

# 안정 동위원소 분리 기술 개발 현황



박 현 민

한국원자력연구소  
양자광학기술개발부

## 1. 개요

안정 동위원소는 방사성동위원소 생산의 필수 원료로 이용되며, 최근에는 차세대 원자력 및 반도체 산업에서 활용 가능한 중요 신소재로 평가받고 있다. 방사성의약품 중에서 심장 질환 진단용 Tl-201은 Tl-203을 원료로, 암 통증 치료제인 Sr-89는 Sr-88을 원료로 생산한다. 또한, 산업용 비파괴검사 선원인 Yb-169와 Se-75는 각각 Yb-168과 Se-74를 원료로 생산한다. 원자력 분야에서는 가연성 독극물(B-10, Gd-157), 원자로 피복재(감손 지르코늄), 내부식성 소재(감손 아연) 등이 사용되고 있거나 앞으로 사용될 예정이고, 특히, 차세대 에너지 공급원인 제4세대 (Gen-IV) 원자로와 핵융합로에서는 냉각재 및 구조재로 Pb-206과 Si-29 등의 저방사화(low activation) 안정 동위원소의 사용이 일반화될 전망이다. 또한 IT, NT, BT 분야에서도 안정 동위원소를 이용한 신소재 개발이 적극적으로 이루어지고 있다. Pb-210이 제거된 Low Alpha Lead (LAL)는 고집적 반도체 회로의 솔더 물질로 사용하고 있

고, Si-28, Si-29는 차세대 양자 컴퓨터와 정보통신 기술인 스핀트로닉스의 신소재로 대두되고 있다. C-13, N-15, Ca-48 등은 질병의 원인진단, 인체 신진대사 연구, 단백질 구조 분석 등 생명공학 연구의 필수 소재로 사용되고 있다.

이러한 배경에서 한국원자력연구소의 양자광학기술개발부에서는 레이저를 이용한 안정 동위원소 분리 연구를 수행해오고 있으며, 현재는 경제성 확보가 가능한 Yb 및 Tl 동위원소분리 연구를 수행하고 있다.

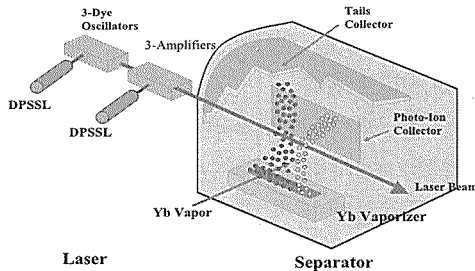
## 2. Yb 안정 동위원소 분리

원자번호 70인 Yb 원소는 자연계에 7개의 안정 동위원소를 가지고 있다. 이중 Yb-168 (자연비 : 0.13%)은 원자로서 중성자가 조사되면 방사성동위원소인 Yb-169로 변환된다.

Yb-169는 반감기가 32시간이고 평균 에너지가 93 keV인 저 에너지 감마선을 방출하여 얇은 연결관의 비파괴검사 등에서 매우 우수한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있

다. Yb의 또 다른 안정 동위원소인 Yb-176 (자연비 : 12.3%)은 Lu-177의 원료로 사용된다. Lu-177은 우수한 방사성 특성 때문에 최근 여러 의학 치료 분야에서 활용 가능한 유망한 방사성동위원소로 각광받고 있다. 그러나 Yb-168 이나 Yb-176을 방사성 동위원소의 원료로 이용하기 위해서는 각각 20% 이상, 95% 이상 농축시켜야 한다. 이러한 배경에서 본 연구팀에서는 레이저를 이용하여 자연 상태의 Yb 시료에서 Yb-168과 Yb-176을 분리하는 기술을 개발하였다.

다음 <그림 1>은 개략적인 Yb 동위원소 분리 시스템이다.



<그림 1> Yb 동위원소 분리 시스템

전체 시스템은 크게 레이저 시스템과 분리 챔버 시스템(Separator) 으로 구성된다. 중성Yb 원자를 동위원소 별로 선택적으로 이온화시키기 위해서 3대의 색소 레이저를 사용하였고, 색소 레이저는 DPSSL( Diode-Pumped Solid State Laser)를 이용하여 펄핑 하였다. 레이저 다이오드로 펄핑되는 DPSSL은 모든 능동 소자가 고체이므로 유지보수 및 안정성이 타 기체 레이저 보다 뛰어나며, 소형으로도 고출력을 낼 수 있다는 장점이 있어 색소 레이저용 펄핑

