

## 無定位磁力計에 의한 岩石의 殘留磁氣測定法

—특히 延世大 地質學科에 設置된 無定位磁力計의 製作을 中心으로—

金光浩\*, 閔庚德\*\*

### Measurement of Remanent Magnetization of Rocks Using an Astatic Magnetometer

—Emphasizing on the Astatic Magnetometer set up at the Department of Geology, Yonsei University—

Kwang Ho Kim, Kyung Duck Min

#### 1. 서 론

岩石이 가지고 있는 殘留磁氣(remanent magnetization)로부터, 과거의 地球磁場을 研究하는 학문이 古地磁氣學(palaeomagnetism)이다. 地表에 분출된 용암이 냉각될 때, 퇴적물이 퇴적될 때, 그속에 포함된 磁性礦物은 당시의 地球磁場 方向으로 磁化된다. 그 岩石이 가진 殘留磁氣를 自然殘留磁氣(natural remanent magnetization, NRM)라 하고, 여러가지 연대의 岩石의 N.R.M을 조사함으로써, 과거의 地球磁場의 逆轉이나 地磁氣極의 이동의 역사를 알 수가 있다. 古地磁氣極의 이동의 궤적이 대륙에 따라 다르다는 사실이, 大陸移動說을 부활시켰다는 것은 잘 알려진 바이다.

#### 2. 試料採取

野外에서 試料를 採集할 때는 현재의 地理學的 方位와 水平面과의 관계가 試料에 명기되도록 해야한다. 이것은, 岩石의 殘留磁氣는 磁化의 세기와 磁化方向을 가진 vector이므로, 그 磁化方向을 나타내는 데에는 현재의 地理學的 方位를 基準하여 表示하기 때문이다. 그러므로, 試料를 地層으로 부터 採集할 때, 方位와 水平面을 表示하는 기호(표시)의 精密度는, 測定結果로부터 그것을 基準으로 산출된 磁力方向의 精密度에 직접 영향을 미친다. 따라서, 採取時

에 사용하는 compass나 각도기 등은 모두 精密度를 높이는 것이 요망된다. 目的에 따라서는, 地質調査에 사용되는 clinometer도 좋으나, 古地磁氣의 永年變化를 研究對象으로 하는 경우에는 1° 혹은 그 이상의 精密度로 方位를 결정할 필요가 있다.

이와같이 精密度를 높이기 위해서, 여러가지 方法이 試圖되었다 (Collinson 外, 1967). 그중에서 현재 널리 쓰여지고 있는 代表的인 方法을 소개한다.

i) 水平面과 한 方位를 表示하는 法.

그림 1에서와 같이, 試料上에 水平面과 어떤 특정한 方位를 나타내는 方法이다. 여기서 特定方位란 N.S.E.W 등에 의해서 N10° E와 같이 나타내도 지장이 없다.

ii) 試料의 한 면에 走向, 傾斜를 記錄하는 法.

Fig. 2에서와 같이, 試料의 한 면이 평탄한 경우, 그 면의 走向과 傾斜를 記錄하는 方法이다. 그러나 火成岩의 試料에는 일반적으로 그와같이 走向과 傾斜를 精確히 測定할 수 있는 平面을 찾기 힘들므로 이런 경우에는 Fig. 2와 같이 작

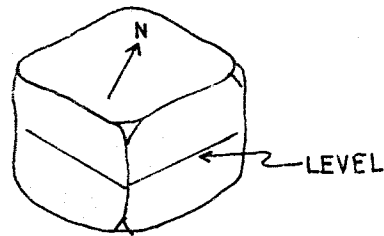


Fig. The direction sign of sample

\* 正會員, 全北大學校 師範大學 地球科學科

\* " , 延世大學校 理科學科 地質學科

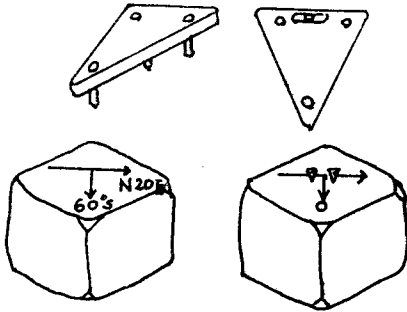


Fig. 2 The indication of the strike and dip and the supplement apparatus (tripod)

은 二等邊 三角形(한변이 5~7cm, 밑변이 4~5 cm, 두께 1cm 정도)을 투명아크릴판을 이용하여 잘라내고, 여기에 길이가 같은 다리 3개를 붙여 사용한다. 이와같이 만든 tripod를 試料위에 올려놓고 水平面을 決定하고, 그때의 3개 다리의 位置를 試料에 表示하여, 삼각판위에서 走向과 傾斜를 測定하면 좋다.

以上の 두가지 方法은, 岩體의 磁化가 비교적 약해서, 磁氣異常이 비교적 적은 경우에 적용된다. 磁化가 강한 玄武岩이나, 또는 磁鐵鑛體 등의 경우에는, compass를 岩體에 가까이 가져가면, 현재의 地磁氣와 다른 方位를 나타낼 수도 있다. 이와같은 때에는, 岩體의 영향을 받지 않는 地點까지 떨어져서 方位를 測定함이 좋다. 그를 위해서는 망원경이 붙은 소형 transit類를 사용해야 한다. 이것은 극단적인 예이지만, 최소한 1m 이상 떨어진 場所에서 方位를 測定하여 보고, 採取 地點에 compass를 가까이 할 때의 方位를 점검해 두는 것이 중요하다.

iii) Core 採集의 경우

소형 gasoline engine을 動力源으로 한 portable core-sampler가 종종 사용되고 있다(Fig. 3). 이 경우에는 core를 끊어 뽑아내기 전에 Fig. 4와 같은 機具를 사용하여, core의 윗면에 方位를 表示를 함과 동시에, Fig. 5에 보인 것과같이 sampling시의 core의 傾斜(Z軸과 水平面이

