

## 월성 원자력발전소 주변 토양 및 물 시료에 대한 환경방사능 분포 특성

김은영, 윤윤열, 이길용, 고정석, 고동찬  
한국지질자원연구원, 대전광역시 과학로 92  
[keyzz@kigam.re.kr](mailto:keyzz@kigam.re.kr)

### 1. 서론

산업화 이후 대체에너지에 대한 관심이 높아지면서 원자력발전소를 건설하여 운영하고 있다. 원자력 발전소의 운영으로 여러 종류의 방사성 물질이 환경으로 방출되는데 방출된 핵종들은 각각의 화학적 물리적 특성에 따라 확산되어 사람에게 피폭을 주게 된다. 여러 가지 방사성 핵종들 중  $^{137}\text{Cs}$ 의 경우는 용해도가 아주 높아 핵폐기물의 처리에 있어서 주의를 요하는 원소 중 하나로 반감기가 30.2년으로 긴 편이다. 과거 핵실험 및 체르노빌 원자력발전소의 사고로 많은 양의 방사성물질이 대량 방출되어 대기 중 또는 지표토를 오염시키고 현재에도 토양에서 검출되고 있다.

삼중수소는 자연계에서 우주선에 의해 생성된 중성자와 대기 중 질소와 중수소가 반응하여 생성된다. 인위적 요인으로는 과거 대기권에서의 핵실험과 원자력발전소의 운영으로 인한 기체-액체 방출에 의한 것이다. 월성 원자력발전소는 중수로형 발전소로 중수를 사용하기 때문에 경수로형 원자로에 비하여 삼중수소의 생성이 약 100배 정도 더 높은 것으로 알려져 있다. 원자력발전소의 가동에 따라 감속재와 냉각재에 축적되는 유해방사성 물질이므로 삼중수소 방사능농도를 측정하고 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 월성 원자력발전소 부지 주변지역을 대상으로 표층토에 대한 환경방사능 핵종 분포와 물 시료에 대해 삼중수소의 농도를 조사하였다. 월성 원자력발전소를 중심으로 환경방사능의 지형적 요소(거리, 고도)에 따른 공간적인 분포 특성 및 방사능 농도를 분석하였고 더불어 토양의 화학적 특성을 분석하여 이들간의 관계를 알아보았다.

### 2. 실험 및 결과

월성 원자력발전소 주변 토양 및 물 시료를 부지 반경으로부터 거리, 풍향 등을 고려하여 토양 32개, 지표수 5개, 지하수 15개의 시료를 채취하였다. 채취한 토양은 수분을 제거하기 위해 전기 오븐 80°C에서 24시간 이상 건조한 후 체분리하여 2mm 미만의 토양 시료를 실험에 사용하였다. 전처리한 토양 시료에 대해서 환경방사능 핵종과 토양의 화학적 특성인 양이온치환용량(CEC)과 총유기탄소(TOC)를 분석하였다. 물 시료는 전해농축 장치와 극저준위 Quantulus 1220 액체시정광계수기를 이용하여 삼중수소를 측정하였다.

토양에 대한 환경방사능 분석 결과 천연방사능 핵종인  $^{40}\text{K}$ 는 284.92~1274.56 Bq/kg-dry (평균 876.66 Bq/kg-dry)의 농도 값을 보였다. 인공방사능 핵종으로는  $^{137}\text{Cs}$ 가 불검출 수준에서 32.68 Bq/kg-dry (평균 9.68 Bq/kg-dry)으로 과거 5년간 측정된 평상범위를 약간 벗어났지만 우리나라 전역에서 검출되고 있는 수준(<0.700~28.1 Bq/kg-dry)으로 이는 과거 대기권 핵실험의 잔존물로 판단되며 방사능 오염의 결과로 보기는 어렵다. 천연방사성 핵종인  $^{40}\text{K}$ 와 인공방사능 핵종인  $^{137}\text{Cs}$ 를 제외하고는 그 외의 분석 대상 원소들이 MDA(minimum detectable activity) 이하를 보여주고 있어 방사능 오염이 진행되어지지 않은 상태라 보여진다.

인공방사성 핵종인  $^{137}\text{Cs}$  농도의 공간적인 분포를 보면 지형적 요소(반경, 고도)에 따른 농도 값의 차이는 뚜렷히 보이지 않는다 (Fig 1(a)).  $^{137}\text{Cs}$ 의 경우 퇴적물 중에 칼슘, 마그네슘 등의 성분이 많이 함유되면 반응이 일어나 특히 실트에 흡착이 잘 되는데 높은 농도의 값을 보이는 시료의 토성이 모두 미사질양토에 해당한다. 반면 사토의 특성을 갖는 시료의  $^{137}\text{Cs}$ 의 농도가 가장 낮는데 이는 모래나 미사는 표면적이 매우 적기 때문에 CEC에 거의 기여하지 않기 때문으로 판단된다.

