

## 경주 방폐장 주변 토양에 대한 방사성 Sr과 Cs의 지하이동 실험

최용호, 임광목, 전인, 박두원, 금동권  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 150  
 yhchoil@kaeri.re.kr

## 1. 서론

우리나라에는 전국적으로 논의 많이 분포되어 있다. 원자력시설로부터 방사성 물질이 방출되면 방사성 물질이 논에 직접 침적하거나 관개를 통하여 논에 유입될 수 있다. 논토양은 관개 기간 동안 물로 포화되어 있으므로 논물이 계속 지하로 침투한다. 이에 따라 논물과 함께 방사성 핵종도 지하로 용탈되어 지하수나 인근의 수피를 오염시킬 가능성이 있다[1]. 본 연구에서는 경주 방폐장 주변 세 곳의 논에서 채취한 토양에 대하여 방사성 Sr과 Cs가 모내기 직후에 위와 같은 경로로 유입되는 것을 모사하고 토양 깊이별 농도 분포와 지하 용탈 정도를 조사하였다.

## 2. 본론

## 2.1 재료 및 방법

채취한 토양을 자연 건조한 다음 가로 30 cm, 세로 30 cm, 높이 40 cm인 철제 흙상자에 30.4 kg씩 담고 관개한 후 모내기하였다. 상자 바닥에는 약 4 cm 깊이로 쇠석을 깔았다. 흙상자는 RI 실험온실 내에 배치하였다. 세 가지 토양의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다. 모내기 다음 날 상자 당  $^{85}\text{Sr}$ 와  $^{137}\text{Cs}$ 의 혼합 방사성 용액(ml 당 48 kBq- $^{85}\text{Sr}$  및 56 kBq- $^{137}\text{Cs}$ ) 25 ml씩을 마이크로피펫을 이용하여 지표수의 표면 25 곳에 1 ml씩 고루 살포하였다. 벼는 온실에서 가능한 한 관행에 준하여 재배하였다. 우리나라의 논에서 관개기간 동안 평균적으로 550 mm의 물이 지하로 침투한다는 보고[2]에 입각하여 매 주 상자 당 3.4 L의 물을 배출하고 배출수 내  $^{85}\text{Sr}$ 과  $^{137}\text{Cs}$ 의 농도를 측정하였다. 벼의 수확 후 8 일 경과시 지하 20 cm까지의 토양을 채취하여 깊이별로 농도분포를 조사하였다.

Table 1. Physicochemical properties of the soils studied

Soil	pH (1:5)	O.M. <sup>a</sup> (%)	CEC <sup>b</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	E.C. (cmol kg <sup>-1</sup> )		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
				K	Ca				
Soil A	5.5	4.4	8.2	0.4	6.3	46.2	43.6	10.2	Loam
Soil B	5.4	3.3	16.3	0.8	14.9	10.6	69.5	19.9	Sandy loam
Soil C	5.6	2.4	12.8	0.6	6.2	21.5	50.3	28.2	Clayey loam

<sup>a</sup> Organic matter

<sup>b</sup> Cation exchange capacity.

## 2.2 결과 및 고찰

그림 1과 2는 각각 시간 경과에 따른 배출수 내  $^{85}\text{Sr}$ 과  $^{137}\text{Cs}$ 의 농도를 나타내고 있다. 배출수 내 농도는  $^{85}\text{Sr}$ 가  $^{137}\text{Cs}$ 보다 최고 수백 배까지 높았다. 이것은  $^{137}\text{Cs}$ 이  $^{85}\text{Sr}$ 에 비해 훨씬 쉽게 토양에 흡착·고정되기 때문인 것으로 판단된다.  $^{137}\text{Cs}$  농도는 세 토양에서 모두 처음 약 60-70 일 동안 서서히 감소하다가 2 주만에 10 배 정도 급히 감소한 다음 종료시까지의 토양 간에 다소 다른 변화양상을 보였다.  $^{137}\text{Cs}$  농도가 초기에 서서히 감소한 것은 토양과 약하게 결합된 것들이 처음부터 빨리 용탈되어 점점 고갈되었기 때문인 것으로 보인다. 한편,  $^{85}\text{Sr}$  농도는 C 토양의 경우 처음부터 종료시까지 계속 서서히 증가하였으나 A와 B토양에서는 처음 약 60 일 동안 큰 변화가 없다가 이후 2 주만에 10 배 이상 감소한 다음 종료시까지 서서히 증가하는 경향이었다. 두 핵종 모두 지표수 오염 후 60-70 일 경과한 이후에 농도가 급격히 감소한 것은 중간낙수의 영향인 것으로 판단된다. 중간낙수로 인하여 상층토에서 물이 빠지면 산화상태로 진행되어 무기이온들의 용해도가 대체로 낮아지는 것으로 알려져 있다[2,3]. 토양 간에 두 핵종의 배출수 내 농도는 C 토양의  $^{85}\text{Sr}$  농도만 A와 B 토양에 비해 현저히 높았을 뿐 다른 경우에는 전반적으로 큰 차이가 없었다.