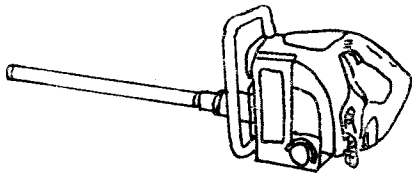


Fig. 3. core-sampler

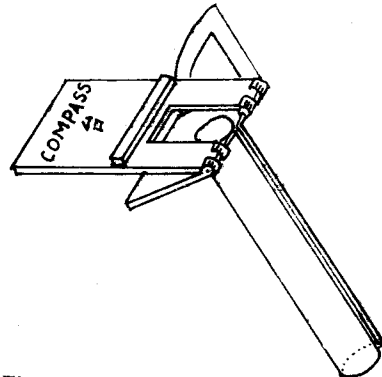


Fig. 4 The example of a direction (azimuth finder) measuring apparatus of core

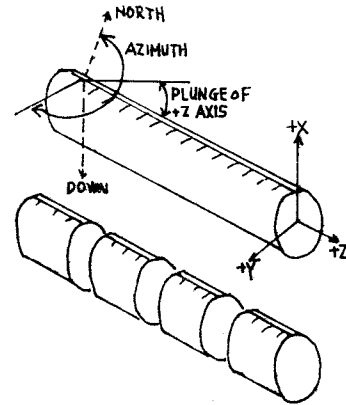


Fig. 5 An azimuth (direction) of core

이루는 角)와 偏角(N方向과 軸사이의 角)등을 記錄하여, 나중에 현재의 方位에 대한 磁化方向을 決定할 수 있게 된다.

3. 試料의 模樣에 대해서

殘留磁氣의 세기나 方向을 決定하는 경우, 보통 우리들은 試料가 均일하게 磁化 되어있는 것으로 假定하고 測定結果를 처리한다. 이와 같은 假定은 岩石中の 磁性鑛物의 分布가 비교적 均質하다면 성립된다. 그리고 試料가 球形이라면, 試料가 나타내는 磁氣能率은, 試料의 中心에 놓인 한개의 雙極子로 代表될수 있다.

그러나, 均일한 磁化로 보이지 않는 것이나, 비록 均일한 磁化라 할지라도 모양이 球形이 아닐 경우에는, 일반적으로 雙極子로 생각하기는 어려우며, 따라서 될수 있는 한, 球에 가까운 모양으로 만드는 것이 바람직하다.

測定試料는 통상, 野外에서 採集한 試料로부터 한변이 3~5cm 正六面體 또는 1인치(직경과

높이가)의 圓筒形으로 만든다.

강한 磁化를 나타내는 試料는, Astatic Magnetometer 로 測定할 때, 測定用 磁石으로부터 비교적 먼거리에서 測定하는데, 근사적으로는 球로 보아도 지장이 없는 結果가 얻어진다. 그러나, 磁化가 약한 試料는, 磁石에 가까이 접근하여 測定하기 때문에, 形態의 영향이 나타나게 된다.

4. 無定位磁力計(Astatic Magnetometer)

自然殘留磁氣의 測定에는, Astatic Magnetometer(無定位磁力計), Spinner Magnetometer, Super Conducting Magnetometer 등이 사용되고 있다. 이 中 Spinner 특히 Super Conducting 磁力計는 값이 너무 비싸서 우리나라 大學의 형편으로는 구입하기가 무척힘이 들것으로 생각된다. 따라서 여기서는, 製作이 간단하고 製作費가 적게드는 Astatic Magnetometer 에 대해서 간단히 그 原理를 說明하려 한다.

Astatic Magnetometer 는, Fig. 6 과 같이, 磁氣 moment  $M_1, M_2$  가 완전히 같은 磁石 2 개를, 반대 方向으로 平行하게 고정시킨 磁石系(magnetic system)와 이것을 매달은가는 선으로 되어 있다. 이 磁石系에 均일한 外部磁場(地球磁場)  $H$  가 작용할 때의 平衡條件은

$$(M_1 - M_2)H \sin\theta = \tau(\theta - \theta_0)$$

로 된다. 여기서,  $H$ : 地球磁場의 水平成分,  $\theta$ : 磁石軸方向과 地磁氣 水平方向과 이루는 角,

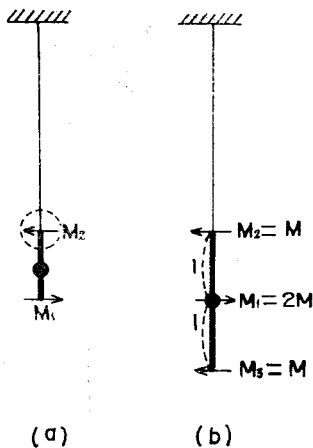


Fig. 6 Astatic magnetometer

(a) Two-magnetic system (b) Three-magnetic system

Ⓜ: 매달린 실의 처음 비틀린 角度,  $\tau$ : 매달린 실의 비틀림 상수

지금 試料의 殘留磁氣에 의한 磁場의  $M_1$  磁石 位置에서의 값을  $h$  라 하고,  $h$  와  $H$  가 서로 直角 일때, 그리고  $h$  가  $M_1$  磁石에만 작용한다고 假定할 때의 sensitivity(感度)는,

$$\frac{d\theta}{dh} = \frac{M_1 \cos\theta}{(M_1 - M_2)H \cos\theta + M_1 h \sin\theta + \tau}$$

$\theta = 0$  일때

$$\left(\frac{d\theta}{dh}\right)_0 = \frac{1}{\left(1 - \frac{M_2}{M_1}\right)H + \tau/M_1}$$

$M_1 = M_2$  라고 하면

$$\left(\frac{d\theta}{dh}\right)_0 = M_1/\tau$$

위에 말한 것과 같이  $M_1 = M_2$  가 성립되면,  $M_1, M_2$  磁石 주위에서  $H$  가 均일하다면,  $H$  가 변화하더라도, magnetic system의 平衡狀態에는 영향을 미치지 않는다.

