

球面調和解析에 의한 韓半島內의 地球磁氣場의 分布에 關한 研究

閔 庚 德* · 李 善 姬**

Geomagnetic Field Distribution in the Korean Peninsula by Spherical Harmonic Analysis

Min, Kyung Duck* · Lee, Sunhee**

Abstract : The position of any point on the earth's surface can be represented in the spherical coordinates by surface spherical harmonics. Since geomagnetic field is a function of position on the earth, it can be also expressed by spherical harmonic analysis as spherical harmonics of trigonometric series of $a_m(\theta) \cos m\phi$ and $b_m(\theta) \sin m\phi$. Coefficients of surface spherical harmonics, $a_m(\theta)$ and $b_m(\theta)$, can be drawn from the components of the geomagnetic field, declination and inclination, and vice versa.

In this paper, components of geomagnetic field, declination and inclination in the Korean peninsula are obtained by spherical harmonic analysis using the Gauss coefficients calculated from the world-wide magnetic charts of 1960. These components correspond to the values of normal geomagnetic field having no disturbances of subsurface mass, structure, and so on. The vertical and total components offer the zero level for the interpretation of geomagnetic data obtained by magnetic measurement in the Korean peninsula. Using this zero level, magnetic anomaly map is obtained from the data of airborne magnetic prospecting carried out during 1958 to 1960.

The conclusions of this study are as follows;

- (1) The intensity of horizontal component of normal geomagnetic field in Korean peninsula ranges from 2×10^4 gammas to 2.45×10^4 gammas. It decreases about 500 gammas with the increment of 1° in latitude. Along the same latitude, it increases 250 gammas with the increment of 1° in longitude.
- (2) Intensity of vertical component ranges from 3.85×10^4 gammas to 4.75×10^4 gammas. It increases about 1000 gammas with the increment of 1° in latitude. Along the same latitude, it decreases 150~240 gammas with the increment of 1° in longitude. Decreasing rate is considerably larger in higher latitude than in lower latitude.
- (3) Total intensity ranges from 4.55×10^4 gammas to 5.15×10^4 gammas. It increases 600~700 gammas with the increment of 1° in latitude. Along the same latitude, it decreases 10~90 gammas with the increment of 1° in longitude. Decreasing rate is considerably larger in higher latitude as the case of vertical component.
- (4) The declination ranges from -3.8° to -11.5° . It increases 0.6° with the increment of 1° in latitude. Along the same latitude, it increases 0.6° with the increment of 1° in longitude. Unlike the cases of vertical and total component, the rate of change is considerably larger in lower latitude than in higher latitude.
- (5) The inclination ranges from 57.8° to 66.8° . It increases about 1° with the increment of 1° in latitude. Along the same latitude, it decreases 0.4° with the increment of 1° in longitude.
- (6) The Boundaries of 5 anomaly zones classified on the basis of the trend and shape of anomaly curves correspond to the geologic boundaries.
- (7) The trend of anomaly curves in each anomaly zone is closely related to the geologic structure developed in the corresponding zone. That is, it relates to the fault in the 3rd zone, the intrusion of granite in the 1st and 5th zones, and mountains in the 2nd and 4th zones.

* 연세대학교 지질학과 조교수, 정회원

** Australian National Univ. 박사과정, 정회원

1. 序言

지구 자기장은 지구내부에 있는 internal source에 의한 internal field와 지구 외부에 있는 external source에 의한 external field로 대분되며 그중 internal field가 지구 자기장 크기의 98% 이상을 차지한다 (P.J. Hart, 1969).

지구 자기장의 source와 mechanism에 대해서는 아직까지 정확하게 알려진 바는 없으나 internal field는 지구핵내에서의 magnetohydrodynamics에 의한 electromagnetic induction에 의해서, external field는 ionosphere에서의 electric current에 의한 electromagnetic induction으로 설명되고 있다.

이러한 지구 자기장은 그 크기가 위치에 따라서 다른 값을 갖는 위치의 함수로서, 지구상에서의 임의의 점 (r, θ, ϕ) 에 대한 surface spherical harmonics, $P_n^m(\theta) \cos m\phi$ 와 $P_n^m(\theta) \sin m\phi$ 로 표시할 수 있다.

지표상의 임의의 점에서의 지구자기장은 水平이며 北쪽 方向인 성분 X와, 水平이며 東쪽 方向인 성분 Y, 그리고 垂直 성분 Z로 분해되어, 이들로부터 surface spherical harmonics의 계수 (Gauss coefficients)를 구할 수 있다. 또한 역으로 이렇게 구해진 Gauss coefficients를 이용하여 餘緯度와 傾度를 아는 지표상의 임의의 점에서의 지구 자기장의 크기와 편각 및 북각을 이론적으로 구할 수 있다.

본 연구에서는, 첫째로 spherical harmonic analysis를 통하여 한반도 전역에 걸쳐 지구 자기장의 수평, 수직 및 총성분의 크기를 구하고 이들로부터 isomagnetic map을 작성함으로써 실제 자력탐사 data 해석시의 zero level 값으로 이용할 수 있도록 하고, 둘째로 각 성분의 크기로부터 편각과 북각을 구하고 이로부터 isogonic map과 isoclinic map을 작성 도시하며, 셋째로 앞에서 구한 zero level 값을 이용하여 실측 항공자력탐사 data로부터 자력 이상도를 작성한 뒤 이를 해석함으로써 자력 이상대와 지질 및 지질구조와의 관계를 규명하는데에 그 목적이 있다.

