

古磁氣學의 方法 (I)*

金 仁 洙**

Methods in Palaeomagnetism (I)

In-Soo Kim

Abstract : For the discussion of palaeogeomagnetic field direction and the movement and rotation of geotectonic blocks it is prerequisite to eliminate the secondary remanent magnetization component out of the NRM vector of given rock samples. Among various techniques alternating field and thermal demagnetization methods are most easily applicable and most widely used ones.

Physical principle underlying these methods is the concept of relaxation time: Either with an action of external magnetic field or with an elevated temperature relaxation time of magnetic minerals can be drastically shortened. It has been furthermore shown experimentally that the secondary remanent magnetization can be more easily demagnetized than the primary remanent magnetization. Through careful stepwise demagnetization it should also be possible to discriminate the kind of various remanent magnetizations. In addition to the introduction to the underlying physical principles and experimental results of the alternating field and thermal demagnetization this paper gives various practical tips in carrying out the demagnetization experiments. Each alternating field and thermal demagnetization instrumentation which is easily adaptable to domestic palaeomagnetic laboratories is also introduced.

This paper provides a compact and practical introduction to the methods in palaeomagnetism and would be of interest to present workers and to those who want to embark on research in this field.

서 언

古磁氣學(palaeomagnetism, paleomagnetism)의 일차적인 목표는 연령을 알고 있는 암석이 생성될 당시의 地球磁場의 방향을 알아내는 데에 있다. 이러한 목적을 가지고 야외에서 岩石試料를 채취하였을 때 거기에 포함되어 있는 殘留磁氣를 NRM (natural remanent magnetization, 自然殘留磁氣)이라고 한다. 대부분의 경우 이 NRM은 TRM(thermoremanent magnetization, 熱殘留磁氣), DRM(depositional or detrital remanent magnetization, 堆積殘留磁氣), IRM(isothermal remanent magnetization, 強磁場殘留磁氣), VRM(viscous remanent magnetization, 漸性殘留磁氣), PRM(piezoremanent magnetization, 壓殘留磁氣) 등의 여러 방향의 磁化벡터로 구성되어 있다. 이들 중 TRM, CRM과 DRM을 제외한 나머지는 그 암석이 생성되고 나서 훨씬 후에 추가된 이차적인 磁化成分이다. 따라서 오

직 NRM 방향의 측정으로부터 古地球磁氣場의 방향을 논한다는 것은 남득될 수 없는 일이다. 그러므로 우리는 이차적으로 겹쳐진 잔류자기를 제거하여야 할 필요가 있는데 이를 磁氣洗滌(magnetic cleaning, partial demagnetization)이라고 부르기로 하자. 이를 위하여서는 交流磁氣洗滌法(AF demagnetization), 熱磁氣洗滌法(thermal demagnetization), 化學磁氣洗滌法(chemical demagnetization), 低溫磁氣洗滌法(low temperature demagnetization) 및 高壓磁氣洗滌法(high pressure demagnetization) 등의 방법을 쓰게 되는데 다행히도 우리가 원하는 일차적인 잔류자기(화성암에서는 TRM, 퇴적암에서는 DRM, 변성암에서는 CRM)는 이 자기세척에 대한 저항성이 강한 반면 이차적인 잔류자기들은 저항성이 약하여 비교적 약한 처리로써도 제거될 수 있다(제 3절 참조). 이렇게 세척후까지도 남아 있는 磁氣成分은 저항성이 강하여 10⁹년의 단위에 이르는 오랜 지질학적 시간이 흐르는 동안에도 방향이 불변으로 유지되어 있는 것으로써 우리가 원하는 성분이다. 이를 古磁氣學에서는 ChRM(characteristic remanent magnetization, 特性殘留磁氣)이라고 부르며 이의 추출이

*본 논문은 1982년도 한국과학재단의 연구지원에 의하여 작성되었음

**釜山大學校 地質學科

야말로 고자기학적 논의의 출발점이 되는 것이다.

한편 근년에 와서 Irving(1964)을 필두로 여러가지 고자기학의 교과서나 기술상의 방법에 대한 서적들이 잇달아 발간되고 또한 국제학술지에도 이에 관련된 논문의 양이 증가되고 있지만 가장 근본적인 두가지 사항 즉 자기세척법의 원리와 세척강도의 선택에 대한 방법을 직접적으로 명료하게 논의한 문헌을 발견할 수가 없다. 이러한 사정은 이 방면의 연구를 피하거나 관심을 갖는 국내학자들로 하여금 불편을 느끼게 하고 때에 따라서는 오해를 갖도록 할 우려가 있다. 본 논문에서는 국내의 실정에 맞고 또한 가장 효과적이며 널리 쓰이는 자기 세척법인 교류자기세척법과 열자기세척법의 원리를 설명하고 이를 위한 自作可能의 기구를 소개하기로 하겠다. 세척강도의 결정법에 관해서는 같은 題下의 논문 (II)에서 논의하기로 한다.

