

모듈식 자동 방사성핵종 스트론튬-90 분리기 개발 및 응용

정근호 · 권용대 · 최상도 · 박효국 · 조영현 · 이완로 · 김희령 · 이창우 · 최근식 · 강문자
한국원자력연구원
E-mail: chungkh@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : MARS Sr-90, 자동 방사성핵종 분리기, Sr-90, 스트론튬-90, 액체섬광계수기

서 론

스트론튬-90 (^{90}Sr)은 ^{235}U 과 ^{239}Pu 의 핵분열 생성물이다. ^{90}Sr 은 순수 베타 방출체로서 $E_{\text{max}} = 546 \text{ keV}$ 이고 반감기는 28.8년이다. ^{90}Sr 은 베타 붕괴 반응에 의해 ^{90}Y (반감기: 64.1 h)을 생성하며, ^{90}Y 은 베타 붕괴 반응에 의해 안정원소인 ^{90}Zr 을 생성한다. 칼슘과 화학적 동질체인 방사성 스트론튬은 뼈에 축적되는 경향이 있고, 긴 반감기와 상대적으로 높은 베타 에너지를 고려하면 방사성생물학적으로 독성이 높다. 또한 방사성 스트론튬은 환경에서 이동성이 크며, 동식물에 흡수성도 높은 편이다. 그러므로 지하수, 지표수 및 생체시료 등과 같은 환경시료에서 면밀한 환경 감시가 필요한 핵종이다. 방사성 스트론튬의 분석과정은 매우 복잡하다. ^{88}Sr , ^{90}Sr , ^{90}Y 모두 베타핵종이기 때문에 이들 핵종은 측정하기 전에 방해 핵종으로부터 순수분리 되어야한다. 방해 핵종 제거 방법으로는 발연질산처리법, 이온교환수지법 등이 있다. 발연질산처리법은 고전적으로 많이 사용하였으나 취급의 위험성 및 유해가스 배출 등의 단점을 지니고 있어 최근에는 이온교환수지법이 많이 사용되고 있다. 특히 Sr-spec 수지를 사용한 추출크로마토그래피가 보편화되고 있는 추세이다. 그러나 이들 방법은 시간과 노동 집약적인 방사화학 분리과정을 필요로 한다. 방사화학 분리시간을 최소화 하기위한 자동화된 방사성 스트론튬 추출크로마토그래피 절차에 대한 문헌은 매우 제한적이다 [1].

본 연구에서는 방사성 스트론튬을 신속분리하기

위한 “모듈식 자동 방사성핵종 스트론튬-90 분리기 (MARS Sr-90)”를 개발하였다. 또한, MARS Sr-90을 응용하여 환경시료 중의 ^{88}Sr 과 ^{90}Sr 을 신속분리하기 위한 자동분리공정을 개발하였으며, 순수 분리된 ^{88}Sr 과 ^{90}Sr 의 방사능 농도를 신속하게 평가하기 위한 액체섬광계수기를 이용한 분석방법도 검토하였다.

결과 및 고찰

스트론튬-90 자동분리 장치 (MARS Sr-90)는 테크네튬-99 자동분리장치 (MARS Tc-99)를 개선하여 제작되었다 [2,3]. MARS Sr-90은 컨트롤모듈, 펌프모듈, 밸브모듈, 두개의 칼럼모듈로 구성되었다. 각 모듈의 크기는 W132 mm × D260mm × H440MM 이다. 주 전원은 220V 이고 컨트롤 모듈로 공급된다. 컨트롤 모듈은 자료수집장치 (NI USB-6229), 두개의 DC 파워 공급기, 세 개의 솔레노이드 밸브 운영 보드를 가지고 있다. 자료수집 장치는 USB 포트를 이용하여 운영 컴퓨터와 연결되며, 32개의 아날로그 입력단자, 4개의 아날로그 출력단자, 48개의 디지털 입·출력 단자를 가지고 있다. 한 개의 아날로그 출력단자는 연동펌프의 회전속도를 조절하며, 한 개의 아날로그 입력단자는 연동펌프의 엔코더에서 나오는 펌프의 실제 회전속도를 받아들이는 데 사용한다. 디지털 출력단자의 5V TTL 신호는 릴레이 스위치를 on/off 시켜 솔레노이드 밸브를 작동시키는 데 사용된다. 펌프모듈은 4개의 채널을 가지고 있는 연동펌프와 연동펌프 컨트롤러를 가지고 있다. 밸브모듈은 6개의 입구와 1개의 출구 (6I-FSV)