그러나 보통의 實驗室에서는, 실내에 진열된 磁性物體 등이나 건물의 철근등의 영향을 받아서,  $M_1, M_2$  주위의 磁場이 均일하게 되는 것을 기대하기 어렵다. 일반적으로, 실내의 地球磁場은, 上下方向으로 불균일한 分布를 나타내는데, 그 磁場  $H'$  는,

$$H'(Z) = H_0 + \left(\frac{\partial H'}{\partial Z}\right)_0 \Delta Z + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 H'}{\partial Z^2}\right)_0 (\Delta Z)^2 + \dots$$

로 나타낼 수 있다. 여기서,  $Z$  는 2 개 磁石의 中心을 原點으로 하여 鉛直으로 세운 軸이다. 이와같이, 상하 2 개의 磁石의 位置에서 磁場의 分布가 다르면, 外部磁場의 變化에 따라  $\{(\partial H'/\partial Z)_0 \cdot l(M_1/\tau)\}$  만큼의 잡음에 의한 動搖(disturbance)가 일어난다. 이것은, 地球磁場의 變動에 따라서, Astatic Magnetometer의 영점의 位置가 좌우로 변하는 것을 意味한다. 이 영점의 變化는, 무엇보다도, 磁力計의 感度を 저하시키는 큰 原因이 되기 때문에, 이것을 줄이는 方法으로서 Fig. 6 (b)와 같이 3 개의 磁石을 사용하는 方法도 考案되었다. 이 경우는, 外部磁場의 變化에 의한 영향은  $\{(\partial^2 H'/\partial Z^2)_0 l^2\}$  에 비례하게 되고, 영점의 변동이 훨씬 작아지게 되어 있으나,

3 개의 磁石系를 조정하기 힘들기 때문에 별로 사용되지 않고 있다.

Astatic Magnetometer의 sensitivity는, 위에서 말한 것과 같이,  $M_1=M_2$ 일때 最大가 된다. 2개 磁石의 磁氣能率(magnetic moment)이 완전히 같을때는, 만약에 外部磁場이 균일하면 2개에 작용하는 moment가 서로 소멸되고, 실의 비틀림 moment만에 의존하여, 일정한 方向을 가리키지 않게 된다. 즉 영점은 정해지지 않는다. 그 때문에 아주 적은 差異가 있는것이 바람직하나, 실제로는,  $M_1$ 과  $M_2$ 가 99%이상 같게 하는 것은 지극히 어려운 일이다. 그래서, sensitivity를 높이는 方法으로서, 보통 다음의 3가지 方法이 사용되고 있다.

i)  $M_1H_1 - M_2H_2 = 0$ 의 條件에 접근하도록 하기 위해 작은 Helmholtz coil을  $M_2$  磁石의 位置에 부착시켜, 磁石  $M_2$ 에 수직하도록  $h'$ 의 人工 磁場을 가하고,  $M_1H_1 - M_2(H_2 + h') = 0$ 에 접근

하도록  $h'$ 를 조정하는 方法.

ii)  $M_2$  磁石을 水平보다  $\delta$  정도 기울여서, 그 磁氣能率의 水平分力을 變化시키고,  $M_1H_1 - M_2H_2 \cos \delta = 0$ 가 되도록 조정하는 方法.

iii) 두 磁石에 가해지는 外部磁場  $H$ 를 약하게 함으로서, sensitivity를 증가시키는 方法. 즉, 地球磁場의 水平分力을 큰 Helmholtz coil에 의해, 될수 있는한 소멸시켜 주는 方法(Fig. 7).

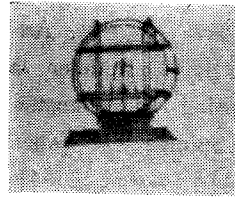


Fig. 7 Astatic Magnetometer containing Helmholtz coil

위 3가지 方法으로 잘 조정하면  $10^{-8}$  e, m, u/

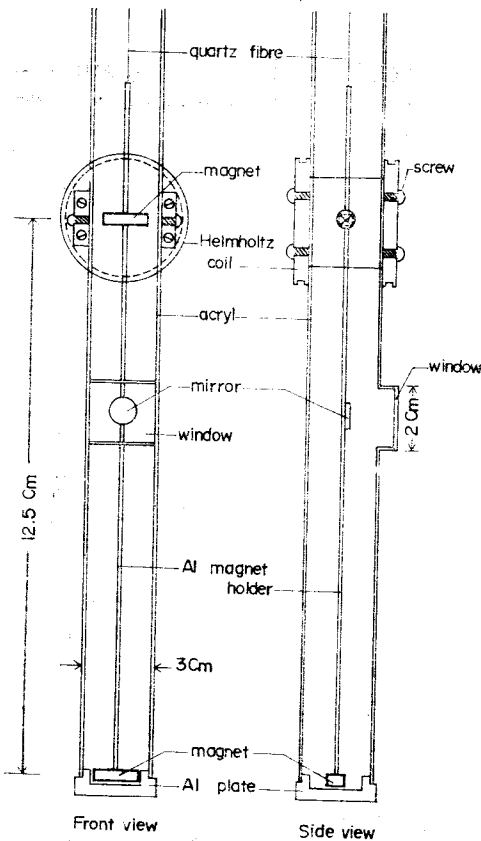
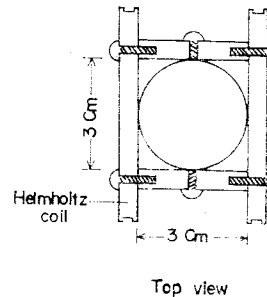


Fig. 8 Magnetic system and its essential parts



Top view

div 정도까지 sensitivity를 높일 수 있다.

