978\,h(Km)\,mgal$$

로 高度 h의 函數로 나타나며 符號는 "+"이다.

高度 h는 $h\geq0$인 區域에서만 定義되며, $h<0$인 경우 h=0의 값을 適用하여야 한다.

參 考 文 獻

Abramowitz, M. and Stegun, I. A. (1970), Handbook of Mathematical Functions, 9th edition: Dover Publications, Inc., N. Y., p. 7.

Bomford, G. (1977), Geodesy, 3rd edition: Oxford University Press, pp. 475-486.

Dwight, H. B. (1957), Tables of Integrals and Other Mathematical Data, 4th edition: Macmillan Co., pp. 133-134.

Garland, G. D. (1977), The Earth's Shape and Gravity: Pergamon Press.

List, R. J. (1971), Smithsonian Meteorological Tables, 6th edition: Smithsonian Institution Press.

東京天文臺 (1978), 理科年表, 第五十二冊：丸善株式會社, p. 地 1.

東京天文臺 (1981), 理科年表, 第五十五冊：丸善株式會社, p. 611.

萩原幸男 (1978), 地球重力論：共立出版株式會社, pp. 23-32.

*16권 1호에 게재된 慶尙盆地彥陽斷層地域에 對한 電氣比抵抗 探查硏究(金仁洙·金鍾烈)의 內容중 誤植을 다음과 같이 訂正합니다.

p 13.

- R-50C Strata Scout Resistiuity Meter는
- R-40C Strata Scout Resistiuity Meter로 정정

p 15

- 直洞里 以南 → 直洞里 以北
- ③의 內容중 "이는 두 경우에서 모두 일치하였다"는 삭제
- ⑥의 內容 중 Vandenberxhe는 Vandenberghe로 정정

p 18 참고 문헌 중 李旼成부터 崔炳烈까지는 다음과 같음.

李旼成·姜必鍾(1963) 한국 지질도 梁山圖幅, 국립지질조사소

李永吉(1980) 慶尙南道 彥陽一帶 彥陽花崗岩의 節理系., 慶北大學校 論文集 V. 30, 403~412

이윤종·이인기(1972) 한국지질도 彥陽圖幅, 국립지질조사소

車文星·金正珍·尹銖(1972) 釜山市一圓(彥陽—東萊地域)의 火成活動과 鑛化作用에 關한 硏究, 鑛山地質 제 5권, 151-162

崔炳烈(1972) 慶北 東明面 팔개천 流域의 沖積層에 關한 硏究. 지질 학회지 제 8권 3호 162-172.