방사성핵종의 농도와 토양의 화학적 특성과의 관계를 보면 TOC와  $^{137}\text{Cs}$ 는 양호한 양의 상관성을 보인다 ( $R=0.63$ ). 이는 강우나 분진형태로 지표에 떨어진 방사성 Cs이 토양 내 유기물에 의해 흡착되어 유기물 성분이 방사성 핵종과 토양과의 착물을 형성시켜 유기물 함량이 높을수록 방사능 농도가 증가된다고 생각한다. 반면 CEC와  $^{137}\text{Cs}$ 는 상관성을 보이지 않는데 이는 실제 토양은 다양한 광물과 유기물 등으로 이루어진 복합체이므로 수리지질학적 특성이나 강우, 지형 등에 의하여 흡착되는 정도가 달라질 수 있기 때문으로 판단된다. 천연방사성 핵종인  $^{40}\text{K}$ 의 경우 토양 내 함량은  $^{137}\text{Cs}$ 과는 달리 모체인 근원

암에 의해 지배되기 때문에 토양의 화학적 특성이나 연구지역의 지형적 요소(반경, 고도)와 풍향과는 무관한 것으로 판단된다.

월성 원자력발전소 부근 지질과의 관계를 보면  $^{40}\text{K}$ 의 농도가 높은 곳의 지질은 제3기의 화강암류에 근원을 둔 화강암 계열의 지질과 매우 밀접한 관련성을 보여준다 (Fig 1(b)). 특히 중립질의 흑운모화강암과 화강섬록암 지역으로 암석이 풍화되어 토양 내  $^{40}\text{K}$ 의 농도가 높은 것으로 판단된다. 높은 농도를 보이는 일부 시료는 이동성이 강한 칼륨의 특성 때문에 주변 화강암류의 풍화에 의해 생성된 칼륨의 영향이라고 판단된다.

물 시료에 대한 삼중수소 분석결과 지하수 내 삼중수소 농도는 0.25~48.34 TU (평균 12.16 TU)이고 지표수 내 삼중수소 농도는 10.23~39.86 TU (평균 24.44 TU)의 값을 갖는다 (Fig 1(c)). 지표수의 경우 다른 시료에 비해 KJ-07과 KJ-13번의 시료에 대한 삼중수소의 높은 농도 값을 갖는다. KJ-07의 경우 원전부지에서 가장 가까운 저수지의 시료로 원전 가동에 의해 대기중으로 방출된 방사성 핵종의 영향을 가장 많이 받은 것으로 판단된다. KJ-12의 시료는 원전부지의 북북서쪽에 위치한 저수지 시료로 연구지역의 남풍에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 지하수의 경우는 거리와 방향에 따른 농도 값의 차이가 크지 않는다.

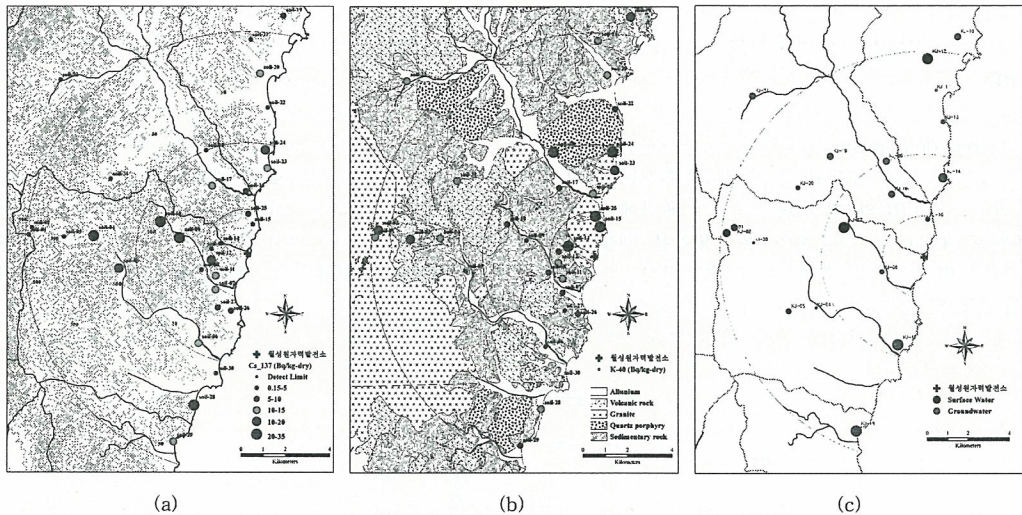


Fig 1. Distribution map of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^3\text{H}$  concentrations of study area.

### 3. 결론

월성 원자력발전소 주변 토양의 환경방사능 측정 결과 천연방사성 핵종인  $^{40}\text{K}$ 와 불검출 수준에서 32.68 Bq/kg-dry 수준으로 인공방사능 핵종인  $^{137}\text{Cs}$ 을 제외하고는 검출되지 않아 방사능 오염이 진행되어지지 않은 상태라 보여진다.  $^{137}\text{Cs}$ 의 분포는 지형적요인(반경, 고도)보다 토양의 화학적 특성인 TOC와 토성에 따라 분포 특성을 보이는 것으로 판단된다. 특히 TOC와 상관성이 높은데 이는 토양 내 Cs이 유기물에 의해 흡착되어 존재하기 때문으로 판단된다. 반면  $^{40}\text{K}$ 는 화강암류에 근원을 둔 화강암 계열의 지질과 매우 밀접한 관련성을 보인다. 특히 흑운모화강암과 화강섬록암이 풍화되어 토양 내  $^{40}\text{K}$ 의 농도가 높은 것으로 판단된다. 삼중수소는 지하수에 비해 지표수에서 높은 농도의 값을 보이고 지표수의 경우는 비교적 지형적인 요인(반경)과 풍향의 영향을 받는 것으로 판단된다.

### 사사

이 연구는 한국지질자원연구원의 기관목적사업인 “지구환경변화 대응 지하수 확보 통합솔루션 개발 (09-4314)”의 일환으로 수행되었습니다.