이 Astatic Magnetometer는, 外國에서는 판매되고 있는 것도 있다고 하나, 직접 製作하여도 충분히 사용할 수 있다. 참고로 한 예로서 그림 8에 延世大學校 地質學科에 제작설치한 Astatic Magnetometer의 諸元을 소개한다. 여기서 磁石은 가로 세로가 2~4mm, 길이가 10~20mm 되는 磁石을 사용한다. 이 자석을 Al 파이프로 20~30cm의 간격으로 平行하게 고정시키고, 중간에 지름 10mm 정도의 거울을 부착한다. 이 磁石系를 45~50번의 磷靑銅線(길이 약 20cm)에 매달아 유리관이나 아크릴관속에 장치한다.

磷靑銅線(phosphorous bronze wire)이 없을 경우엔 石英막대를 이용하여 석영실을 만들어 사용한다.

거울의 정면에 작은 창을 만들고 평면유리(cover glass)나 얇은 아크릴판으로 덮는다. 이외에 試料 回轉臺, 광원 장치 및 자(scale)가 필요하나 가장 중요한 것은 磁石系이다. 製作에 들어가서는, 磁石系내지 回轉臺의 부품에 磁性體를 사용해서는 안된다. 또한 磁石系振動의 制動을 위해서, 磁石둘레에 가운데가 빈 圓筒形 구리판 또는 Al 판을 磁石 가까이 붙이면 된다.

### 5. Astatic Magnetometer에 의한 殘留磁氣 측정

試料의 殘留磁氣를 測定하는 方法은, 그림 9에 圖示한 바와 같이 두가지가 있다. 즉 그림 (a)에서와 같이, 試料를  $M_1$  磁石과 同一 平面내에 두는 경우와, (b)와 같이  $M_1$  磁石의 바로 아래에 두는 경우이다. 어떤 경우에도, 試料 S가 가지는 磁氣에 의해 磁石  $M_1, M_2$ 는 작용을 받는다. 이 중에서,  $M_2$ 에 미치는 작용은, 磁力計의 sensitivity를 저하시키는 原因이 된다. 이 영향은, magnetic system과 S와의 상대적 위치, 즉  $r_1, r_2$  및  $l$ 과의 관계에 의해 정해진다. 실제 문제로서는,

(a)의 경우,  $l=30\text{cm}$ ,  $r_1=3\sim 10\text{cm}$

(b)의 경우,  $l=10\sim 30\text{cm}$ ,  $r_1=3\sim 10\text{cm}$

의 條件이면,  $M_2$ 에 의한 영향은 거의 무시될 수 있고,  $M_1$ 과 S와 작용만을 생각하여도 상관없다.

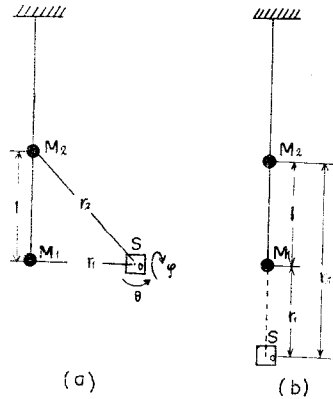


Fig. 9 The method of measuring the Residual magnetism

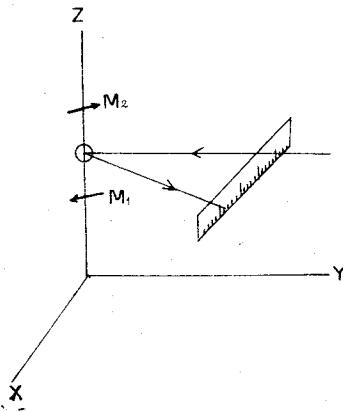


Fig. 10 The basic structure

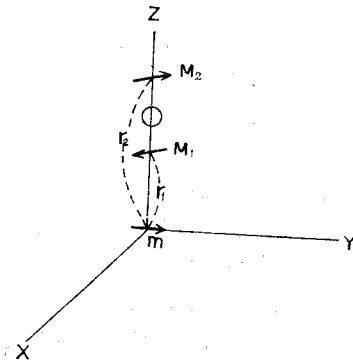


Fig. 11 The basic principle

지금 S가 가지는 殘留磁氣를 한개의 雙極子로 假定하고, 그 磁氣能率을  $m$ 이라하면,  $M_1$ 에 미치는 작용값의 最大値는,

표 1. 記錄用紙 (The recording paper)