2. Spherical harmonic analysis

2.1. General features of geomagnetic field

Magnetic compass를 수평으로 놓을 때 바늘이 가리키는 방향을 자북 (geomagnetic north)이라 하며 이것이 진북 (geographic north)과 이루는 각을 편각 (declination)이라 한다. magnetic meridian에서 움직이는 dip needle이 수평면과 이루는 각을 북각 (inclination)이라 한다. 편각의 값이 같은 점을 연결한 contour map을 isoclinic

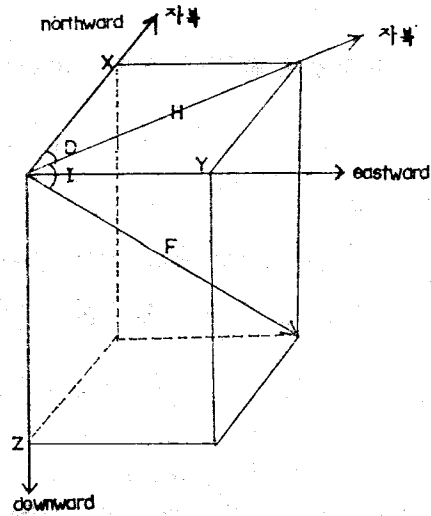


Fig. 1 Main elements of geomagnetic field

map, 북각의 값이 같은 점을 연결한 contour map을 isoclinic map, 총성분의 값이 같은 점을 연결한 contour map을 isodynamic map이라 한다. 지구 자기장의 각 성분을 편각과 북각을 이용하여 도시하면 Fig. 1과 같다.

여기서 F는 총성분, H는 수평성분, Z는 수직성분, D는 편각, 그리고 I는 북각이며 이들 사이에는 다음과 같은 관계가 있다. 즉

$$H = F \cos I ; Z = F \sin I ; \tan I = \frac{Z}{H} \quad (1)$$

$$X = H \cos D ; Y = H \sin D ; \tan D = \frac{Y}{X} \quad (2)$$

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (3)$$

지구 자기장의 magnetic pole은 지구의 자전축과 잘 일치하며 이로 미루어 지구 자기장을 dipole field로 설명할 수 있다 (E.H. Vestine, 1967). 지구에서 관측된 지구 자기장으로부터 main dipole field를 제외하고 남은 field를 non-dipole field라 한다. 이중 dipole field가 지구 자기장의 대부분을 차지한다.

2.2 Mathematical representation of the geomagnetic field

지구를 완전한 구로 가정하고 지구중심에 구면 좌표계 (spherical coordinates)의 원점을 위치시켰을 때 지구상의 임의의 점 P를 나타내는 위치함수 $f(r, \theta, \phi)$ 는 $a_m(\theta) \cos m\phi$ 와 $b_m(\theta) \sin m\phi$ 의 series로 표시할 수 있다. 즉,

$$f(\theta, \phi) = \sum_{m=0}^{\infty} [a_m(\theta) \cos m\phi + b_m(\theta) \sin m\phi] \dots\dots\dots (4)$$

여기서 θ 는 여위도, ϕ 는 경도이며 $a_m(\theta)$ 와 $b_m(\theta)$ 는 θ 의 함수로서 associated Legendre function (spherical harmonics), $P_n^m(\theta)$ 으로 표시된다.

따라서 위치의 함수로 표시되는 지구자기장 역시 spherical harmonics으로 표시되어 지며 이를 spherical harmonic analysis이라 한다.

지구는 완전한 구이며 지표면에는 電流가 흐르지 않는다고 가정할때, 지표에서의 지구 자기장은 potential function V 로부터 유도되어 지며, 이때 V 는 구면 좌표에서의 Laplace equation을 만족시킨다. 즉,

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

r 을 지구 중심에서 지표상의 측정까지의 거리라 하고 a 를 지구 반경이라 할 때

$r > a$ 인 경우, 즉 internal source에 의한 potential, V_i

$$V_i = a \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} T_n^i(\theta, \phi) \dots\dots\dots (6)$$

$r < a$ 인 경우, 즉 external source에 의한 potential, V_e

$$V_e = a \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{r}{a} \right)^{n+1} T_n^e(\theta, \phi) \dots\dots\dots (7)$$

로 표시되며 $T_n(\theta, \phi)$ 는 spherical harmonics으로서

$$T_n(\theta, \phi) = \sum_{m=0}^n P_n^m(\theta) (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi)$$

이다. 여기서 g_n^m , h_n^m 은 $P_n^m(\theta)$ 의 spherical harmonic coefficient 또는 Gauss coefficients라 하며 이들의 단위는 磁力和 같은 gamma로 표시할 수 있다. $P_n^m(\theta)$ 는 partially normalized spherical harmonic of Schmidt로써 associated Legendre polynomial, $P_{n,m}(\theta)$ 와는 다음과 같은 관계가 있다.

$$P_n^m(\theta) = P_{n,m}(\theta) \quad : m=0$$

$$= \left[2 \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \right]^{1/2} P_{n,m}(\theta) \quad : m>0$$

따라서 internal source와 external source에 의한 potential, V 는

$$V = a \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n P_n^m(\theta) \left\{ \left[C_n^m \left(\frac{r}{a} \right)^n + (1 - C_n^m) \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \right] g_n^m \cdot \cos m\phi + \left[S_n^m \left(\frac{r}{a} \right)^n + (1 - S_n^m) \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \right] h_n^m \cdot \sin m\phi \right\} \dots\dots\dots (8)$$

이다. 여기서 C_n^m 과 S_n^m 은 $r=a$ 인 곳에서의 external source에 의한 external potential, V_e 에 대한 $P_n^m(\theta) \cos m\phi$ 와 $P_n^m(\theta) \sin m\phi$ 의 fraction으로서 0에서 1사이의 양수이다.