자기세척법의 원리와 방법

교류자기세척법과 열자기세척법의 이론적 근거는 弛緩時間(relaxation time)으로써 설명된다. 이완시간(τ)이란 원래의 磁氣強度(J_0)가 무질서한 熱的교란작용(statistical thermal agitation)에 의하여 저절로 $1/e$ 로 줄어드는 시간(t)이다. 이를 식으로 표현하면 $J(t) = J_0 \exp(-t/\tau)$ 이다. 岩石磁氣學의 기초를 세운 Néel(1949)의 연구결과에 의하면 이 이완시간은 外部磁場이 없는 경우($H_e=0$) 單磁區(single domain, SD)의 磁化粒子에서 $\tau = f^{-1} \exp(VJ_s H_c / 2kT)$ 로 기술될 수 있다. 여기서 f 는 frequency factor(통상 10^{10} sec^{-1}), V 는 SD의 부피, J_s 는 自發磁氣(spontaneous magnetization), H_c 는 抗磁力(coersive force), k 는 Boltzmann 상수($1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/grad}$)이며 T 는 절대온도이다. 교류와 열자기세척법은 적당한 방법으로 이 이완시간을 아주 짧게 만들어 NRM에 포함되어 있는 저항성이 약한 이차적인 자화벡터를 단시간내에 제거하기 위한 수단이다. 이때 ChRM은 저항성, 다시 말해서 이완시간이 훨씬 길기때문에 비교적 영향을 받지 않고 살아 남게 된다. 아래에서 다시 설명하게 되겠지만 교류세척법의 경우에는 외부자장(H_e)을 작용시킴으로써, 열세척법의 경우에는 온도(T)를 높임으로써 이 이완시간을 짧게 만드는 것이다.

교류자기세척법

Néel(1955)에 의하면 외부자장(H_e)의 존재하에서는 이완시간이 다음 식과 같이 표현된다고 한다. 즉,

$$\tau = f^{-1} (1 - H_e/H_c)^{-1} \cdot (1 - H_e^2/H_c^2)^{-1/2} \cdot \exp\left(\frac{VJ_c}{H_c/2kT} \cdot (1 - H_e/H_c)^2\right)$$

이 식으로부터 우리는 외부자장의 작용으로 이완시간이 짧아지게 된다는 사실을 알 수 있다. 교류세척법은 미리 정한 교류외부자장(H_e)의 강도를 암석시료에 작용시키고 그 크기를 서서히 감소시키면서 암석시료내의 NRM의 일부를 무질서하게 (statistically) 분산시킴으로써 외부에서 볼 때 磁化벡터들의 총화가 零이 되도록 피하는 방법이다. 이 때에 "세척"되는 NRM은 항자력이 작은 성분, 즉 이완시간이 짧은 磁氣成分이다. 항자력의 크기는 잔류자기의 종류에 따라 다르기도 하지만 또한 磁性礦物의 종류, 화학조성, 비등방성 등의 결정학적인 특징, 결정내부구조에서의 스트레스 유무 등에 의해서도 달라진다. 이러한 연유에서 하나의 암석시료는 넓은 범위의 항자력스펙트럼을 띠게 된다. 이러한 암석시료에 대해서 교류세척을 실시하면 외부자장에 대한 항자력이 작은 자성광물의 입자(혹은 磁區, domain)들의 磁化벡터는 원래의 방향으로부터 풀려져나와 교류되고 있는 외부자장방향을 따르며 움직이게 된다. 그러나 이들은 외부자장의 강도가 서서히 감소됨에 따라 항자력이 큰 것을 선두로 차례로 외부자장으로부터 해방되어 결정학적 에너지조건이 유리한(즉 minimum energy) 自發磁氣(spontaneous magnetization)의 방향으로 굳어지게 된다. 이렇게 하여 외부자장에 대한 항자력이 작은 NRM 구성성분들은 모두 무질서하게 분산되게 되는 것이다.

