

# 방사성동위원소의 환경산업분야 응용기술 국내 연구개발 현황



정 성 희

한국원자력연구소  
동위원소연구개발팀 책임연구원

## 1. 서 론

하천과 바다 그리고 지하수와 같은 수자원(water resources)은 인간생활과 아주 밀접한 관계에 있다. 인구증가에 따른 자연환경의 오염과 물부족 현상의 대두로 인해 수자원의 효율적인 관리와 수리학적 거동특성에 대한 이해는 필수적이다. 그러나 다른 과학기술의 비약적인 발전에 비해 수자원에 대한 수리학적 탐지기술은 열악한 상태이다. 이는 대부분의 수자원 규모가 대단위이고 복합적인 자연현상의 원인으로 인해 불규칙적인 거동을 하여 직접적인 측정이 불가능하거나 비경제적이기 때문이다. 그러나 방사성동위원소 응용기술에 대한 관심이 높아지면서 1990대 이후 원자력 선진국과 IAEA를 중심으로 방사성추적자를 이용한 수자원 관리기술에 국제적인 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 방사성 추적자(radiotracer)는 관심대상 물질과 물

리·화학적 거동은 동일하지만 대상물질과 구별되어 극미량으로도 측정이 가능한 특성을 가지기 때문에 가장 정확하게 수자원의 거동을 해석할 수 있는 획기적인 기술로 평가되고 있다.

방사성동위원소 이용기술의 환경분야 활용은 다음과 같이 구분될 수 있다. 수처리산업의 주요공정에 대한 가동 중 효율진단, 저수시설의 누수탐지, 하천 및 연안에서의 오염확산 경로추적과 예측 수리모델 시스템의 검증, 연안 해안선 변형과 항만 퇴적물 원인규명과 대책 마련을 위한 표사 거동추적, 해양 준설토의 최적 투기장소 선정 등이 포함된다.

## 2. 연구개발

한국원자력연구소의 동위원소연구개발랩에서는 원자력중장기연구개발사업을 통하여 방

사성동위원소의 산업적 이용을 위한 기반장비와 관련기술을 개발하여 왔다. 특히, 정유 및 석유화학 산업공정에 대한 가동 중 발생하는 문제점의 진단을 위하여 연구를 수행하였고, 기술의 유효성 검증을 위한 산업현장 시범실험을 수년간 수행하여 다양한 현장경험을 축적하여 왔다. 이를 기반으로 수년전부터는 환경자원관리 분야로의 방사성동위원소 응용기술을 개발하고 있다.

#### 가. 하수처리공정의 가동 중 효율진단

소화조는 유입된 슬러지를 혐기성 미생물을 이용하여 물과 메탄가스로 분해시켜 슬러지의 양을 감소시키는 공정이며, 침전조는 처리된 유입수를 방류하기전에 부유고형물질을 제거하는 공정이다. 소화조와 침전조는 하수처리 시설 중 가장 중요한 공정들이며, 하수처리시설의 전체 부지중에서 차지하는 비율도 매우 높아 전체 공정의 가동효율에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 공정들은 장기간 가동중지 없이 지속적으로 운전되어야 하며, 이에 따른 가동효율 감소와 예상치 못한 문제가 발생하기도 한다. 특히, 소화조의 경우에는 내부 부동층이 형성되면, 슬러지의 분해효율에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 부동층의 생성여부와 그 규모 및 위치 등에 대한 정보를 가동 중에 탐지하기 위하여 방사성동위원소(Sc-46)를 추적자로 사용하여 진단할 수 있도록 하였다. 침전조의 부유고형물질 제거효율을 극대화하기 위한 설계변경과 운전방법 등에 많은 연구가 수행되고 있으며, 최근에는 전산유체역학을 이용한 유동의 가시화와 내부구조 변경에 따른 효율 예측을 수행하는 추세에 있다. 이러한 전산유체역학 모델의 검증에 방사성동위원소(I-131, In-113m)

를 이용하여 모델의 정확성과 신뢰도를 향상시키기 위하여 지역환경시설공단에서 운영 중인 실제 장방형 침전조(50m×8m×3m)를 대상으로 연구를 수행하였다.

#### 나. 자연하천에서의 확산계수 측정

지속적이고 환경 친화적인 지표수의 개발을 위하여 고정밀도의 하천 거동 해석기술의 개발은 필수적이다. 이를 위해서는 하천 지표수의 개발이 하천의 흐름, 유사의 이동과 하상의 변화, 오염확산 등에 미치는 영향에 대한 종합적인 평가가 필요하다. 하천의 해석실무를 위하여 외국에서 개발된 수리모형에 의존해 왔으나, 국내 하천특성에 적합한 2차원 하천거동 해석모형의 개발이 시급한 실정이다. 이를 위한 연구의 일환으로 방사성동위원소를 이용하여 실제 자연하천에서의 확산계수를 측정하여 모델의 개발에 사용할 수 있도록 하였다. 기존에 염료를 이용하는 방법에서는 시료를 채취하고 이를 실험실에서 분광학적인 방법으로 계측, 분석하여야 하는 절차적인 문제로 인하여 계측오차가 상대적으로 높았다. 반면에 방사성추적자의 경우 소량(10ml)의 일시적 투입 후에 사전에 하천을 가로질러 설치해 놓은 검출기를 이용하여 각 지점에서의 시간에 따른 농도변화를 직접 계측하고 기록하므로 정확도가 매우 높다. 향후 오염확산 예측을 위한 수리학적 탐지시스템의 개발을 위하여 방사성동위원소 응용기술과의 연계를 포함한 체계적인 연구를 계획하고 있으며, 국내 하천오염 예측 시스템 및 지표수 관리기술에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