External potential, V_e 는 그 값이 극히 적으므로 무시하고 internal source에 의한 potential만을 고려하면 C_n^m , S_n^m 은 각각 0이 되고 식(8)은 아래와 같이 된다. 즉,

$$V = a \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} P_n^m(\theta) [g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi] \dots\dots\dots (9)$$

지구 자기장의 각 성분은 식(9)로 주어지는 potential, V 를 $F = -V$ 의 관계식에 대입함으로써 구할 수 있다. 즉,

$$X = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta}$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+2} dP_n^m(\theta) / d\theta [g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi] \dots\dots\dots (10)$$

$$Y = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi}$$

$$= \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+2} P_n^m(\theta) m [g_n^m \sin m\phi - h_n^m \cos m\phi] \dots\dots\dots (11)$$

$$Z = \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+2} P_n^m(\theta) (n+1) [g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi] \dots\dots\dots (12)$$

상기 식에서 $n=0$ 인 경우는 unipole에 의한 성분이며, $n=1$ 인 경우는 dipole, $n>2$ 인 경우는 multipole에 의한 성분이다. 지구 자기장에는 unipole이 존재하지 않으므로 dipole 이상인 경우, 즉 $n \geq 1$ 인 경우만을 고려하면 된다.

2.3 Evaluation of Gauss coefficients.

C. F. Gauss는 1839년에 최초로 spherical harmonic analysis를 통하여 지구는 완전한 구라는 가정하에서 Gauss coefficient를 구하였다. 그는 7개의 위도상에서 경도 30도 간격으로 총 84개의 측정에서 측정된 지구 자기장의 총성분 값으로부터 X, Y 및 Z성분을 구한 뒤, n 을 4까지 고려하여 계산하였다.

즉, 식(4)과 식(9)로부터

$$a_0(\theta) = \sum_{n=1}^4 r_n P_n(\theta)$$

$$a_m(\theta) = \sum_{n=1}^4 g_n^m P_n^m(\theta) \dots\dots\dots (13)$$

$$b_m(\theta) = \sum_{n=1}^4 h_n^m P_n^m(\theta)$$

이요 (10)과 식(13)로부터

$$a_0(\theta) = \sum_{n=1}^4 r_n dP_n(\theta) / d\theta$$

Tab. 1 Gauss coefficients of the Earth's Magnetic Potential, unit of 10^{-4} CGS (E. H. Vestine, 1967)

source	Epoch	g_1	g_1^1	h_1^1	g_2	g_2^1	h_2^1	g_2^2	h_2^2
Gauss	1835	-3235	-311	+625	+51	+292	+12	-2	+157
Erman, Petersen	1829	-3201	-284	+601	-8	+257	-4	-14	+146
Adams	1845	-3219	-278	+578	+9	+284	-10	+4	+135
Adams	1880	-3168	-243	+603	-49	+297	-75	+61	+149
Dyson, Furner	1922	-3095	-226	+592	-89	+299	-124	+144	+84
Afanasieva	1945	-3032	-229	+590	-125	+288	-146	+160	+48
Veshne, Lange	1945	-3057	-211	+581	-127	+296	-166	+164	+54
Frmselau, Kautzleben	1945	-3054	-229	+583	-125	+299	-166	+161	+45
Finch, Leaton	1955	-3055	-227	+590	-152	+303	-190	+158	+24
Vestine et al.	1955	-3054	-210	+585	-147	+307	-185	+145	+49
Vestine et al.	1955	-3051	-202	+584	-141	+299	-187	+168	+38
Adam et al.	1955	-3046	-232	+581	-144	+303	-182	+167	+23
Nagata, Oguti	1958.5	-3045	-222	+548	-151	+295	-194	+149	+21
Jensen, Cain	1960	-3041	-215	+580	-160	+296	-191	+155	+21

$$a_n(\theta) = \sum_{m=1}^n g_m^* P_m^*(\theta) / d\theta$$

$$b_n(\theta) = \sum_{m=1}^n h_m^* P_m^*(\theta) / d\theta$$

이 되며, 식 (11)와 식 (13)로부터

$$a_n(\theta) = \sum_{m=1}^n r_n P_n(\theta) / \sin\theta$$

$$a_m(\theta) = \sum_{m=1}^n g_m^* P_m^*(\theta) / \sin\theta$$

$$b_m(\theta) = \sum_{m=1}^n h_m^* P_m^*(\theta) / \sin\theta$$

이 되며, 식 (12)과 식 (13)로부터

$$a_n(\theta) = \sum_{m=1}^n r_n P_n(\theta)$$

$$a_m(\theta) = \sum_{m=1}^n g_m^* P_m^*(\theta)$$

$$b_m(\theta) = \sum_{m=1}^n h_m^* P_m^*(\theta)$$

이 된다. 코로 7개 위도의 값에 따라 189개의 방정식이 유도되며 이들로부터 24개의 Gauss coefficient, r_n , g_m^* 및 h_m^* 을 최소 자승법 (least square method)를 이용하여 구하였다.

1895년에는 Schmidt가 지구를 실제와 유사한 spheroid로 생각하여 지구의 편평도를 고려하고 elliptic polar coordinate를 이용하여 Gauss coefficients를 구하였다. 그 결과는 지구를 완전한 구로 가정하고 구한 계수와 1/300 정도의 차이 밖에 없었다. 또한 여러 학자들이 餘緯度와 傾度를 각각 5°와 10° 간격으로 작성한 1955년의 world magnetic map으로부터 X, Y 및 Z 성분을 구하고 n=6까지 취하여 최소 자승법에 의해 Gauss coefficients를 구하였다 (Tab. 1).