그러나 기술적으로 이들의 완전분산을 위해서는 외부자장의 감소율을 일정하게 유지시켜야 하며 시료에 작용되는 외부자장이 어느 한 쪽으로도 치우침이 없이 모든 방향에서 고르게 작용되도록 함이 매우 중요하

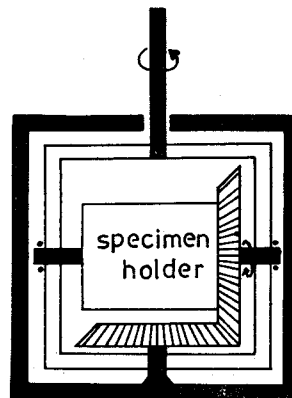


Fig. 1 Example of specimen holder design for two-axis tumbling. Horizontal toothed wheel is stationary while vertical one rotates about the horizontal axis.

다. 前者는 전기적인 기구설비의 문제이고 後者를 위해서는 작용하는 외부자장방향에 수직이며 또한 서로 직교되는 두 축을 중심으로하여 시료가 회전되도록(= tumbling) 설비하여야 한다. 또 한가지 교류세척시 유의하여야 할 사항은 작용하는 교류의부자장에 직류성분이 섞여들지 않도록 해야한다는 것이다. 그 이유는 직류성분이 존재하는 경우 “세척”되는 성분들이 외부자장으로부터 해방되는 순간 무질서하게 흩어지지 않고 이 직류성분방향으로 정렬되기 때문이다. 이러한 정렬로 말미암아 생성된 잔류자기를 ARM(anhyseretic remanent magnetization, 非履歷殘留磁氣)이라고 한다 (Patton & Fitch 1962). 일차적으로는 지구자장이 바로 이러한 직류성분의 역할을 하게 되므로 교류세척시 세쌍의 Helmholtz coil을 써서 시료부근의 지구자장을 상쇄시켜야 하며 이차적으로는 교류전원내에 포함된 짝수 高調波成分(even harmonics components)이 직류성분을 초래케하므로 이를 필터시켜야 한다.

앞서 말한 항자력스펙트럼을 완전히 파악하기 위해서는 단계적으로 외부자장최고치를 높여가면서 교류세척을 반복 실시한다. 이 때 각 단계의 세척후에 잔존되어 있는 磁化成分의 방향과 크기를 측정함은 물론이다. 외부자장최고치의 선택은 통상 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 350, 500, 700, 900, 1200, 1500, 2000 Oe의 순서로 하지만 앞 단계의 세척결과에 따라 적당히 변경할 수도 있다. 이와같이 단계적으로 상승되는 세척에도 불구하고 일정한 방향을 유지하며 남아있는 磁化成分은 오랜 지질학적 시간동안 불변으로 유지된 높은 항자력의 ChRM이라고 볼 수 있다.

열자기 세척법

열자기세척법의 이론적 근거는 제 2절의 이완시간의 식에서 알 수 있는 바와 같이 주위온도(T)를 상승시킴으로써 암석시료내 자성광물의 이완시간(τ)을 짧게 할 수 있다는 데에 있다.

이 식에서 절대온도 T는 exp 항 분모에 들어있기 때문에 미소한 T의 상승이라 할지라도 급속한 이완시간 τ 의 감소를 초래하게 된다. 이렇게 이완시간이 수 초 내지 수백 초로 짧아지는 온도를 閉塞溫度(blocking temperature)라고 하며 교류세척의 항자력에서와 유사하게 자성광물 결정의 형태, 입자크기, 非等方常數(anisotropy constant), 磁氣變形常數(magnetostriction constant) 등에 의해서 좌우된다. 이같은 연유로 교류세척의 경우와 같이 하나의 암석시료는 넓은 범위의 폐색온도스펙트럼을 가지게 된다.

열자기세척을 실시하는 과정은 교류자기세척의 경우

에서와 마찬가지로이다. 다시 말해서 시료를 미리 정한 온도까지 가열한 후 He=O이 되는 조건하에서 상온까지 냉각시키고 잔존된 자화성분을 측정하는 식으로 단계적으로 세척온도를 높여가면서 실험을 계속한다. 이 때 폐색온도가 세척온도이하인 자성광물입자들은 가열로 인하여 자성을 잃게 되고 폐색온도이하로 냉각되더라도 He=O이기 때문에 각 입자들의 자화방향은 결정 에너지학적으로 유리한 방향을 찾아서 무질서하게 분산되게 된다. 이와같이 세척온도를 단계적으로 높여감으로써 최종적으로 폐색온도가 높은, 즉 이완시간이 매우 긴 자화벡터를 추출해내면 이것이 곧 ChRM이다. 세척온도의 선택은 통상 100°C에서부터 시작하여 50°C 간격으로 700°C까지 실시함이 보통이나 앞 단계의 세척결과에 따라 그 폭을 조절할 수 있다. 최고단계의 가열온도는 높아지는 열세척의 강도에도 불구하고 측정가능한 잔류자기가 얼마만큼 잔존되어 있느냐에 의하여 자동적으로 결정된다.