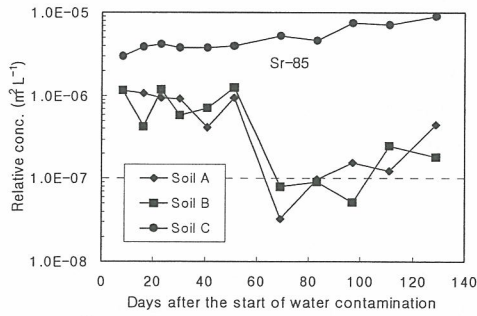


Fig. 1. <sup>85</sup>Sr concentrations in percolating water.

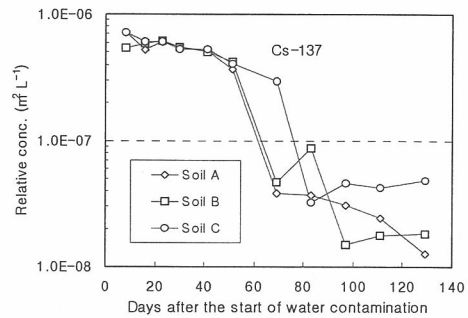


Fig. 2. <sup>137</sup>Cs concentrations in percolating water.

시간 경과에 따른 배출수 내 핵종의 농도로부터 구한 <sup>85</sup>Sr과 <sup>137</sup>Cs의 용탈률은 각각 토양에 따라 0.027-0.32% 및 0.015-0.018%에 불과하였다. C 토양에서는 <sup>85</sup>Sr의 용탈률이 <sup>137</sup>Cs에 비해 20 배 가까이 높았으나 A와 B 토양에서는 핵종 간에 큰 차이가 없었다. 벼 수확후 조사한 지하 20 cm까지의 방사능 분포는 두 핵종 모두 토양 깊이에 따라 지수함수적으로 농도가 감소하는 경향이였다. <sup>85</sup>Sr의 경우 지하 6 cm, <sup>137</sup>Cs의 경우 지하 3 cm 내에 거의 100% 분포하였고 지하 11-20 cm 층위에는 많아야 0.2% 정도 분포하는 것으로 나타나 지하 20 cm 밑에는 <sup>85</sup>Sr와 <sup>137</sup>Cs이 거의 존재하지 않는 것으로 추정되었다. 방사성 Cs의 표층 편재 현상은 여러 연구자들[4,5]에 의해 보고된 바 있다. 이상과 같은 실험결과에 의하면 본 논토양에 방사성 Sr과 Cs가 대기나 관개수를 통하여 유입되어도 지하이동에 따른 오염 확산은 크지 않을 것이라는 예상이 가능하다.

### 3. 결론

경주 방폐장 주변에서 채취한 논토양에서의 방사성 Sr과 Cs의 용탈률은 미미한 수준이었고 벼 수확 후에도 거의 모든 방사능이 지하 수 cm 이내에 존재하는 것으로 조사되었다. 이것은 논토양이 이들로 오염되었을 경우 지하이동에 따른 오염 확산이 심각할 정도일 가능성은 비교적 낮다는 것을 암시한다. 그러나 논에서 방사성 핵종의 지하이동은 토양의 특성, 영농법 등에 따라 크게 달라질 수 있으므로 가능한 한 부지 특성 자료를 많이 생산하여 유사시에 적절한 대책을 세우는 데 활용될 수 있도록 해야 할 것이다.

### 감사의 말씀

이 연구는 교육과학기술부의 지원을 받은 원자력중장기연구사업의 결과물입니다.

### 참고문헌

- [1] Y.H. Choi, K.M. Lim, H.J. Choi, G.S. Choi, H.S. Lee and C.W. Lee, "Plant uptake and downward migration of <sup>85</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs after their deposition on to flooded rice fields: lysimeter experiments with and without the addition of KCl and lime," J. Environ. Radioactivity, 79, pp. 35-49 (2005).
- [2] 이은용, 수도작, 향문사, 서울 (1996).
- [3] 조성진, 박천서, 엄대익, 토양학 (삼정), 향문사, 서울 (1997).
- [4] S. Askbrant, J. Melin, J. Sandalls et al., "Mobility of radionuclides in undisturbed and cultivated soils in Ukraine, Belarus and Russia six years after the Chernobyl fallout," J. Environ. Radioactivity, 31, pp. 287-312 (1996).
- [5] F.R. Livens, A.D. Horill and D.L. Singleton, "Distribution of radiocesium in the soil-plant systems of upland areas of Europe," Health Physics, 60, pp. 539-545 (1991).