Tab. 2 Spherical harmonic analysis of the geomagnetic field after Jensen and Cain, Epoch 1960

n	m	g_m^*	h_m^*
1	0	-3041.12	—
2	0	-160.23	—
3	0	+126.07	—
4	0	+95.53	—
5	0	-20.64	—
6	0	+13.52	—
1	1	-214.74	+579.89
2	1	+295.91	-191.24
3	1	-202.02	-48.57
4	1	+81.95	+21.37
5	1	+33.84	+0.78
6	1	+2.57	+3.05
2	2	+154.51	+18.23
3	2	+128.57	+21.04
4	2	+55.70	-25.57
5	2	+25.30	+2.60
6	2	-2.15	+5.85
3	3	+82.17	-2.66
4	3	-33.50	-2.06
5	3	+1.29	-9.77
6	3	-21.49	+3.42
4	4	+27.64	-18.73
5	4	-12.51	-10.91
6	4	-1.93	+0.22
5	5	-9.93	+7.36
6	5	-0.98	+4.80
6	6	-16.60	+4.84

이러한 것
P 776

그뒤 1962년에 Jensen과 Cain은 1960년에 작성된 world magnetic map으로 부터 $n=6$ 까지 취하여 Gauss coefficient 구하였다(Tab. 2).

이들 값들도 발달된 methodology와 인공위성을 통해 얻은 풍부한 자료로 부터 구한 값들과 별차이가 없다. 본 논문에서는 Jensen과 Cain의 값(Tab. 2)을 이용하여 한반도에서, 표준 지구 자기장의 각 성분을 구하고 이로부터 편각과 복각을 구하였다.

2.4. Evaluation of main elements of geomagnetic field in the Korean peninsula

X, Y와 Z 성분은 자기 $dP_n^m(\theta)/d\theta$, $P_n^m(\theta)/\sin\theta$ 와 $P_n^m(\theta)$ 의 함수이므로 (식 10, 11, 12) 우선 Legendre polynomial, $P_n(\theta)$ 로 부터 associated Legendre polynomial, $P_{n,m}(\theta)$ 를 구한 뒤에 이를 다시 Schmidt의 partially normalized method를 적용하여 partially normalized associated Legendre polynomial $P_n^m(\theta)$ 를 구하였다. 이들의 상호 관계식은 다음과 같다.

$$P_n(\theta) = 1/(2^n n!) d^n (\cos^2 \theta - 1)^n / d\theta^n$$

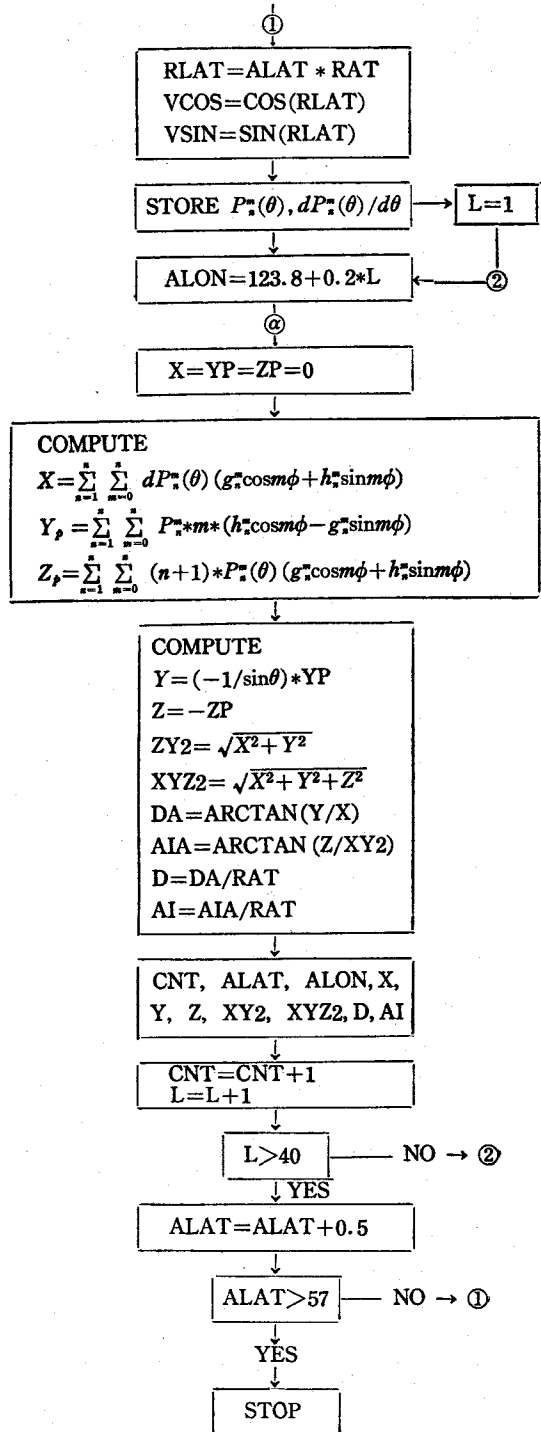
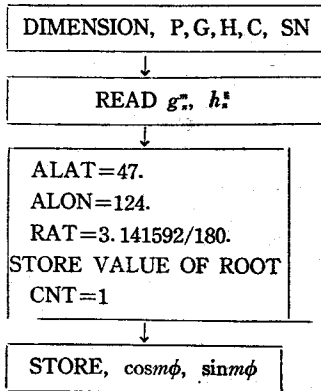
$$P_{n,m}(\theta) = (1 - \cos^2 \theta)^{m/2} \cdot d^m P_n(\theta) / d\theta^m$$

$$P_n^m(\theta) = P_{n,m}(\theta) \quad : m=0$$

$$= \left[2 \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \right]^{1/2} P_{n,m}(\theta) \quad : m \neq 0$$

이렇게 구한 $P_n^m(\theta)$ 및 이의 도함수 $dP_n^m(\theta)/d\theta$ 와 table 2의 $g_n^m(\theta)$, $h_n^m(\theta)$ 값을 식 (10) (11) (12)에 대입하고, 또한 한반도 전역 (동경 124°-132°, 여위도 47°-57°)에 걸쳐 여위도 0.5°, 경도 0.2도씩의 간격으로 짝 grid의 840 測點의 여위도 값과 경도값을代入하여 各 測點에서의 X, Y, Z 성분 및 수평성분과 총성분의 크기를 求하였다. 이들 값으로부터 식 (1), (2)를 이용하여 복각과 편각을 구하였다. 計算은 computer를 利用하였으며 전자계산을 위한 flowchart는 table 3과 같다.