세척실시상의 기술적인 문제로서 가열시에는 급속한 온도상승을 피하여 시료내부의 온도가 전반적으로 균일한 분포를 이룩할 수 있는 충분한 시간적인 여유를 주어야 한다. 특히 목적하는 온도에 도달하면 최소 약 15분이상 이 온도를 유지시켜서 시료내의 균일한 온도 분포를 도모한다. 제 4절에 소개하는 세척장치에 의한 필자의 경험으로는 한시간 내지 한시간 반정도의 가열시간이 적당하다. 냉각시에는 He=O을 유지시키면서 비교적 빠른 속도로 온도를 하강시킨다. 이는 고온에서 자성광물이 산화작용이나 용리작용과 같은 광물학적인 변화를 일으킬 가능성을 최대한 피하기 위함이다. 시료의 이같은 광물학적 변화여부는 각 단계의 가열작업후에 초기자화율이나 Curie 온도를 측정함으로써 점검이 가능하다(Kim 1981). 그러나 공기펌프를 이용하여 냉각시키는 경우에도 암석시료의 낮은 열전도도로 인하여 두시간 이상에 이르는 장시간의 냉각시간이 소요되므로 그간의 지구자장의 변화를 고려하여 He=O 여부를 자주 점검하여야 한다. 특히 고온에서는 자성광물의 대자율이 높아져서 地磁場에 의한 PTRM이 생성될 우려가 있기때문에 각별한 주의를 요한다. 또한 지구자장의 수직성분은 변화가 심하기 때문에 이에 대한 보정을 완전무결하게 실시하기가 용이하지 않다. 하나의 요령으로써 다음 단계의 가열시에는 시료의 상하가 뒤집히도록 넣는 것이 앞 단계에서 생성된 PTRM을 제거하는 한 방법이다. 열세척시에는 보통 여러개의 시료를 한꺼번에 처리하나 세척후 자화방향을 측정할 때는 하나씩 순서대로 처리할 수 밖에 없으므로 다른 시료들은 외부자장이 차단된 장소에 대기시키도록 하

고 가능한 한 속히 측정을 실시하는 것이 VRM을 피하는 길이다.

열세척법의 장점은 한꺼번에 많은 시료를 처리할 수 있다는 것 외에 높은 항자력의(2000 Oe 이상) 적철석을 함유하고 있는 시료도 처리할 수 있다는 데에 있다. 이는 發熱등의 기술적인 문제로 인하여 2000 Oe 이상의 항자력을 가진 시료를 처리할 수 있는 교류세척장치를 제작하기에는 어려움이 많기 때문이다. 그러나 이에 반하여 고온으로 인한 광물학적 변화의 가능성과 장시간의 세척시간이 요구된다는 것이 열세척의 단점이 되겠다.

각종 잔류자기의 세척에 대한 저항성

앞서 제 1 절에서는 TRM, CRM 및 DRM과 같은 일차적인 잔류자기는 자기세척에 대한 저항성이 강하여 ChRM이 될 수 있는 반면 IRM, VRM 및 PRM과 같은 이차적인 잔류자기는 저항성이 약하여 쉽사리 제거될 수 있음을 언급하였다. 아래에서는 이를 뒷받침하는 실험적인 근거를 제시한다.

교류자기세척에 대한 각종 잔류자기의 저항성

Kobayashi (1959)는 일찌기 각종 잔류자기의 교류세척에 대한 저항성스펙트럼을 실험적으로 고찰한 바 있다. 그는 이 실험에서 10 Oe 이하의 약한 자장을 이용하여 TRM과 CRM을 띠는 시료를 제작하는 한편 이보다 강한 300 Oe의 자장을 이용하여 IRM을 띠는 시료를 제작하여 단계적인 교류자기세척을 실시하였다. Fig. 2는 이 실험의 결과로써 TRM과 CRM은 공히 최소한 200 Oe 이상의 외부자장을 가하여야만이 세척작용의 영향을 받기 시작하며 300 Oe 이상에서 비로소 상당부분이 세척되어지는 반면, IRM은 수십 Oe의 약한 외부자장으로도 쉽사리 또한 급속도로 자화도가 감소되고 100 Oe 이내의 세척으로도 완전히 제거될 수 있음을 보여주고 있다. McElhinny (1973) 역시 100 Oe의 자장에서 생성된 IRM은 같은 단위인 100 Oe 정도의 교류자장으로 제거될 수 있는 반면 지구자장강도에 해당하는 0.5 Oe에 의하여 생성된 IRM은 같은 100 Oe 정도의 교류자장에 대해서는 오직 미소한 영향을 받을 뿐이며 부분적으로 500 Oe의 교류자장에 대해서도 완전히 세척되지 않고 남을 수 있다고 설명하였다.

