

가돌리늄의 자기열량효과에 대한 실증실험

이 종 석

강릉대학교 정밀기계공학과

Demonstrative Experiments on the Magnetocaloric Effect of Gadolinium

Jong Suk Lee

Department of Precision Mechanical Engineering, Kangnung National University,
Gangneung-si, Gangwon-do, 210-702, Korea

요 약

자성재료에 자기장을 걸어주면 가열되고 자기장을 제거하면 냉각되는 성질이 있는데, 이것을 자기열량효과(magnetocaloric effect)라고 하며, 이것을 이용해서 저온을 생성시키는 방법을 자기냉동(magnetic refrigeration)이라고 한다. 자기열량효과에 대한 연구는 물리현상 자체의 중요성 이외에도 이 효과가 큰 재료를 환경친화적이고 에너지 효율이 좋은 자기 냉동기, 에어컨, 열펌프 등에 자기냉매로 이용할 수 있다는 점에서 기술적인 중요성을 가지고 있다. 이로 인해서 세계적으로는 자기열량효과와 자기냉동에 대한 연구가 점점 증가하고 있는 추세이다.

자기열량효과는 단열온도변화(ΔT_{ad}) 또는 등온자기엔트로피변화(ΔS_M)로서 측정되거나 계산될 수 있으며, 이들은 온도(T)와 자기장의 변화(ΔH)의 함수이다. 자기열량효과를 측정하는 방법으로는 자기장을 걸어주거나 제거할 때 재료 내에 발생하는 온도변화를 직접 측정하는 방법과 자화(magnetization)나 비열(specific heat)을 온도와 자기장의 함수로 측정한 데이터로부터 계산하는 방법이 있는데, 전자를 직접 측정방법, 후자를 간접측정방법으로 크게 구분할 수 있다.

본 연구에서는 순수물질 중에서 자기열량효과가 가장 크다고 알려진 가돌리늄의 자기열량효과에 대한 실증실험을 수행하여, 직접측정방법으로 온도변화를 측정하고 간접측정방법(자화-비열 측정법)을 이용하여 자기엔트로피변화와 단열온도변화를 계산하였다.

직접측정방법에 있어서 세 가지 종류의 실험을 수행하여 결과를 비교하였다. 실험 I과 II를 비교해보면 같은 세기의 자기장이라도 인가되는 속도가 빠를수록 샘플에 발생하는 온도변화가 크다는 것을 보여 준다. 실험 II와 III을 서로 비교해보면 대체적으로 여자되는 경우(실험 II)의 온도변화(+값)가 소자되는 경우(III)의 온도변화(-값)보다는 약간 크게 나타난다. 전체적으로 가장 현저하게 나타나는 현상은 자기장의 세기의 변화가 커질수록 샘플의 온도변화가 커지는 것이다.

세 가지 종류의 실험 결과들을 종합해보면 자성재료의 자기열량효과(그 중에서 단열온도변화)는 자기장의 변화가 클수록, 그 변화하는 속도가 빠를수록, 그리고 큐리온도(가돌리늄의 경우 21℃)에 가까운 온도에서 크게 나타나는 것임을 확인할 수 있었다.

자기장의 변화에 따른 온도변화를 직접 측정하는 실험에 있어서 샘플홀더의 온도를 제어하거나 진공 또는 단열이 이루어지지 않은 조건 하에서 실험이 수행되었으나 자기장이 가해지는 시간이 짧으면 열손실로 인한 효과는 그리 크지 않은 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 측정된 결과는 참고문헌에 보고된 수치에는 못 미쳤으나, 가돌리늄의 자기열량효과에 대한 경향은 정성적으로 확인할 수 있었다.

한편, 가돌리늄 샘플을 이용해서 측정된 자화 및 비열 데이터로부터 자기엔트로피변화와 단열온도변화를 계산하였다. 본 연구에서 구한 자기열량효과를 참고문헌에서의 결과와 비교해보면, 자기엔트로피변화는 9%정도 낮고 단열온도변화는 3%정도 높은 것으로 나타나는데, 대체적으로 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.