		Upright	Inverted	Sum			
		L	L	2L	4m <sub>x</sub>	4m <sub>y</sub>	4m <sub>z</sub>
(xy)	0	a <sub>0</sub>	$\bar{a}_0$	A <sub>0</sub> =a <sub>0</sub> + $\bar{a}_0$	A <sub>0</sub> -A <sub>2</sub>		
	90	a <sub>1</sub>	$\bar{a}_1$	A <sub>1</sub> =a <sub>1</sub> + $\bar{a}_1$		A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub>	
	180	a <sub>2</sub>	$\bar{a}_2$	A <sub>2</sub> =a <sub>2</sub> + $\bar{a}_2$			
	270	a <sub>3</sub>	$\bar{a}_3$	A <sub>3</sub> =a <sub>3</sub> + $\bar{a}_3$			
$m_y/m_x = (A_1 - A_3) / (A_0 - A_2)$ , $\alpha = \tan^{-1}(m_y/m_x)$							
(yz)	0	b <sub>0</sub>	$\bar{b}_0$	B <sub>0</sub> =b <sub>0</sub> + $\bar{b}_0$		B <sub>0</sub> -B <sub>2</sub>	
	90	b <sub>1</sub>	$\bar{b}_1$	B <sub>1</sub> =b <sub>1</sub> + $\bar{b}_1$			B <sub>1</sub> -B <sub>3</sub>
	180	b <sub>2</sub>	$\bar{b}_2$	B <sub>2</sub> =b <sub>2</sub> + $\bar{b}_2$			
	270	b <sub>3</sub>	$\bar{b}_3$	B <sub>3</sub> =b <sub>3</sub> + $\bar{b}_3$			
$m_z/m_y = (B_1 - B_3) / (B_0 - B_2)$ , $\beta = \tan^{-1}(m_z/m_y)$							
(zx)	0	c <sub>0</sub>	$\bar{c}_0$	C <sub>0</sub> =c <sub>0</sub> + $\bar{c}_0$			C <sub>0</sub> -C <sub>2</sub>
	90	c <sub>1</sub>	$\bar{c}_1$	C <sub>1</sub> =c <sub>1</sub> + $\bar{c}_1$	C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>		
	180	c <sub>2</sub>	$\bar{c}_2$	C <sub>2</sub> =c <sub>2</sub> + $\bar{c}_2$			
	270	c <sub>3</sub>	$\bar{c}_3$	C <sub>3</sub> =c <sub>3</sub> + $\bar{c}_3$			
$(m_x/m_z = (C_1 - C_3) / (C_0 - C_2)$ , $\gamma = \tan^{-1}(m_x/m_z)$							
		16m <sub>x</sub> <sup>2</sup>	16m <sub>y</sub> <sup>2</sup>	16m <sub>z</sub> <sup>2</sup>	Sum		
xy		(A <sub>0</sub> -A <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	(A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	—	(A <sub>0</sub> -A <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> + (A <sub>1</sub> -A <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>		
yz		—	(B <sub>0</sub> -B <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	(B <sub>1</sub> -B <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	(B <sub>0</sub> -B <sub>2</sub> ) <sup>2</sup> + (B <sub>1</sub> -B <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>		
zx		(C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	—	(C <sub>0</sub> -C <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	(C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub> ) <sup>2</sup> + (C <sub>0</sub> -C <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>		
$\Sigma = 32(m_x^2 + m_y^2 + m_z^2) = (A_0 - A_2)^2 + (A_1 - A_3)^2 + (B_0 - B_2)^2 + (B_1 - B_3)^2 + (C_1 - C_3)^2 + (C_0 - C_2)^2$							
1/32Σ = .....				$\sqrt{1/32\Sigma} = \dots\dots$			
$M = r^3 \times S \times \sqrt{1/32\Sigma} = \dots\dots$							

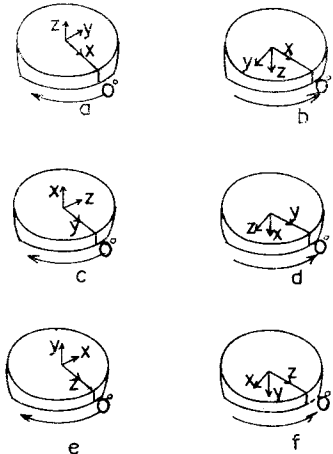


Fig. 12 The measurement of residual magnetization

(a)의 경우,  $(h_1)_{\max} = 2m/r_1^3$   
 (b)의 경우,  $(h_2)_{\max} = m/r_1^3$   
 가 되고, (a)의 경우가, 동일 거리에 대해서는, (b)의 경우 보다 2배의 sensitivity를 나타낸다. 그러나, (a)의 경우에는, M<sub>2</sub>磁石과 S와의 相互作用이 크기 때문에, 磁力計의 설계에서 l을 크게 해야한다는 短點도 있다.

우리는 일반적으로 岩石은 均일하게 磁化되어 있다고 생각하여 이를 한개의 雙極子로 代表시켜서 表示한다는 것은 이미 언급하였다. 지금부터는 실제의 測定에서 부터, 이 雙極子の N극이 表示하는 方位와 磁化의 세기를 구하는 方法에 대해서 알아보자.

Fig. 10과 같이 magnetic system을 매달았을 때, 매달린 선의 방향에 Z軸, 磁石 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>와 거울을 포함하는 면에 X軸을, 면에 수직하게 Y軸을 잡는다. 자는 Y축에 수직으로 놓고, 빛은 Y축 方向으로 부터 거울에 反射시킨다.

여기서, 磁化 m을 가진 試料는, 그림11에서와 같이, 원점에 그리고 磁化의 方向은 Y軸을 향하도록 놓으면, m에 의한 磁場은 Z축상에서는 Y성분만 있으므로, 磁石系가 받는 torque L

(0, 0, L)은 Z 성분만이다.

$$L = mM(1/r_1^3 - 1/r_2^3)\omega\cos\theta - \tau\theta$$

여기서  $\tau$ =quartz string의 비틀림 상수

$\theta$ =magnetic system (string)의 비틀림 角度

$$M_1 = -M_2 = M \text{ 으로 함.}$$

이때  $1/r_1^3 \gg 1/r_2^3$ ,  $\cos\theta \approx 1$  이면

$$L = mM/r_1^3 - \tau\theta$$

가 되고, magnetic system은 L=0로 되는 角度

$$\theta = mM/\tau r_1^3$$

까지 비틀려서 있게된다. 거울로 부터 反射된 빛은 scale 상에서, 중앙으로부터

$$l \tan 2\theta \approx 2l\theta$$

까지 이동한다. 여기서,  $I$ : 거울과 scale 과의 거리

그림11과 같이 임의의 磁化  $m$  을 가진 試料를 생각할 경우, scale 상에 反射光의 편기에 영향을 주는 것은 磁化의  $Y$  성분  $m_Y$  뿐이다. 따라서, 試料의 座標系를  $x-y-z$  라고 할 경우, 試料臺上에  $x$  축을  $Y$  축과 일치시키면  $m_x$  가,  $y$  축을  $Y$  축과 일치시키면  $m_y$  가,  $z$  축을  $Y$  축과 일치시키면  $m_z$  가 구해진다. 실제로는, 回轉式의 試料臺에  $Y$  축 方向을  $0^\circ$  로 하여  $360^\circ$  까지 눈금이 있어, 멀리서 조작하여  $90^\circ$  씩, 試料의 位置를 變化시켜 反射光의 편기를 測定한다. 또한, 試料模樣의 異方性(異方性)이나 試料內 磁性鑛物의 分布의 異方性등을 고려하여, 표 1 과 같은 記錄用紙에 따라 24번의 測定을 한다.