VRM의 교류세척에 대한 안정성은 일차적으로는(in first approximation) 이를 생성시킨 자장이 일단동안 작용하였는지의 이력에 따라 對數(log)의으로 강하여진다. 그러나 항자력의 견지에서 본다면 VRM은 TRM과 IRM의 중간위치를 차지한다. 이는 다시말해서 VRM

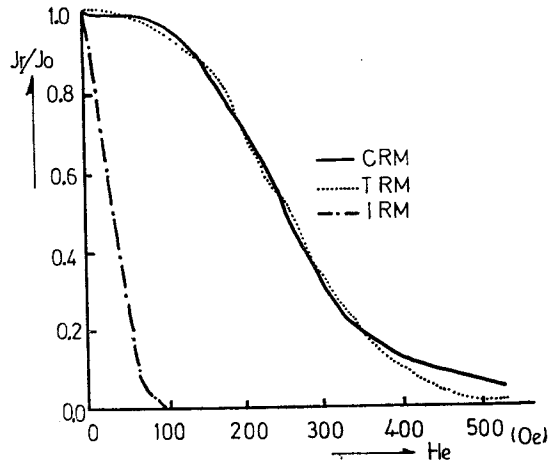


Fig. 2 Demagnetization curves of remanent magnetization of magnetite by alternating field method (redrawn from Kobayashi 1959).

TRM and CRM are harder than IRM. The latter can be effectively demagnetized with an external field of under 100 Oe.

의 제거를 위하여서는 그가 생성될 당시보다 더 강한 외부자장이 필요함을 뜻한다. 고자기학에 사용되는 암석시료에 대한 구체적인 값으로써 Brynjolfsson(1957)은 수백 Oe, Tarling(1971)은 대략 100 Oe 정도의 교류세척강도가 요구된다고 하였다.

이상으로부터 우리는 고자기학에서 필요로 하는 ChRM을 띠는 잔류자기의 종류로서는 TRM과 CRM이 될 수 있는 반면 IRM과 VRM은 항자력, 다시말해서 이완시간이 짧은 불안정한 성분이라는 것을 알 수 있다. 또한 교류세척에 대한 저항성스펙트럼을 용이주도하게 추출해냄으로써 그 암석시료가 띠고 있는 잔류자기의 종류를 판별해낼 수 있다. 한가지 부연하자면 근래 Biquand & Prevot(1971)는 교류세척에 강한 저항성을 보이는 VRM이 가능하다는 실험결과를 얻은 바 있다. 그러나 이러한 VRM의 존재가 의심되는 경우에는 열자기세척법을 이용하여 쉽사리 제거시킬 수 있다.

한편 PRM에 대해서는 암석 및 고자기학에서의 중요성이 극히 미미한 것으로 알려져 있었기에 아직은 널리 받아들여지고 있는 실험결과가 부재인 상태이다. 그러나 최근 달암석시료에 대한 관심과 연구가 활발해지고 있는 추세에 힘입어 금명간 유용한 데이터가 나올 것으로 기대된다. DRM은 잔류자기생성의 근원적인 메카니즘으로 보아 TRM이나 CRM이므로 근본적으로 이들과 같이 교류세척에 대한 높은 저항성을 보인다.

열자기세척에 대한 각종 잔류자기의 저항성

교류자기세척의 경우에서와 마찬가지로 열자기세척에 대해서도 각종 잔류자기들은 서로 다른 저항성을 보인다. 즉 TRM과 CRM은 열자기세척에 대해서 가장 강한 저항성을 보이나, 현재의 地磁場에서 생성된 VRM, 100 Oe 이하 정도의 약한 자기장으로부터 생성된 IRM 및 PRM은 쉽사리 세척될 수 있다(Angenheister & Soffel 1972). 한편 앞서 언급한 바와 같이 VRM의 저항성은 외부자장의 작용시간에 따라 증대되나 수백 만년 이내의 기간에 형성된 VRM은 약 100°C의 열세척 온도이면 제거가 가능하다(Tarling 1971). 그러나 열자기세척실험으로부터 TRM과 CRM을 서로 구별하기는 어렵다. 이들의 구별은 교류자기세척실험으로도

불가능하므로 오직 광석현미경적 연구에 의존하는 수밖에 없다(Kim 1981). 이밖에 Thellier(1966)는 Rimbert, Rouquet 등 프랑스과학자들의 연구결과에 의거하여 100 Oe 이상의 강자장으로 인하여 생성된 IRM은 열자기세척시 TRM만큼이나 강한 저항성을 보인다고 지적하였다(Fig. 3). 따라서 만약에 이같이 강자장에 의한 IRM이 존재하는 것으로 의심되는 경우에는 우선 이를 교류자기세척으로 제거하는 것이 필요하다. 이같은 IRM을 제외한 다른 잔류자기들은 서로 상이한 항자력스펙트럼을 보이므로 이로부터 잔류자기의 종류를 구별해낼 수 있다.

