

냉각률이 자화에 미치는 영향

유용재¹⁾

¹⁾충남대학교 지질환경과학과, yongjaeyu@cnu.ac.kr

Effect of Cooling-rate Dependence on the Magnitude of Thermoremanent Magnetization

Yongjae Yu¹⁾

¹⁾Chungnam National University, Department of Geology and Earth Environmental
Sciences, Daejeon, 305-764, yongjaeyu@cnu.ac.kr

한요약: 열잔류자화획득은 통계학적 현상으로 해당 개별 광물의 열역학적 반응시간에 좌우되는데, 냉각이 짧은 시간에 완료되는 경우 반응시간이 상대적으로 줄어들게 된다. 따라서 긴 시간에 걸쳐 냉각이 발생하는 경우에 비해 상대적으로 약한 자화를 획득하게 된다는 이론이 제시되었다. 금번 연구에서는 자철석이나 티탄철석을 함유하는 해양지각 암석의 경우, 냉각률이 커지며 자화가 감소하는 경향을 보여준다. 실제 자연산의 해양지각 암석을 사용한 경우, 입자가 미세한 특수한 경우 자화 강도의 10% 정도가 냉각률에 좌우되는 것으로 판단된다. 그러나 평균적인 입도에서는 냉각률이 자화에 미치는 영향이 3% 이내이다. 일부 입자 크기가 미세한 해양지각 시료의 경우 냉각률의 자화 기여도가 10%에 이르므로 자화 해석에 주의를 요한다.

주요어 : 자화, 냉각률, 자철석, 티탄철석, 지자기, 자성광물

Abstract : Acquisition of thermoremanent magnetization follows a Boltzman statistics, as such long reaction time in a slowly cooled environment allows more chance to align individual magnetic particles parallel to the external magnetic field. Hence it has been proposed that the slowly cooled rocks often acquire stronger magnetization than the rapidly cooled ones. Such a proposition has been experimentally validated to be true for the fine-grained magnetite- or titanomagnetite bearing basaltic rocks collected from the mid-ocean ridges. However, the effect of cooling-rate on the remanence intensity appears to be insignificant for nominal grain ranges.

Keywords : magnetization, cooling-rate, magnetite, titanomagnetite, geomagnetic field, magnetic mineral

지표로 분출되는 화산암과 지하 심부에서 생성되는 심성암은 매우 큰 냉각 속도의 차이를 보여준다. 실제로, 미국, 캘리포니아주 동부의 Bishop Ignimbrite는 한반도 면적의 절반을 상회하는 대규모 분출 용결응회암이다 (Hildreth and Wilson, 2007). 산소동위원소를 이용한 지구화학적 분석에 의하면 Bishop Ignimbrite는 100°C 이하로의 냉각이 분출 후 약 70 시간 내에 완료된 것으로 추정된다 (Sheridan and Wang, 2005). 반면 북미에 광범위하게 분포하는 Grenville 조산 운동 기원의 심성암들은 자성 광물의 자성 획득 온도에서 200°C 이하로의 냉각에 수 백 만년이 소요된다 (Cosca et al., 2001). 자화값의 시기별 변동이 상대적으로 심한 해양지각 암석의 자화 특성을 설명하는데 상술한 냉각율의 차이가 인용되곤 한다. 그러나 냉각률과 자화에 대한 실험적인 empirical relation이 정립되지 않아 다양한 이론이 난무하는 실정이다.