먼저, Fig. 12(a)와 같이 試料를 回轉臺 위에 올려 놓는다.  $0^\circ$  의 位置에서 反射光의 편기  $a_0$  를 읽는다. 시계 方向으로  $90^\circ$  回轉시켜 편기  $a_1$  을 읽는다. 다시, 시계 方向으로 돌려서  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  의 位置에서 편기  $a_2, a_3$  를 읽는다. 이상의 읽은 값을 記錄用紙의  $(xy)$ , upright 의 란에 記錄한다.  $0^\circ$  의 位置에 되돌아온 試料를 뒤집어서 Fig. 3 (b)와 같이 놓는다. 이번에는 반시계 方向으로  $90^\circ$  씩 回轉시켜서 편기  $\bar{a}_0, \bar{a}_1 \dots$  를 읽어, 記錄用紙  $(xy)$ , inverted 의 란에 記錄한다. 이와같은 方法으로  $(yz)$ ,  $(zx)$  란을 實驗後 記錄, 計算한다.

6. 古地球磁氣學 연습

일반적으로, 地球磁場의 方向은 偏角( $D$ )과 伏角( $I$ )을 사용하여 表示한다. 오른손 座標系  $X, Y, Z$  를 Fig. 13과 같이 택할 때, 角球  $D$  와 伏角  $I$  는, 地偏磁氣場의 成分을  $(X, Y, Z)$  라고 할 때,

$$\tan D = \frac{Y}{X}, \sin I = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \dots\dots\dots(1)$$

라는 식으로부터 유도하며,  $D$  는 북( $X$ )으로부터 동( $Y$ )의 方向을  $+$ 로 한다.

岩石試料: 岩石試料에 붙여진 오른손 座標系를  $x-y-z$  라 할 때, 殘留磁氣의  $x, y, z$  成分을

測定하여 이것을 座標變換에 의하여  $X-Y-Z$  座標系로 고치는 것이 필요하다.

core 에 붙여진 座標系는, 오른손 座標系인데, 圓筒의 軸 方向이  $z$  축, 走向方向이  $x$  축이다.  $x$  축의 北( $X$ )으로 부터의 角度를 azimuth 라하며,  $A$  로 表示하여 북으로부터 오른쪽으로 回轉하면서 測定한다.  $Z$ (下)로 부터  $z$  까지 角度를 plunge 라하며  $P$  로 表示한다.

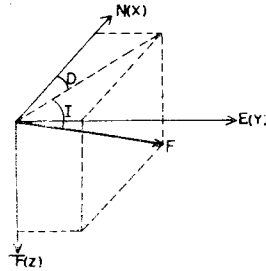


Fig. 13 The inclination and declination of the Earth's magnetic field

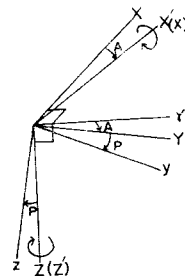


Fig. 14 The rotation of the axis of coordinates

座標變換: 試料에 붙여진 座標系  $x-y-z$  는, 座標系  $X-Y-Z$  을 回轉하여 얻어질 수 있다 (Fig. 4). 우선  $Z$  축 주위에,  $+Z$  축으로부터 보아 왼쪽으로 回轉한다. 그 座標系를  $X'-Y'-Z'$  라 하고, 다음에  $X'$  축 주위에  $+X'$  축으로부터 보아 왼쪽으로  $P^\circ$  만큼 回轉하여,  $x-y-z$  座標系로 된다.

따라서, 殘留磁化 vector 를  $X-Y-Z$  座標系에 나타낸 것을  $\vec{a}$ , 岩石試料의 座標系  $x-y-z$  에 나타낸 것을  $a$  라 하면

$$\vec{a} = Ua \dots\dots\dots(2)$$

라는 관계가 있다. 단  $U$ 는 아래의 行列이다.

$$U = \begin{pmatrix} \cos A & -\cos P \sin A & \sin P \sin A \\ \sin A & \cos P \cos A & -\sin P \cos A \\ 0 & \sin P & \cos P \end{pmatrix}$$

따라서,  $x-y-z$  座標系로 測定한 殘留磁化 vector 도, 計算에 의해 간단히  $X-Y-Z$  座標系로 表示할 수 있다.

**Schmidt net**을 사용한 座標變換: 自然殘留磁化의 方向을 平面에 投影하는 데에는 Schmidt 等面積投影을 사용한다. 이것은 구면상의 면적이 평면상의 면적과 같아지도록 投影한 것인데, 이 投影法으로는, 구면상의 점의 分布狀態를 그다지 바뀐이 없이 평면에 表示할 수 있다. 그림 15는, 極을 中心으로 赤道面에 投影한 Schmidt net 이다. 緯線은 極을 中心으로 하는 同心圓 모양으로, 經線은 放射狀의 직선이다. 그림 16은, 兩極을 지나는 大圓으로 切른 면위에 投影한 Schmidt net 인데, 函極이 直徑의 양 끝에 온다.

地球磁氣場의 方向은 偏角( $D$ )과 伏角( $I$ )을 사용하여 그림 17과 같이 極을 中心으로하는 Schmidt net 상에 plot 한다.