세척장치의 예

여러가지 세척장치 및 부착기에 대한 자세한 기재는 Collinson 등(1967)과 Collinson(1975) 또는 다시 거기에 소개된 문헌들에서 찾아볼 수 있으므로 여기서는 오직 필자가 효과적으로 사용한 바 있는 장치를 소개하는 것으로 지면을 제한하기로 한다. 이 장치들은 비교적 저렴한 비용으로 국내에서도 제작이 가능할 것으로 보인다. 아마도 어려움이 있다면 제작후에 이 장치들의 성능을 확인하고 체크할 근본적인 전자기구들이 다시 필요하다는 점일 것이다.

교류자기세척장치

교류자기세척을 위한 외부자장은 긴 筒形線輪(solenoid)로부터 생산해낸다. 이 통형선륜은 중심부에서 균일한 외부자장을 생성해낼 수 있도록 충분히 길어야 하며 시료가 삽입될 충분한 공간이 있어야 한다. 필자가 사용하였던 통형선륜의 규격은 다음과 같다. 길이 30.3 cm, 내경 11.6cm, 외경 18.6cm, 절연 coil의 직경 1.7 mm, 저항 14.8 Ω, 自己유도계수(inductance) 0.85henry, 단위 길이당 coil의 감긴 수 112회, coil 층수 24층, coil 상수 149 Oe/A. 50 Hz의 교류를 사용하여 이로부터 통형선륜의 중심에 최고 2200 Oe의 자장을 형성시킬 수 있다. 세척시 교류자장의 세기는 전원을 회전식 변압기를 통과시킴으로써 조정된다. 즉 이 변압기는繼電器(relay)를 통하여 motor와 연결되어 있어서 일정한 시간이 흐른 후 전력공급이 끊기는 반면 거꾸로 회전하는 다른 motor가 작동되어 전류가 서서히 영으로 감소되어 나가도록 장치하였다.

지구자장의 상쇄는 직교하는 사각형식 Helmholtz coil 세쌍으로써 이룩된다. coil의 한 변 길이는 약 110cm이며 사용전원은 7 Volt/0.4A이다. ARM을 피하며 또한 효과적인 교류세척을 위하여 시료의 모든 방향으로 골고루 외부자장이 작용되도록 시료를 서로 직교하

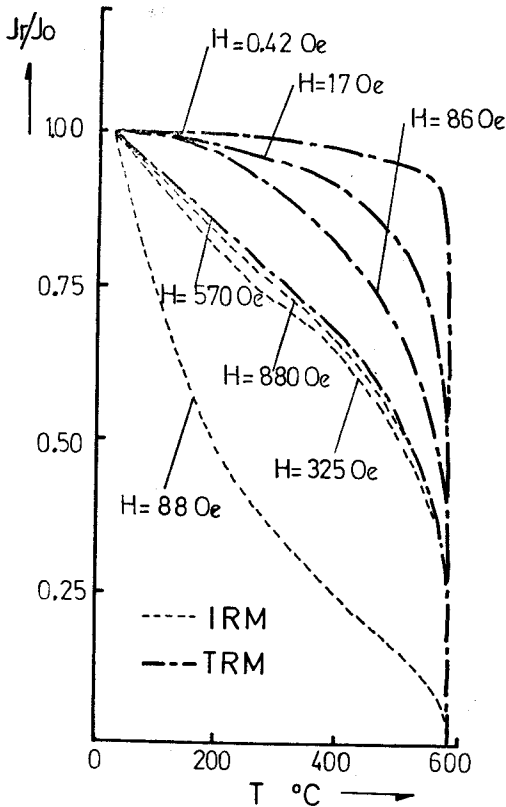


Fig. 3 Thermal demagnetization curves of various TRM and IRM which are produced in different external field strengths. TRM produced by weaker external field is harder than that of by stronger field. Note that IRM by stronger field can be so much hard as TRM (redrawn from Thellier 1966).