Tab. 3 Flowchart.



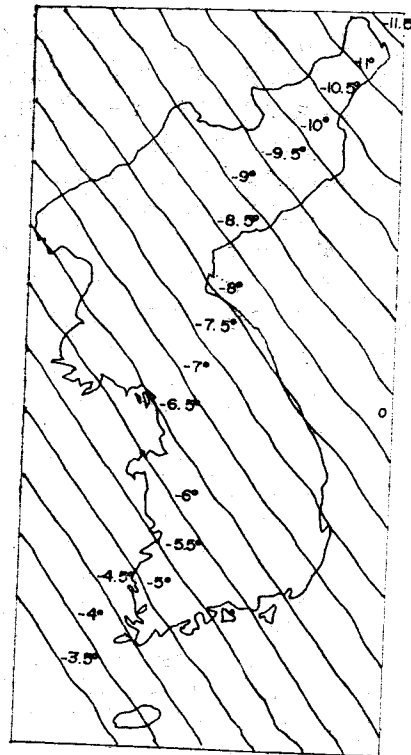
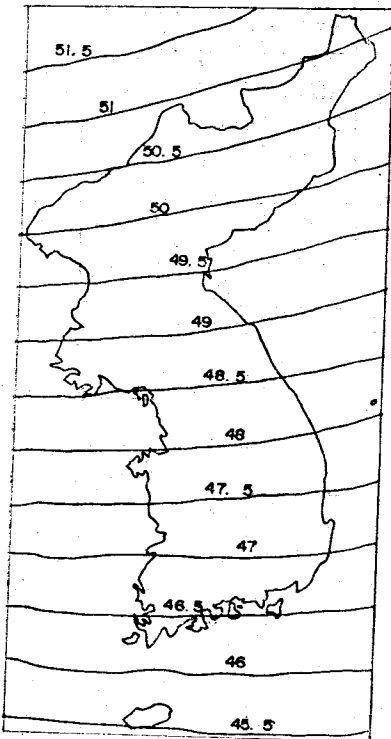
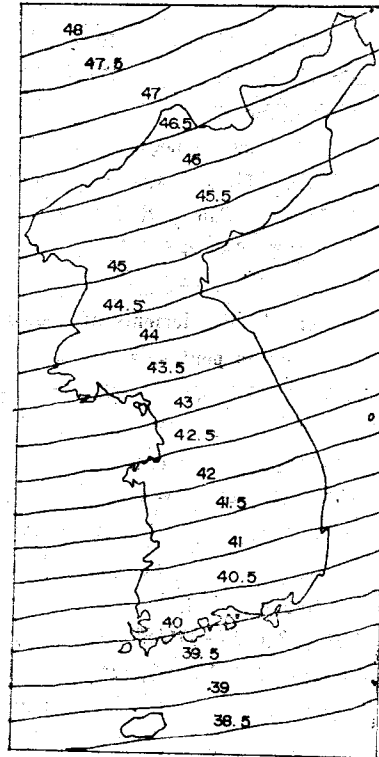
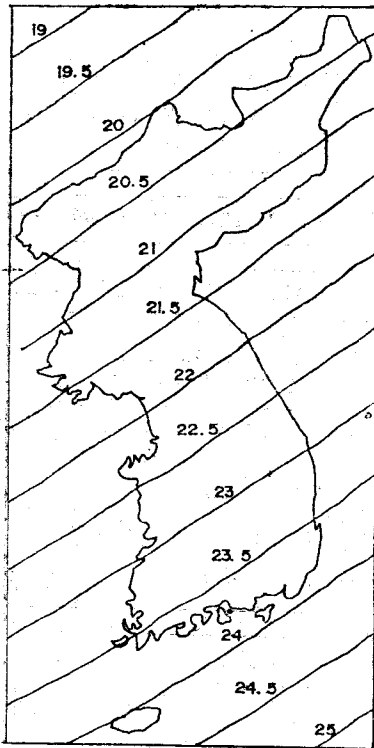


Fig. 2 Geomagnetic map of horizontal intensity ($\times 10^3 \gamma$): upper
Fig. 4 Geomagnetic map of total intensity ($\times 10^3 \gamma$): lower

Fig. 3 Geomagnetic map of vertical intensity ($\times 10^3 \gamma$): upper
Fig. 5 Isogonic map : lower.

2.5. Magnetic maps of elements of geomagnetic field in the Korean peninsula

Computer에 의해 계산된 수평, 수직 및 총성분으로부터 각 성분의 magnetic map, isogonic map 및 isoclinic map을 우리나라 전도에 각각 작성하였다. 각 map에 나타난 각 성분의 특징은 다음과 같다.

1) 수평성분에 대한 map (Fig. 2)

수평성분은 $2 \times 10^4 \gamma$ 에서부터 $245 \times 10^4 \gamma$ 까지의 분포를 보이며 위도 1도 증가함에 따라 약 500 γ 의 감소를 보인다. 같은 위도상에서는 경도가 1도 증가함에 따라 250 γ 정도씩 증가한다.