岩石試料의 座標系  $x-y-z$ 로 測定한 殘留磁化 vector 에 대해서도 式(1)과 마찬가지로  $x-y-z$ 系로 偏角과 伏角( $\bar{D}, \bar{I}$ )이 正義되고, 마찬가지로 해서 그림 18과 같이 Schmidt net 에 plot 할 수 있고, core의 方向을 表示하는 量인  $P, A$ 를 사용하여 座標變換을 하여, 과거의 地球磁氣場의 方向은 求해질 수 있다. 그래서,  $X-Y-Z$  座標系로의 ( $D, I$ )를 작도에 의하여 구하는 方法이 있는바, 결국 式(2)의 變換을 작도로 하면 쉽게 구할 수 있다. 우선,  $x-y-z$  座標系에 의한 ( $\bar{D}, \bar{I}$ )의 方向을, 極中心의 Schmidt net 상에 tracing paper 를 포개어 plot 한다(Fig. 18의 점  $Q$ ). 그 다음 Fig. 19의 요령으로, Schmidt net 의 두 極을 이어 直徑 위에  $x$  方向이 일치하도록 tracing paper 를 포개어, 소원을 따라 각도  $P^\circ$ 만큼,  $x$  축으로부터 보아 왼쪽으로 돌아 점을 이동시켜  $Q'$ 라 한다. 마지막으로,  $Z$  축 둘레에 tracing paper 를 각도  $A^\circ$ 만큼 돌려서, 새로  $X, Y$ 를 複寫한다(Fig. 20).

여기서,  $X, Y$ 는 각각 북쪽과 동쪽 方向을 나타내는 데, 極中心의 Schmidt net 에 포개어 보

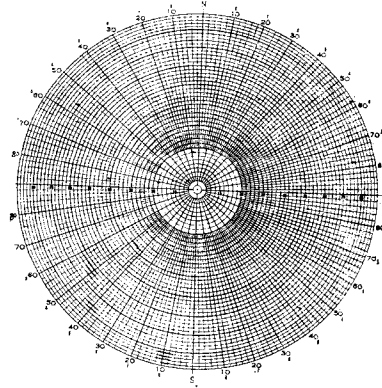


Fig. 15 Schmidt net (pole center)

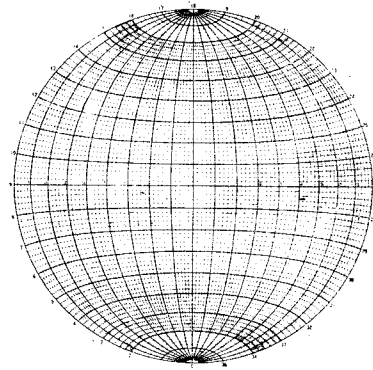


Fig. 16 Schmidt net

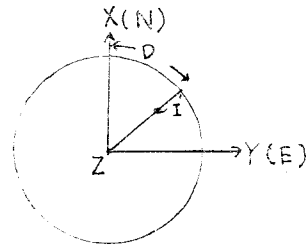


Fig. 17 The Reflection of th Earth's magnetic field direction

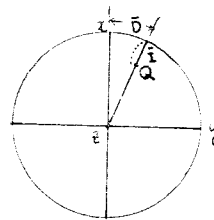


Fig. 18 Reflection of residual magnetization vector onto the  $x-y-z$  system



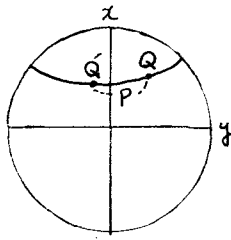


Fig. 19 Coordinate transformation by drawing

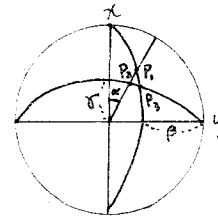


Fig. 22 Indication method by drawing the residual magnetization direction

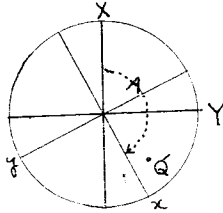


Fig. 20 The Coordinate transformation by drawing

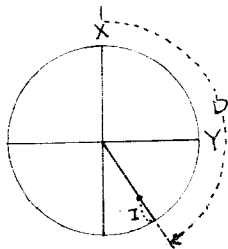


Fig. 21 Direction of the Earth's magnetic field in the past by drawing method

아  $D$ 와  $I$ 를 알수 있다(Fig. 21).

**Astatic Magnetometer** 로 測定한 殘留磁化 方向의 表示法 : Astatic Magnetometer 로 岩石試料의 殘留磁化를 測定하면, 磁化의 세기  $m$  이의 예,

$$\alpha = \tan^{-1}(my/mz), \beta = \tan^{-1}(mz/my), \gamma = \tan^{-1} mx/mz$$

의 3 가지 角度가 求解진다. 이 3 가지의 角度로부터, 殘留磁化의 方向을 表示하여  $D$ 와  $I$ 를 작도도 구하는 法은 다음과 같다.

角度  $\alpha$ 는 偏角과 같은 것인데, tracing paper 를 사용하여 偏角  $\alpha$ 를 表示하는 직선을 긋고 Fig. 22과 같이, Schmidt net 상에 두극을 연결하는 直径을  $x$  축과 일치시켜, 水平으로부터  $\beta$ 각을 이루는 大圓을 그리고, 직선과의 交점을  $P_1$ 이라한다. 다시, Schmidt net 상에 두극을 연결

하는 직선을  $y$  축과 일치시켜, 鉛直으로부터 角度  $\gamma$ 를 이루는 大圓을 그리, 직선과의 交점을  $P_2$ , 또 다른 한개의 大圓과의 交점을  $P_3$ 라 한다. 三角形  $P_1P_2P_3$ 의 中心이 殘留磁化의 方向을 表示한다.

3점  $P_1, P_2, P_3$ 는 한점에서 이상적으로는 만나야 할 것인데, 三角形의 면적이 클수록, Astatic Magnetometer 에 의한 測定誤差가 크게 된다. 복사한 tracing paper 를 極中心의 Schmidt net 위에 포개면, 伏角이 求解진다.