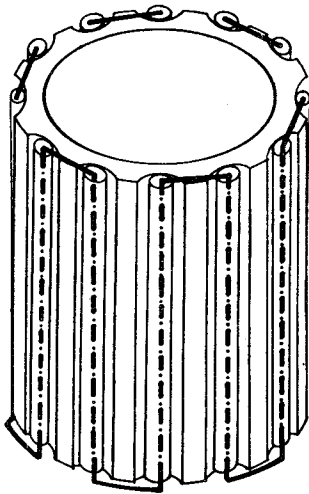
는 두 방향의 회전축을 중심으로 20:37의 속도로 회전하도록 장치하였다(Fig. 1).

열자기세척장치

열자기세척장치의 주요구성요소는 非磁性전기로, 세개의 fluxgate probe 및 두쌍의 熱電雙(thermocouple)의 3부분이다. 非磁性爐는 길이 약 30cm의 陶器원통(ceramic cylinder)이 주된 몸체를 이루는데 이 원통의 표면에는 2mm 간격을 가지고 縱으로 가늘고 긴 홈이 파여져 있어서 여기에 가는 陶器管을 끼워넣게 되어 있다. 이 도기관을 통하여 직경 0.9mm의 니크롬선을 서로 인접하는 도선에서 전류가 반평행으로 흐르도록 지그자그로 끼워 넣는다(Fig. 4A). 이렇게 함으로써 전류가 흐를 때 발생하는 유도자기를 상쇄시킬 수 있다. 니크롬선의 Curie 온도는 상온이하가 되어야만이 이로 인한 잔류자기의 시료에 대한 영향을 방지할 수 있다. 이 전기로를 다시 이중벽의 坩堝내부에 끼워넣고(Fig.4B) 坩堝판으로 바닥과 뚜껑을 하여 열손실을 막음과 동시에 전기로의 내부에서 어디서나 일정한 온도가

이루어지도록 해준다. 坩堝원통의 素材는 물론 철과같은 磁性物質이 함유되지 않은 것이어야 한다. 坩堝원통의 벽에는 되도록 시료가끼이 서로 직교하는 세개의 flux-gate probe를 각각 남북, 동서, 상하방향으로 향하도록 장치하고 Helmholtz coil의 전류를 조절함으로써 지구자장이 효과적으로 상쇄되고 있는지 감시한다. 세척작업시 고열로 인한 probe의 파손을 막기 위하여 坩堝원통의 두 벽사이로 냉각수를 순환시킨다. 이와같은 비자성료를 사용하여 최고 640°C까지 가열할 수 있으며 12개의 시료를 동시에 처리할 수 있다. 가열온도를 모니터하기 위해서는 두개의 Alumel-Chromel 熱電雙을 사용하는데 하나는 시료들 사이의 중앙에 다른 하나는 시료들의 연변부에 위치시켜서 이 두곳의 온도차를 관찰할 수 있도록 한다. 암석시료의 낮은 열전도율에 의한 熱的慣性, 가열니크롬선과의 거리, 시료간의 공간의 협소로 인하여 중앙부는 가열과 냉각이 모두 더디다. 가열니크롬선으로 들어가는 전원에 가변변압기를 장치하여 전류의 세기를 변화시킴으로써 가열속도를 조정할 수 있다. 이렇게 하여 두 열전쌍간 즉 시료들

(A)



(B)

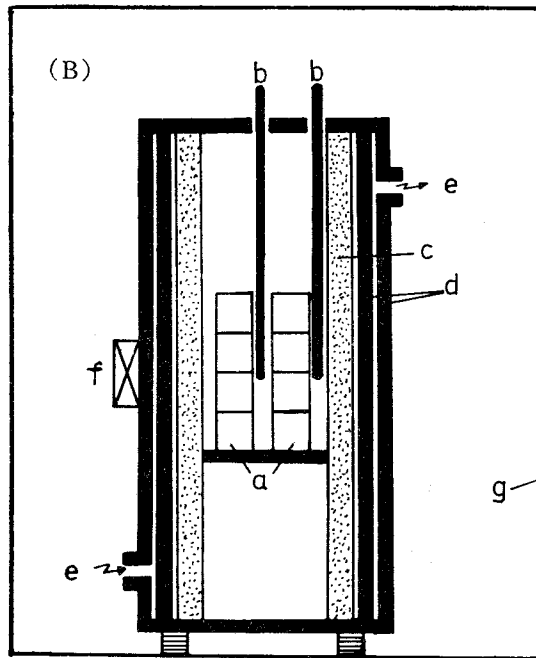


Fig. 4 Example of thermal demagnetization apparatus.

(A) Design of noninductive furnace.

(B) Overall cross section of thermal demagnetization apparatus.