2) 수직성분에 대한 map (Fig. 3)

수평성분은 $3.85 \times 10^4 \gamma$ 에서 $4.75 \times 10^4 \gamma$ 까지의 분포를 보이며 위도 1도 증가함에 따라 약 $10^3 \gamma$ 의 증가를 보인다. 같은 위도상에서는 경도가 1도 증가함에 따라 150~240 γ 의 감소를 보이며 고 위도의 경우가 저위도에서 보다 경도에 따른 감소율이 현저히 크다.

3) 총성분에 대한 map (Fig. 4)

총성분은 $4.55 \times 10^4 \gamma$ 에서 $5.15 \times 10^4 \gamma$ 까지의 분포를 보이며 위도 1도 증가함에 따라 600~700 γ 의 증가를 보인다. 같은 위도에서는 경도 1도 증가함에 따라 10 γ 에서 90 γ 의 감소를 보이나 33~37도 사이에서는 약간의 fluctuation이 나타난다.

수직성분에서와 마찬가지로 고위도로 갈수록 경도변화에 따른 변화율이 현저히 크다.

4) Isogonic map (Fig. 5)

편각은 -3.8에서 -11.5도까지의 분포를 보이며 그 값이 음의 값인 것은 자북이 진북에 대해 그만큼 서쪽으로 기울어져 있음을 뜻한다. 위도 1도 증가함에 따라 0.6도 정도의 증가를 보이며 같은 위도상에서는 경도 1도 증가에 따라 평균 0.6도씩 증가한다.

경도에 따른 변화율이 수직성분 및 총성분의 경우와는 달리 저위도 일수록 현저히 크다.

5) Isoclinic map (그림 6)

북각은 57.8도에서 66.8도까지의 분포를 보이며 위도가 1도 증가함에 따라 평균 1도의 증가를 보인다. 같은 위도상에서는 경도 1도 증가에 따라 0.4도의 감소를 보인다. 북각의 값이 고위도로 갈수록 증가함도 Fig. 2와 3에서 보듯이 고위도 일수록 수평성분값이 감소하며 수직성분값이 증가함을 의미한다.

이상의 isomagnetic maps는 한반도 전역에 걸친 표준 지구 자기장의 값을 제곱해 줄 뿐만 아니라 자원 탐사나 지질구조 해석을 위한 자력탐사 data의 해석시에도 이용될 수 있다. 자력탐사 data로부터 자력 이상치를 구하기 위해서는 탐사지역의 지질구조, 지형 및

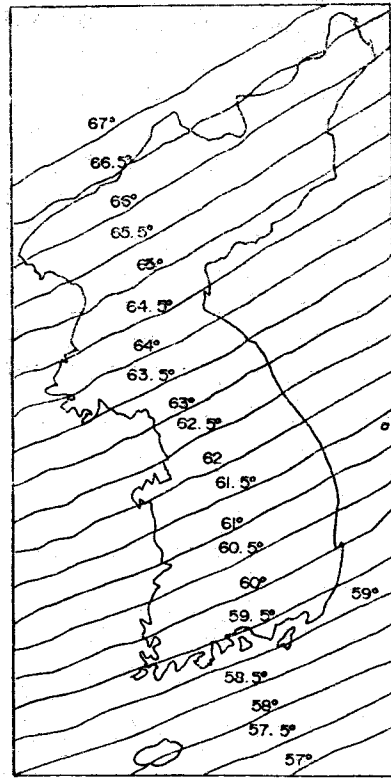


Fig. 6 Isoclinic map

암질 등에 의한 영향이 없는 표준 지구자기장의 크기 즉 zero level의 크기를 알아야 한다. 왜냐하면 zero level의 크기에 따라서 이상치의 크기는 크게 좌우되며 그 결과 이상대에 대한 해석이 달라지기 때문이다 (Parasnis, 1966). 그러나 zero level의 값은 실제 측정으로 구할 수 있는 값이 아니기 때문에 이제까지의 자력탐사 data의 해석에서는 working zero (background)를 사용하여 왔다.

본 논문에서는 internal source에 의한 표준지구 자기장만을 고려하여 수직성분(그림 3)과 총성분(그림 4) 값을 이론적으로 구해줌으로써 zero level의 크기를 제 공하였다.

3. Interpretation of magnetic anomaly map in the Korean peninsula

본 논문에서 제시한 zero level은 1960년의 지구 자기장의 크기로부터 구한 Gauss coefficient (Tab. 2)를 이용하였으며 따라서 이의 실제응용을 위해서 1958~1960년에 Aero Service Corporation에 의해 실시된 항공 자력탐사 data를 택하였다.

이 항공 자력탐사는 N45°W 방향을 따라 비행간격 1.6km 비행고도 150m로 태백산 지역 (20640km²), 소백산지역 (19055km²)과 경상도 지역 (5172km²)의 총 44867km²의 면적에 대하여 실시되었다.

항공 자력탐사 data는 downward continuation을 이용하여 지표에서의 값으로 reduction 해증이 원칙이나, 지구 자기장의 총성분의 고도에 따른 수직변화율은 -0.03γ/m ~ -0.05γ/m의 작은 값으로서 고도 변화는 무시할 수 있다(Grant & West, 1965). 따라서 본 논문에서는 항공 자력탐사 data 값을 그대로 사용하였다.

128개 측정에서의 항공 자력탐사에 의한 총성분값과 각 측점에 해당하는 zero level 값과의 차를 구하여 자력 이상도 (Fig. 7)을 작성하였다.

