

액체섬광계수법을 이용한 지하수 중의 Tc-99 분석 방법

정근호, 조영현, 강문자, 이완로, 김희령, 최근식, 이창우
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
chungkh@kaeri.re.kr

1. 서론

테크네튬-99 (Tc-99)는 우라늄의 핵분열 생성물이며 Mo-99의 베타선 붕괴 반응에 의해 생성된다. 테크네튬-99는 최대 붕괴에너지가 292 keV인 베타방출 핵종으로서 반감기가 213,000년이며, 베타 붕괴 반응에 의해 Ru-99를 생성한다. 테크네튬-99는 천연우라늄의 자발적 붕괴에 의해서 일부 생성되나 대부분의 Tc-99는 원자로의 운영이나 원자력 재처리 설비로부터 생성된다. 전세계적으로 25~30톤의 방사성 테크네튬이 생성되고 이중 1%인 약 150~200 TBq 정도가 환경으로 방출된다. Tc-99는 환경에서 주로 TcO_4^- 상태로 존재하며, 화학적으로 매우 안정하고 수용액 중에서 이동성이 매우 크다. 또한 TcO_4^- 는 SO_4^{2-} 의 화학적 유사성 때문에 환경에서 먹이사슬을 통해 인간에게 전달될 수 있는 특징이 있다.

Tc-99는 월성 중·저준위 방사성폐기물처분시설 부지주변 방사선 환경 조사계획서에 명시된 감시핵종 중의 하나이나, 아직까지 국내에서 환경감시 목적으로 Tc-99 분석을 일상적으로 할 수 있는 수준은 아닌 상황이다. Tc-99는 지하수 이동을 통한 방사성핵종 누출 여부를 평가하기 위한 핵종 중 하나이다. 그러므로 본 연구에서는 액체섬광계수법을 이용하여 지하수 중의 Tc-99를 분석하기 위한 방법을 검토하였다.

2. 실험 및 결과

지하수 중에 존재하는 Tc-99는 TcO_4^- 의 화학적 형태로 음이온 교환수지에 결합시킨 후 Tc-99의 베타핵종 분석에 방해할 일으키는 기타 방사성 핵종(H-3, C-14, S-35, Sr-90, Y-90, Th-234 등)을 제거시킨다. 농축 질산을 이용하여 Tc-99를 용출시킨 후 아민 계열의 유기용매를 이용하여 TcO_4^- 를 추출한다. Tc-99를 추출한 유기용매는 액체섬광용액과 혼합되어 액체섬광계수법으로 Tc-99 방사능을 측정한다. 화학적 수율은 Tc-99m(반감기: 6.06 시간)을 사용하여 측정한다.

백그라운드 측정용 바탕시료는 자일렌에 혼합된 5% tri-octyl amine 용액 5 ml와 Ultima Gold-LLT (Packard) 15 ml를 혼합하여 제조하였다. 효율측정용 표준시료는 바탕시료에 Tc-99 표준물질 74Bq를 첨가하여 만들었다. 소광 정도는 제조된 표준시료에 니트로메탄을 0~100 μ l 첨가하여 변화시켰다. 시료 제조시 Packard사의 20 ml 폴리에틸렌 바이알(low diffusion PE-vial)을 사용하였다. 모든 시료는 액체섬광계수기 (LKB Quantulus 1220)를 사용하여 120분씩 3회 반복 측정하여 Tc-99를 계측하였다. 화학적 수율은 전처리 과정을 거친 후 폴리에틸렌 바이알에 액체섬광용액과 혼합되어 있는 Tc-99m을 감마핵종분석기를 이용하여 계측 후 계산하였다. 화학적 수율을 측정하기 위해 사용된 Tc-99m의 감마에너지에 의한 영향을 최소화 하기위해 Tc-99m의 방사능이 완전히 붕괴된 후 Tc-99의 액체섬광계측을 실시하였다. 그림 1은 표준시료를 액체섬광계수기로 측정하여 얻은 것으로 전형적인 Tc-99의 스펙트럼을 나타낸다. 분석방법의 품질관리를 위하여 바탕시료와 바탕시료에 Tc-99 표준물질을 3.7 Bq, 7.4 Bq, 11.1 Bq 첨가한 표준시료 3개를 만들어 측정하였다. 또한 지하수 시료도 바탕시료, 지하수 바탕시료에 Tc-99 표준물질을 첨가하여 표준시료 3개를 제조하여 측정하였다. 본 분석방법의 전체적인 불확도 (95% 신뢰구간)는 6.5% 이내였으며, 분석결과는 첨가한 표준물질의 방사능과 잘 일치하였다.

