

# 단일 종모드 레이저를 이용한 희토류 원자의 고분해 분광학

## High Resolution Spectroscopy for Rare Earth Atoms Using Single Longitudinal Mode Lasers

정의창\*, 박현민, 정도영, 이종민  
 한국원자력연구소, 양자광학팀  
 ecjung@nanum.kaeri.re.kr

희토류 (또는 란타늄족) 원소들은 주기율표상에 원자 번호 57번부터 71번까지 15종의 원소들의 총칭이다. 일부 희토류 원소는 감속제를 비롯한 원자로의 재료로 사용되고 있으며, 대부분의 희토류 원자 스펙트럼은 원자력 발전소에서 사용한 연료의 폐기물 처리에 관련된 각종 연구에 이용되고 있다. 따라서 이 원소들에 대한 원자 분광학적 연구는 원자력 산업 응용 분야에서 중요하게 인식되고 있다. 특히, 레이저를 이용한 분광학적 기술은 이 원소들의 정량 분석에 있어 주성분과 비교적 적은 양 및 극미량 수준의 시료 분석에 가장 유용하게 이용되고 있다.

희토류 원소의 원자 분광학 연구는 두 가지 측면에서 어려운 점이 있다. 첫째는 복잡한 원자 스펙트럼으로 인하여 정량 분석이 어렵다는 점이다. 이는 원자 구조가 복잡하다는 것으로 4f 전자 껍질에 있는 전자들이 약하게 결합되어 있기 때문이다. 둘째는 Yb를 제외한 모든 희토류 원소가 녹는 온도가 높고, 증기압이 낮기 때문에 원자 증기를 만들기가 어렵다는 점이다. 따라서 희토류 원자 증기를 만들기 위해서 대부분의 경우 전자빔 가열 방식을 사용하고 있다.

이 발표에서는 2 MHz 이하의 선폭을 가진 단일 종모드 레이저를 사용하여 Yb, Sm, Gd 원자의 고분해 분광 실험을 한 결과에 대해 논의한다. 가시광선 파장 영역에서는 고리형 구조의 연속발전 색소레이저가 사용되었고, 근적외선 파장 영역에서는 Littman/Metcalf 공진기 구조의 반도체레이저가 사용되었다. 반도체레이저의 경우에는 수백 mW의 출력을 얻기 위해 MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 시스템이 구성되었다. 저항 가열형 원자빔 발생장치, heat pipe oven, hollow-cathode discharge 등의 다양한 원자 증기 발생 장치가 사용되었고, 각각의 장, 단점 및 특징이 논의된다. 증기 발생 장치에 따라 레이저 유도 형광 분광법, Doppler-free 포화 흡수 분광법, 편광 변조 광검류 (optogalvanic) 분광법 등의 분광학적 기술이 이용되었다.

실험 내용의 한 예를 그림 1, 2에 나타내었다. 그림 1은 Sm 원자를 대상으로 한 포화 흡수 분광 장치이다. 최대 1200 °C 까지 가열될 수 있는 heat pipe oven에서 약 80 cm 길이의 Sm 원자 증기가 발생된다. 그림 2는 파장 672.588 nm의 전이선(0→14863.85 cm<sup>-1</sup>)에 대한 포화 흡수 스펙트럼이다. 모든 동위원소 이동과 초미세 구조들이 스펙트럼에서 잘 분해되고 있음을 볼 수가 있다. 이러한 스펙트럼을 분석하여 특수 질량 효과, 초미세 구조 상수, 동위원소 성분비 등의 정보들을 알 수가 있다.

각각의 원자들의 여러 전이선에 대한 스펙트라를 분석하고, 분광학적 기술에 대한 특징들을 논의하고자 한다.

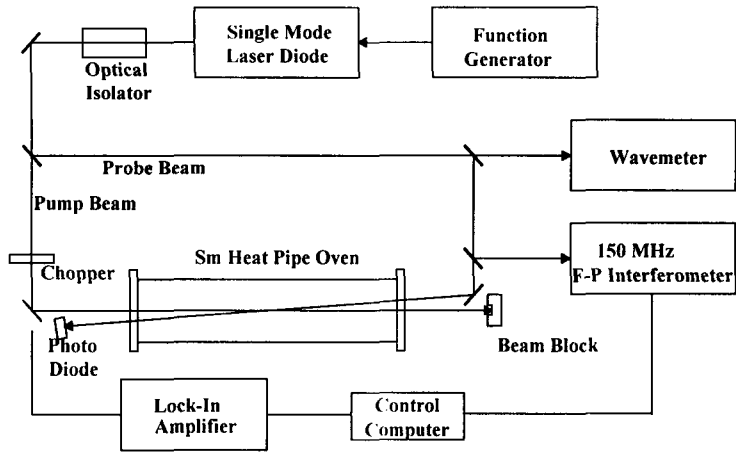


그림 1. Heat pipe oven에서 발생되는 Sm 원자 증기를 대상으로 한 포화 흡수 분광 장치.

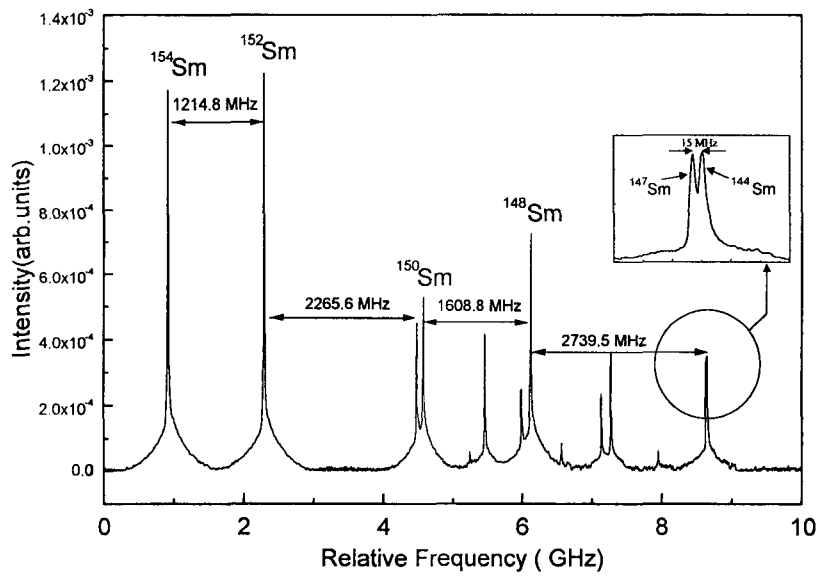


그림 2. 672.588 nm 전이의 포화 흡수 스펙트럼. 선폭 (FWHM)은 약 8 MHz.