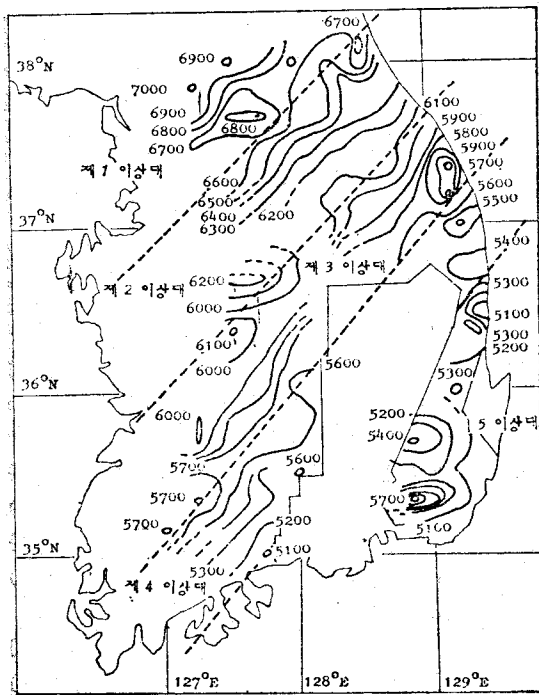


Fig. 7 Magnetic anomaly map, unity

이 자력 이상도는 이상곡선의 trend와 shape에 따라 5개의 이상대로 분류되는데 이들의 trend는 우세하게 NE-SW의 방향성을 갖는다. 자력 이상도와 Fig. 8의 지질도 (김옥준, 1970)와를 비교 분석함으로써, 자력 이상대 분포와 지질구조 및 암석분포의 상호관계를 고찰 해석하였다.

제 1 이상대 : 연천계내에 분포하고 있는 대보 화강

암의 trend를 따라 고자력대가 발달하며, 연천계와 제 2 이상대의 대보 화강암과의 경계를 따라 이상곡선이 불규칙해 진다.

제 2 이상대 : 대보 화강암 지역에 발달해 있으며 현저하게 NE-SW의 방향성을 갖는데 이는 차령산맥의 trend와 잘 일치한다.

제 3 이상대 : 옥천지향사대내에 발달한 이상대이며 옥천 신지향사대와 옥천 고지향사대(김옥준, 1969)를 경계로해서 이상곡선의 trend가 바뀐다. 이와같은 trend의 변화는 단층 등의 지질구조나 암질 암상의 변화에 의한 것으로 해석된다. 옥천 신지향사대에서는 이제까지의 이상곡선과는 다른 trend를 갖는 이상곡선이 나타나는데 이 지역의 습곡등의 복잡한 지질구조에 의한 것으로 해석된다. 또한 옥천 고지향사대의 하부와 대동계내에 발달한 자력 이상곡선의 trend는 노령산맥

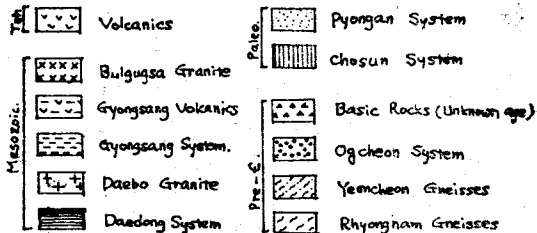


Fig. 8 Geologic map of South Korea (김옥준, 1970)

의 방향과 잘 일치한다.

제 4 이상대 : 영남계 지층군내에 발달한 이상대로서 열기성 암석이 발달해 있는 곳에서는 높은 이상치를 보인다. 또한 태백산통의 변성암 지역과 영남계내에 발달한 대보화강암 지역에서도 높은 이상치가 나타난다. 다른 이상대와는 달리 뚜렷한 방향성은 없으나 하부에 나타난 이상곡선의 trend는 덕유산맥의 방향과 일치한다.

제 5 이상대 : 경상계 화강암과 불국사 화강암지역에 발달한 이상대로서 경상계 퇴적분지와의 경계와 이상곡선의 모양이 잘 일치한다.

이상과 같이 이상곡선의 trend와 shape에 의해 분류한 다섯개 이상대는 각기 연천계, 대보 화강암, 옥천계, 영남육괴, 그리고 불국사 화강암과 경상계 화산암 지역에 발달해 있어 geologic boundary와 잘 일치한다. 또한 각 이상대내의 이상곡선 trend와 그 지역내의 지질 구조와는 아주 밀접한 관계를 가지고 있다.

본 논문에서 사용한 항공 자력탐사 data는 축선간격을 1.6km로 하여 실시한 개략탐사 결과치로서, 이로부터 광상탐사와 같은 정밀해석은 어려우나 지질구조해석에는 매우 유효하였다.

4. Discussion

1960년의 data를 이용하여 본 논문에서 구한 한반도에서의 지구 자기장의 총성분 값과 1955년의 world magnetic maps에 나타난 값을 비교하면 5년간에 $1000\gamma \sim 2000\gamma$ 의 감소가 있다. 이는 현 지자장의 main dipole field의 평균 감소율인 5%/century (T. Nagata and M. Ozima, 1967) 보다 큰 값으로서 한반도에서는 지구 자기장이 평균 감소율 보다 더 큰 감소율로 감소했음이 밝혀졌다.

둘째로, Fig. 7의 자력 이상대내의 제 3 이상대에 나타난 이상곡선의 trend 변화는 그 지역의 구조에 의한 것으로 해석되는데 이는 김옥준의 옥천 고지향사와 옥천 신지향사의 경계를 이루는 단층에 해당된다. 이 단층의 정확한 위치 및 연장을 알기 위해서는 이 지역에 대한 정밀 육상 자력탐사의 실시가 요망된다.

셋째로, Fig. 8의 지질도에서 지구 자기장의 각 이상대에 해당되는 지역내에서는 지질이 연속되는 것을 볼 수 있는데 이로 미루어 봐서 미탐사 지역인 동경 127도 15분 이서지역에서도 Fig. 7에 나타난 이상곡선 trend가 연속될 것으로 유추되나 이는 앞으로의 과제이다.