냉각속도 차이가 자성 광물의 자화 획득에 영향을 준다는 이론적인 근거는 노벨물리학상 수상자인 Neel의 이론이다(Neel, 1955). 지표에 존재하는 지구자기장의 영향하에 화성암이 고화되는 과정에서 자성 광물은 열잔류자화(thermoremanent magnetization, 熱殘溜磁化)를 획득한다. 열잔류자화획득은 통계학적 현상으로 해당 개별 광물의 열역학적 반응시간에 좌우되는데, 냉각이 짧은 시간에 완료되는 경우 반응시간이 상대적으로 줄어들게 된다. 따라서 긴 시간에 걸쳐 냉각이 발생하는 경우에 비해 상대적으로 약한 자화를 획득하게 된다 (Pullaiah et al., 1975). 이런 예상은 고고학 유물 시료를 이용한 자화와 냉각률 비교를 통해 일부 실험적으로 검증되기도 하였다 (Fox and Aitken, 1980). 그러나 프랑스 지질지구물리 연구소의 화강암을 이용한 최근 실험 결과에 의하면 정반대되는 연구 결과도 보고되고 있다 (Perrin, 1998). 금번연구에서는 이런 이론이 분분한 냉각률과 자화에 대한 표준적인 상관 관계를 지표의 2/3를 차지하는 해양지각의 현무암 시료를 이용하여 정립하려 하였다.

600°C 이상의 고온에서 실온 이하로의 냉각 속도를 조절하여 총 3 종류의 냉각률 차이에 의한 자화획득을 비교했다. 일반적인 자기강도 변화 실험에 사용하는 팬(fan)을 이용한 냉각은 600°C부터 50°C까지의 냉각에 1시간 이하가 소요되므로 대략 10°C/분의 냉각률을 보여준다. Fan을 작동시키지 않고 기기의 공기출입구를 최대한 밀폐하면 약 0.5°C/분의 냉각률을 얻을 수 있다. 마지막으로 시료를 액체질소 환경에서 자화시킬 경우 대략 500°C/분의 냉각율을 기록한다. 상이한 세 냉각률에 의해 얻어진 자화획득 시료에 대해 지자기 강도 변화 실험을 반복하며 냉각율이 자화강도 결정에 미치는 영향을 규명하였다.

자철석이나 티탄철석을 함유하는 경우, 냉각률이 커지면 자화가 감소하는 경향을 보여준다. 일부 해양지각 현무암 시료 가운데 자성 광물의 평균 입자 크기가 미세한 특수한 경우, 자화 강도의 10% 정도가 냉각률에 좌우되는 것으로 판단된다. 그러나 평균적인 자성 광물의 입도에서는 냉각률이 열잔류자화의 강도에 미치는 영향이 3% 이내이다. 실제 자연잔류자화(natural remanent magnetization, 自然殘溜磁化)의 경우 이런 3%의 미세한 차이가 자화 방향 및 강도 실험 해석에 미치는 영향은 오차 범위 내에서 무시할 수준이다. 따라서 대부분의 해양지각 시료의 경우, 냉각률이 자화에 미치는 영향은 미비하다고 판단된다. 다만 일부 입자 크기가 미세한 특수 해양지각 시료의 경우 냉각률의 자화 기여도가 10%에 이르므로 자화 방향 및 강도 실험 해석에 세심한 주의를 요한다.

참고문헌

- Cosca, M., Sutter, J., and Essene, E., 2001, Cooling and inferred uplift/erosion history of the Grenville orogen, Ontario: Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology, *Tectonics*, **10**(5), 959-977.
- Fox, J. M. W., and Aitken, M. J., 1980, Cooling-rate dependence of thermoremanent magnetization, *Nature*, **283**, 462-463.
- Hildreth, W., and Wilson, C. J. N., 2007, Compositional zoning of the Bishop Tuff, *Journal of Petrology*, **48**, 951-999.
- Néel, L., 1955, Some theoretical aspects of rock magnetism, *Advances in Physics*, **4**, 191-243.
- Perrin, M., 1998, Paleointensity determination, magnetic domain structure, and selection criteria, *Journal of Geophysical Research*, **103**, 30,591-30,600.
- Pullaiah, G., Irving, E., Buchan, K. L., and Dunlop, D. J., 1975, Magnetization changes caused by burial and uplift, *Earth and Planetary Science Letters*, **28**, 133-145.
- Sheridan, M. F., and Wang, Y., 2005, Cooling and welding history of the Bishop Tuff in Adobe Valley and Chidago Canyon, California, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **142**, 119-144.