### 7. 延世大, 地質學科에 설치된 astatic magnetometer

延世大 地質學科에 설치된 Astatic Magnetometer 는 low-sensitivity magnetometer 로 대부분의 火成岩의 自然 殘留磁氣를 測定하기에 적합하다. Fig. 23에 光源, 도르래, 및 자가 책상위에 부착되어 있고, Fig. 24에는 magnetic system, 試料 回轉臺 및 magnetic system 지지대가 있다. 측정자가 책상위의 光源裝置로 거울에 빛을 보내면, 反射된 빛이 다시 책상 위의 자(scale)로 와서 상을 맺으므로 試料의 磁化 정도에 따른 magnetic system 의 回轉量을 읽을 수 있다. 試料와 磁石 사이의 거리는 조절할수 있도록 되어 있으므로, 岩石의 磁化의 세기에 따라 거리를 조절하여, 적절한 빛의 편기량을 읽을 수 있게 되어있다. 磁石을 반평행(antiparallel)하게 부착하기 위해서, 가는 알루미늄막대를 이용하였고, Al 막대 상하에 magnet holder 를 만들어 나사로 磁石을 반평하게 되도록 조절할수있게 하였다.

magnetic system 을 매단 실은 延世大學校 초 자실에서 수소불꽃을 이용하여 石英막대로부터

뽑은 石英실을 이용하였다. magnetic system 과 石英실은 아크릴(acryl)관 속에 들어가 있으며, 이 관은 아크릴판에 의해서 지지되고 있는데, 이를 수직으로 유지하기 위해서 3개의 수평조절 나사가 아크릴판에 붙어 있다. magnetic system 을 매달린 실로 부터 분리 혹은 걸기 쉽도록 하기 위해서, 아크릴 圓筒은 굵은것(上部)과 가는것(下部)의 두 부분으로 나뉘어져 있고, 上部와 下部를 나사로 연결하도록 만들었다. 따라서, 制動裝置를 될수 있는한 아래 磁石에 가깝게 접근 시키기 편리하다. 岩石試料를 1인치의 圓筒形으로 만들어 사용하도록 岩石홀더(rock-holder)를 아크릴로 製作하였다. 試料의 回轉은 z 축돌레로만 가능한데, 回轉臺의 도르래와 책상에 있는 도르래가 벨트로 연결되어 책상에 앉

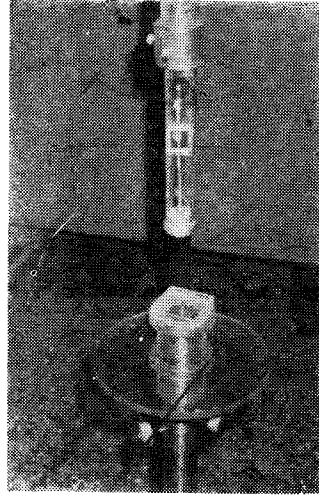


Fig. 25 Mirror, window and its rotation stand of sample

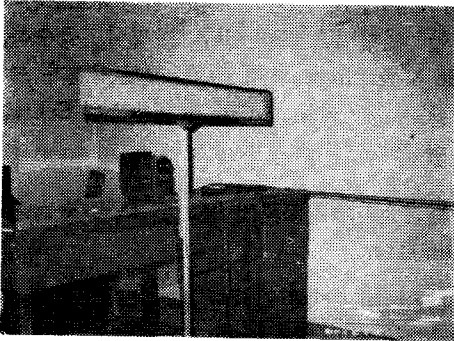


Fig. 23 Source of light, ruler and pulley

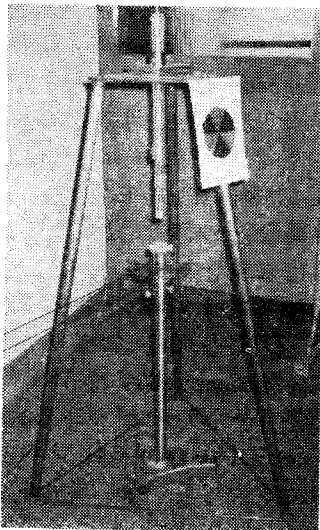


Fig. 24 Magnetic system and its rotation stand of sample

표 2. 延世大地質學科에 設置된 astatic magnetometer 의 諸元

磁石	2×0.4×0.4cm
磁石의 magnetic moment	169.2 Gauss·cm <sup>3</sup>
磁石간 거리	13cm
매달린실	석영실
週期	16초
astaticism	~200

아서 試料의 回轉이 가능하도록 하였다.

자는 얇고 투명한 아크릴위에 그래프用紙를 붙여 만들었다. 光源裝置는 렌즈를 조립하여 만들수도 있으나, 여기서는 환등기를 이용하였다. magnetic system 에 부착된 거울은 直徑약 8mm 의 평면 거울을 사용하였고, 거울앞에 얇은 아크릴판으로 창을 만들었다(Fig. 25). 이와같이 製作된 Astatic Magnetometer 의 諸元은 표 2와 같다.

消磁장치, 例를들면 交流消磁(AF magnetic cleaning) 및 熱消磁(thermal cleaning)을 爲한 機器는 現在 製作準備中에 있으며 이에 對한 報告는 다음 機會에 하기로 한다.

謝辭

無定位磁力計, 消磁장치의 제작법 및 古地磁氣學研究를 위하여, 어렵고도 바쁜 일정 가운데

서도 日本 여러大學과 접촉하시고, 그 結果, 고베(神戶)大學 海洋學校室로 보내주시고, 歸國後에도, 無定位磁力計의 製作을 위해 도와주신

이 대성 선생님께 감사드립니다. 아울러 經濟的으로 어려운 가운데서도 物心兩面으로 協助해 주신 延世大學校 地質學科에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Nagata, T. (1961) Rock magnetism. Maruyen Co., Ltd., Tokyo.  
 Collinson, D.W., Creer, K.M., and Runcorn, S.K. (1967) Method in Palaeomagnetism. Elsevier Pub. Co., Amsterdam

乘富一雄 (昭和45年 2月) 岩石의 磁氣測定. 物理探鑛, 第23卷 第一號, pp. 54~62.  
 力武常次, 山崎良雄, 田中秀文 (1978) 地球物理學(學會誌刊行センタ, 東京)