넷째로, 우리나라에서의 전반적인 지질구조, 암석 및 광상의 분포를 알기 위해서는 우리 나라 전역에 걸

친 항공 자력탐사와 또 그 결과로 부터 선정된 지역에 대한 육상 정밀 자력탐사가 실시되어야 할 것이며, 이들에 대한 정량적인 해석을 내리기 위해서는 이들이 자력이상에 미치는 영향을 규명할 수 있는 model 연구가 우선되어야 할 것이다.

끝으로, 지구 자기장은 그 크기가 시간에 따라 변하므로, 10~20년 간격으로 정기적으로 본 연구와 같은 연구가 계속 진행되어 한반도에서의 지구 자기장의 영년 변화량과 변화율을 구해야 할 것이다.

5. Conclusion

Spherical harmonic analysis에 의해서 한반도 전역에 걸쳐 표준 지구 자기장 값을 구하고, 이를 이용하여 항공 자력탐사에 의한 실측 data를 해석한 결과는 다음과 같다.

1) 우리 나라에서의 표준 지구 자기장의 수평성분은 2×10^4 감마에서부터 2.45×10^4 감마까지의 분포를 보이며, 위도 1도 증가함에 따라 약 500 감마의 감소를 보인다. 같은 위도상에서는 경도 1도 증가함에 따라 250 감마씩 증가한다.

2) 수직성분은 3.85×10^4 감마에서 4.75×10^4 감마까지의 분포를 보이며, 위도 1도 증가함에 따라 약 10^3 감마의 증가를 보인다. 같은 위도상에서는 경도 1도 증가함에 따라 150 감마에서 240 감마의 감소를 보이며 고위도의 경우가 저위도에서보다 경도에 따른 변화율이 현저히 크다.

3) 총성분은 4.55×10^4 감마에서 5.15×10^4 감마까지의 분포를 보이며, 위도 1도 증가함에 따라 600에서 700 감마의 증가를 보인다. 수직 성분에서와 같은 위도에서는 경도 1도 증가함에 따라 10~90 감마의 감소를 보인다. 마찬가지로 고위도로 감에 따라 경도 변화율이 현저히 크다.

4) 편각은 -3.8 도에서 -11.5 도까지의 분포를 보이며 위도 1도 증가함에 따라 0.6도 정도의 증가를 보이며 같은 위도상에서는 경도 1도 증가함에 따라 평균 0.6도씩 증가한다. 경도에 따른 변화율은 수직 및 총성분의 경우와는 달리 저위도 일수록 현저히 크다.

5) 북각은 57.8에서 66.8도까지의 분포를 보이며 위도 1도 증가에 따라 평균 1도의 증가를 보인다. 같은 위도 상에서는 경도 1도 증가에 따라 0.4도의 감소를 보인다.

6) 자력 이상도에 나타난 이상곡선의 trend와 shape에 의해 분류한 다섯개의 이상대는 남한의 geologic boundary와 잘 일치한다.

7) 각 이상대에서의 이상곡선 trend는 그 지역내에

발달한 지질 구조 특히 단층, 화강암의 관입 및 그 발달과 밀접한 관계가 있다.

References

- Allredge, L.R. and L. Hurwitz, 1964. Radial dipoles as the sources of the Earth's main magnetic field, J.G.R., vol. 69, no. 12.
- Arfken, G., 1970. Mathematical methods for physicists. Academic Press, 2nd ed.
- Chapman, S. and J. Bartel, 1940. Geomagnetism, Vol. 2, Oxford univ. press.
- Dobrin, M.B., 1970. Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill Book Co.
- Garland, G.D., 1971. Introduction to Geophysics, W. B. Saunders Co.
- Grant, F.S. and C.F. West, 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics, McGraw-Hill Book Co.
- Hand, A. and A. Zitzman, 1969. The Relation of magnetic anomalies to topography and geological features in Europe, Geop. Mono. 13, p. 309-403.
- Hildebrand, F.B., 1976. Advanced Calculus for Application, Prentice-Hall Inc., 2nd ed.
- Matsushita, S. and W.H. Campbell, 1967. Physics of Magnetic Phenomena, Vol. 1, Academic Press.
- McEhlinny, M.W., 1973. Paleomagnetism and Plate Tectonism, Cambridge univ. press.
- Officer, C.B., 1974. Introduction to Theoretical Geophysics, Springer-Verlag.
- Ostenso, N.A., 1969. Magnetic Anomalies and Crustal Structures, Geop. Mono. 13, p. 457-463.
- Parasnis, D.S., 1973. Mining Geophysics, Elsevier Scientific Pub. Co., 2nd ed.
- Simonenko, T., 1969. Relation of Magnetic Anomalies to Topography and Geology in USSR, Geop. Mono. 13, p. 415-421.
- Zietz, I., 1969. Aeromagnetic Investigation of the Earth's crust in the United States, Geop. Mono. 13, p. 404-414.
- Kim, O.J., 1972. Precambrian Geology and Structures of the Central Region of South Korea, Mining Geology, vol. 5, no. 4, p. 231-240.
- 김옥준, 1970. 남한중부지역의 지질과 구조, 광산지질 vol. 2, no. 4, p. 73-90.
- , 1971. 남한의 신기 화강암류의 관입시기와 지각변동, 광산지질, vol. 4, no. 1, p. 1-10.
- , 1973. 경기육괴 서북부의 변성암 복합체의 층서와 지질 구조, 광산지질, vol. 6, no. 4, p. 201-218.
- , 1975. 남한의 화강암류와 지각변동, 광산지질 vol. 8, no. 4, p. 223-230.
- 현병구, 1974. 한국의 항공 자력 이상대분포에 관한 종합해석, 광산학회지, vol. 11, no. 1, p. 9-20.