가 있는 용액선택 밸브, 5개의 입·출구가 있는 용액 분배 커넥터(5W-FDC), 2개의 입구와 1개의 출구(2I-FSV)가 있는 시료·시약 선택밸브를 포함하고 있다. 용액선택밸브는 6개까지 다른 종류의 시약을 선택할 수 있다. 용액분배 커넥터는 시약을 시약선택밸브로 분배 공급하는 역할을 한다. 시료·시약 선택밸브는 분석할 시료와 용액분배 커넥터로부터 오는 시약을 선택하는 데 사용된다. 각 칼럼모듈은 2개의 Sr-spec 수지 칼럼과 2개의 3방향(3W-FDV) 용액 분배 밸브를 포함하고 있다. 3방향 용액분배 밸브는 폐기용액과 순수 분리된 Sr-89와 Sr-90을 선택할 때 사용된다. 모든 용액 배관은 0.8 mm 내경의 PTFE 튜브를 사용했다. 연동펌프의 펌프 튜브는 1.0 mm 내경의 타이콘 튜브를 사용했다. MARS Sr-90을 이용한 방사성핵종 스트론튬-89와 90 분리절차는, Sr-spec 수지 칼럼에 초기화 시약(8M 질산용액)을 공급하고, 칼럼을 통과한 초기화 시약은 폐기물 탱크로 배출되는 초기화단계(conditioning); 칼럼에 분석시료를 공급하여 스트론튬-89와 90을 이온교환 고정하고, 칼럼을 통과한 분석시료는 폐기물 탱크로 배출되는 분석시료공급단계(loading); 칼럼에 정제 시약(8M 질산용액)을 공급하고, 칼럼을 통과한 정제 시약은 폐기물 탱크로 배출되는 정제단계(rinsing); 및 칼럼에 용출 시약(초순수)을 공급하여 Sr-spec칼럼 수지에 고정된 스트론튬-89와 90을 이온교환 분리하여 용출액을 스트론튬-89와 90 저장탱크로 배출하는 용출단계(elution)를 포함하는 것을 특징으로 한다. MARS Sr-90은 동시에 4개까지 시료를 분석할 수 있도록 제작하였다. 시스템을 운영하는 컴퓨터 프로그램은 LabView 소프트웨어를 사용하여 개발되었다. MARS Sr-90의 시스템 사양은 MARS Tc-99 시스템 사양과 같다 [2,3].

그림 1은 표준용액 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 을 MARS Sr-90에 의해 분리한 후 액체섬광계수기(LSC)를 이용하여 측정된 스펙트럼을 보여준다. IAEA에서 제공한 교차분석용 우유 분말을 뜨거운 물에 녹여 만든 우유 시료 중의 스트론튬을 MARS Sr-90에 의해 분리한 후 LSC를 이용하여 스펙트럼을 얻는다. 그림 1에서 ^{90}Sr 은 LSC window의 125~750 채널 영역에서, ^{89}Sr 은 125~900, ^{90}Y 는 125~950에 위치하는 것을 알 수 있다. MARS

Sr-90을 사용하여 ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{90}Y 이 혼합된 우유 시료에서 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 만을 선택적으로 분리한 후 ^{90}Y 이 생성되기 전까지 3시간 이내에서 LSC 측정을 하면 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 만이 존재하는 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 그러므로 701~900 채널에서는 ^{89}Sr 방사능 농도만을 계산할 수 있었다. 125~750 채널 영역에서는 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 방사능이 혼합되어 있으므로, 전체 방사능 농도에서 701~900 채널에서 얻어진 ^{89}Sr 방사능 농도를 빼주어 ^{90}Sr 방사능 농도를 계산할 수 있었다.

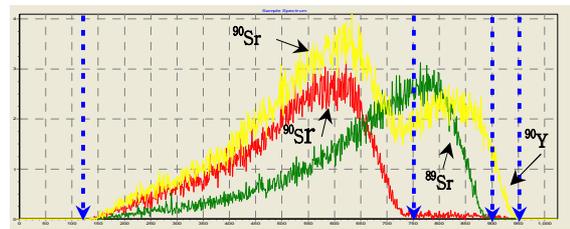


그림 1. 표준시료 ^{89}Sr , ^{90}Sr , $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 의 LSC 스펙트럼

결론

MARS Sr-90을 이용하여 환경시료로부터 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 만을 선택적으로 신속하게 순수 분리할 수 있었으며, LSC를 사용하면 동시에 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr 을 분석할 수 있었다. 전 과정에 대한 분석시간은 8시간 이내로 사고시 24시간 이내에 결과를 얻을 수 있을 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. M.J. O'Hara, S.R. Burge and J.W. Grate, Anal. Chem., 81, 1228-1237 (2009).
2. 정근호, 최상도, 권용대, 강문자, 이완로, 김희령, 최근식, 이창우, 2008 한국방사성폐기물학회지, pp. 419-420 (2008).
3. 권용대, 정근호, 최상도, 강문자, 이완로, 김희령, 최근식, 이창우, 2008 한국방사성폐기물학회지, pp. 381-382 (2008).