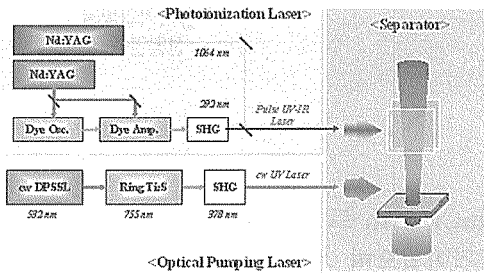
레이저로 채택되었다. 분리 챔버내에서는 저항 가열 방식으로 Yb 증기를 발생시키고, 레이저에 의하여 이온화된 Yb 이온은 정밀 설계된 이온 추출기(extractor)를 이용하여 수집되었다. 수집된 Yb 이온은 분리 실험 후 10% 질산 용액에 의하여 회수되고 여러 화학 공정을 통해 Yb 산화물로 변환되어 방사성 동위원소의 농축 표적으로 이용된다.

현재까지의 연구 결과, Yb-168은 0.13%의 자연비에서 31% 까지 시간당 1 mg/h의 추출효율로서 농축하는데 성공하였으며, Yb-176의 경우에는 12.3%의 자연비에서 96% 까지 10 mg/h의 추출효율로 농축하는데 성공하였다. 향후 지속적인 연구 개발을 통하여 시간당 생산량, 동위원소 순도, 화학적 순도를 향상시켜 산업 및 의료용 방사성 동위원소의 농축 표적으로 활용할 계획을 가지고 있다.

### 3. Tl 안정 동위원소 분리

Tl 은 자연계에 두 개의 안정 동위원소(Tl-203, Tl-205)를 가지고 있다. 이중 Tl-203(자연비 : 30%)은 심장질환 진단 의약품인 Tl-201 방사성동위원소 농축 표적으로 폭넓게 이용되고 있는 안정 동위원소이다. 본 연구팀에서는 동위원소 이동값 (Isotope Shift)이 작아 기존 펄스형 레이저를 이용하여 분리하기 어려운 Tl-203을 분리하기 위하여 광펄핑 방식을 이용한 독자적인 동위원소 분리 방법을 개발하였고, 국내외에 특허 등록을 출원하였다. 독자적으로 개발한 “광펄핑을 이용한 동위원소 분리 방법” 은 다음

<그림 2>와 같이 중성 Tl 원자를 이온화 시키기 위하여 바닥 준위에 있는 원자를 연속 발전 레이저를 이용하여 우선 준안정 준위로 광 펌핑한 후 다시 두 대의 고출력 펄스 레이저를 이용하여 이온화 시키는 방법이다.



<그림 2> 광 펌핑을 이용한 동위원소 분리 방법

이 방법을 이용할 경우 동위원소 이동값이 작아 분리하기 어려운 여러가지 동위원소 (Ca, Sr 등)를 손쉽게 분리할 수 있다. 이 고유 기술을 적용, Tl-203을 분리하기 위하여 주파수가 안정된 연속 발전형 자외선 레이저 시스템, 펄스형 적외선 시스템을 개발하였고, 밀폐형 이온 추출기 및 다중 광자 통과 장치를 개발하였다. 현재까지 Tl-203의 동위원소 농축도를 96% 까지 증가시킬 수 있었

고, 몇 가지 시스템 보안을 거쳐 97% 이상의 농축도를 달성할 수 있을 것으로 기대한다. 향후에는 Tl-203의 상업화를 위한 연구와 함께 광펌핑 이용기술을 적용하여 감손아연 및 차세대 원자로의 저방사화 냉각재인 Pb-206 등 기타 안정 동위원소 생산연구를 수행할 계획이다.

#### 4. 결 론

한국원자력연구소에서는 Yb, Tl 원소 등을 대상으로 안정 동위원소 생산 기술을 개발하고 있다. 이 기술 개발을 통해 방사성동위원소 농축표적의 국내 공급은 물론, 더 나아가 독자적인 기술을 바탕으로 세계시장 진출이 가능할 것으로 기대한다.

안정 동위원소 생산 기술은 차세대 원자력 분야 및 21세기 신소재 분야에서 중요한 역할을 담당할 중요한 기술이다. 현재까지 이 분야에 대한 연구 개발은 국제적 수준에 도달하였다고 판단하고 있으나, 실제 상업화 단계까지는 보다 많은 연구 개발이 뒤따라야 할 것이다. 