#### 다. 연안 표사의 거동추적

연안에서의 인위적 활동에 의한 수리현상의

변화는 표사 공급의 불균형을 야기시켜 해안선 변형, 항만 및 항만 퇴적물에 따른 천수화 등의 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 환경변화를 최소화하기 위하여 막대한 예산을 투입하여 외곽시설을 설치하고 양빈 및 준설 사업 등을 실시하고 있는 실정이다. 그러나 이런 현상들의 원인을 파악하기 위해서는 장기적이며 체계적이고 과학적인 연구를 통해 분석하고 나아가 이를 감시하고 방지할 수 있는 종합적인 대책이 필요하다. 방사성 표지화합물(Ir-192, Cr-51)을 이용한 표사의 동력학적 거동 추적실험은 현장에서 신뢰성 있는 데이터를 확보함으로써 이를 통한 수치모델의 검증은 물론 연안환경에서 발생하는 문제를 이해하고 분석하여 대응방안을 모색하는 과정에 중요한 역할을 할 수 있다. 현장실험을 통해 안의 월성과 부산 해운대 인근해역 등에서 수행한 바 있으며, 이를 위하여 방사성추적자 투입장치, 검출장치, 데이터 통합처리시스템 등 필수 기반장비를 개발하였고, 추적자로 사용하기 위한 방사성동위원소 표지 인공모래를 제조하였다. 약 4개월 이상의 추적실험으로 해저 표사의 이동방향 및 속도 등에 대한 정량적인 정보를 성공적으로 획득한 바 있다.

#### 라. 저수시설의 누수탐지

기존의 누수 탐사방법은 누수 지점이나 경로를 파악하기 어려우며, 결과 해석의 복잡성과 모호성이 내재하여 정확한 누수 원인 및 위치 파악이 어려운 실정이다. 그러나 방사성동위원소 이용기술은 이에 대한 상호보완적으로 직접적인 정보를 제공할 수 있으며, 국제원자력기구 등에서는 회원국들의 기술지원사업을 통한 관련기술의 보급과 전문연구팀의 구성을 위한 노력을 기울이고 있다. 자연에 존재하고

있는 동위원소들의 농도비를 이용하여 지하수의 연령(age), 지하수와 강수와의 관계(interconnection), 누수의 기원(seepage origin) 등에 관한 정보를 얻을 수 있다. 방사성동위원소를 인공적으로 투입함으로써 누수 현상의 발생지점에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.

이와 같은 기술로는 Radioactive cloud Migration Method과 Radioactive tracer Adsorption Method이 있다. 전자는 수용성 방사성동위원소를 이용하는 방법이고 후자는 흡착가능한 감마선 방출 동위원소를 추적자로 이용하는 방법이다. 이는 감마선을 방출하는 추적자를 저수지 바닥 부근에 전용 투입장치를 이용하여 투입한 후, 수중의 방사성추적자의 이동경로를 방수처리된 계측기와 보트를 이용하여 추적하는 방법으로서 주로 I-131, Br-82, Sc-46, Au-198 등의 동위원소를 사용한다. 최대 방사선 계측치를 보이는 지점이 누수위치에 해당하게 된다. 저수시설 내 누수 현상을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 물리·화학적 탐사기법과 아울러 동위원소를 이용한 추적기술을 이용하여 종합적인 결과해석이 필요하다. 현재 유관기관과의 협조를 통한 국내 소규모 저수지에서의 누수탐지 현장실험을 계획 중이며, 이를 위한 방사성동위원소 표지화합물의 제조와 투입, 검출기술 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

### 3. 향후전망

환경자원은 개발과 함께 보존에 대한 지대한 관심을 기울여야 한다. 이를 통하여 후손으로부터 빌려 쓰고 있는 자원의 지속적인 개발이

가능할 것이다. 방사성동위원소 이용기술을 환경산업 공정의 정기적 진단기술로 활용할 수 있게 하고 환경영향평가를 위한 실증자료 제공기술로의 활용을 확대시켜야 할 것이다. 해양과 자연하천 분야에 방사성동위원소를 이용한 자연현상 원인규명 및 거동분석 기술은 다른 방법으로는 측정하기 불가능한 정량적인 실측데이터를 제공한다. 이는 국내 연안과 하천 실정에 맞는 수치모델을 확보함으로써 추

가적인 관련 연구활동을 촉진하며, 향후 변화양상을 정확하게 예측함으로써 체계적인 보전계획을 위한 정책결정에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 국내 수자원 관리를 위한 방사성동위원소 이용기술은 이제 막 도입기를 지나 성장단계의 문턱에 이르고 있다. 지속적인 성장을 위해서는 폭넓은 적용기술 개발과 방사성동위원소 이용기술에 대한 국가적인 이해와 지원이 확대되어야 할 것이다. **KRIA**