- a: rock specimens
- b: thermocouples
- c: noninductive furnace (Fig. 4A)
- d: double-walled brass cylinder
- e: cooling water
- f: fluxgate probes
- g: mumetal box

중앙과 연변부간의 온도차가 항상 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 이하에서 머물도록 조정한다. 지구자장과 기타 동력선으로 인한 교란자장을 차단시키기 위하여 이상의 전 장치를 mu-metal 상자로 에워싸고 다시금 세쌍의 Helmholtz coil로 외부자장을 상쇄시킨다(Fig. 4B).

결 언

고자기학적 논의를 위하여서는 이차적인 잔류자기를 제거하는 것이 절대적인 전제조건이다. 이론적전제에서나 실험적 고찰의 결과에 의하여 이들은 NRM에서 일차적인 잔류자기보다도 불안정한 성분을 이루고있기 때문에 교류자기세척법이나 열자기세척법을 이용함으로써 제거시킬 수 있다. 그러나 이 결과가 국제적으로 인정받는 고자기학적 자료가 되기 위하여서는 최소한 8개 이상의 세척시료로부터 평균치를 구함으로써 地磁場의 長年變化(secular variation)를 소거시켜야 하며 또한 해당암석의 연령이 알려져 있어야 함은 물론(Mc-

Elhinny 1973), 이에 아울러 세척실험이 합리적으로 실시되었음을 보여야 할 것이다.

화성암을 이용하는 경우에는 설비의 간편함과 시간적인 利點에서 볼 때 교류자기세척을 우선적으로 실시하여 IRM을 제거하고, 만약 저항성이 큰 VRM이 우려되면 추가적으로 열자기세척을 실시한다. 보통의 경우에는 두 세척법중 어느 한 방법을 이용하더라도 좋은 결과를 얻을 수가 있으나 각 방법에 의한 세척결과가 일치되는 경우에는 신빙성이 더 높아진다. 한편 대상암석의 연령이 높아지면 합티탄자철석광물(titanomagnetites)이 저온산화를 보여 maghemite 등의 광물로 변화되어 있는 수가 있는데(김인수 1983 참조) 이들은 300°C 이상의 온도에서 불안정한 相이므로 열세척시 고도의 주의를 요한다(Kim 1981).

적색층과 같은 퇴적암을 이용하는 경우에는 교류자기세척법보다는 열자기세척법이 주요하다.

참 고 문 헌

- Angenheister, G. & Soffel, H. (1972) Gesteinmagnetismus und Paläomagnetismus. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart
- Biquand, D. & Prevot, M. (1971) A.F. demagnetization of viscous remanent magnetization in rocks. Z. Geophys., v. 37, p. 471—485
- Brynjolfsson, A. (1957) Studies of remanent magnetism and viscous magnetism in the basalt of Iceland. Phil. Mag. Suppl. Adv. Phys., v. 6, p. 247—254
- Collinson, D. W. (1975) Instruments and techniques in paleomagnetism and rock magnetism. Rev. Geophys. Space Phys., v. 13, p. 659—686
- Collinson, D. W., Creer, K. M. & Runocorn, S. K. (eds). (1967) Methods in Palaeomagnetism, Elsevier
- Irving, E. (1964) Palaeomagnetism and its Application to Geological and Geophysical Problems. John Wiley
- Kim, I. S. (1981) Palaeomagnetische Untersuchungen an altpaläozoischen Diabasen und Pillow-Laven aus dem Frankenwald in Nordost-Bayern. Dissertation, Universität München, 251 p.
- 김인수(1983) 고자기학연구를 위한 자성광물론, 광산지질, v. 16, No. 3, p.223—243
- Kobayashi, K. (1959) Chemical remanent magnetization of ferromagnetic minerals and its application to rock magnetism. J. Geomagnet. Geoelec., v. 10, p. 99—117
- McElhinny, W. M. (1973) Palaeomagnetism and Plate Tectonics, Cambridge Univ. Press.
- Néel, L. (1949) Théorie du trainage magnétique des ferromagnétiques aux grains fins avec applications aux terrae cuites. Ann. Geophys., v. 5, p. 99—136
- Néel, L. (1955) Some theoretical aspects of rock magnetism. Phil. Mag. Suppl. Adv. Phys., v. 4, p. 191—243
- Patton, B. J. & Fitch, J. L. (1962) Anhysteretic remanent magnetization in small steady fields. J. Geophys. Res., v. 67, p. 307—312
- Tarling, D. H. (1971) Principles and Applications of Palaeomagnetism. Chapman & Hall
- Theillier, E. (1966) Methods and apparatus for alternating currents and thermal demagnetization. In "Methods and Techniques in Geophysics" (ed. Runcorn, S. K.), v. 2, p. 205—247, Wiley-Interscience