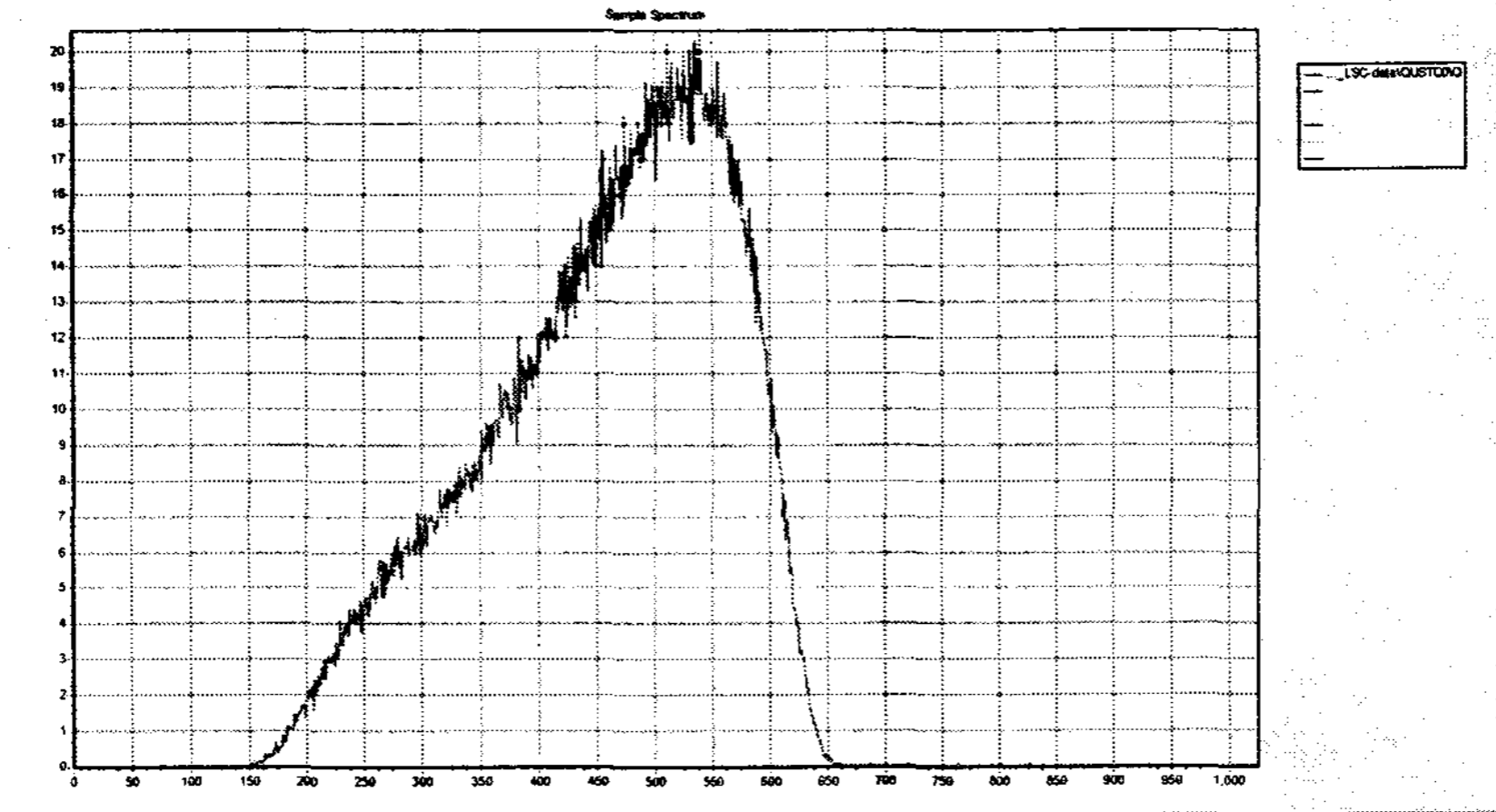


그림 1. 액체섬광계수기로 측정된 전형적인 Tc-99의 스펙트럼

시료 사용액 50ml, 측정시간 120분일 때 Tc-99의 용매 추출 후 액체섬광계수법에 의한 지하수 중의 Tc-99 분석방법의 MDA는 1 mBq/ml까지 근접할 수 있어, 중·저준위 방사성폐기물처분시설 부지주변 환경 방사능 감시에 효과적인 분석방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다. 앞으로, TEVA 수지를 이용한 선택적 Tc-99 분리방법과 ICP-MS에 의한 Tc-99 분석을 실시하고자 한다. 또한, 확립된 분석방법으로 중·저준위 방사성폐기물처분시설 부지주변의 지하수 시료를 분석할 계획이다.