

## 경주 방폐장 주변 농토양에 대한 벼의 방사성 Iodine 전이계수

임광목, 전인, 박두원, 최용호, 금동권  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
 kmlim@kaeri.re.kr

### 1. 서론

토양-작물체 전이계수(Transfer Factor, TF)는 토양으로부터 작물체로 방사성 핵종이 전이되는 정도를 나타내는 파라메타로서 오염된 토양에서 재배되는 작물체 내 핵종의 농도를 예측하는데 이용된다. 전이계수는 통상 아래와 같이 두 가지로 정의되고 있다<sup>1)</sup>.

$$TF_m = \frac{\text{작물체 내 핵종 농도 (Bq/kg)}}{\text{토양 내 핵종 농도 (Bq/kg-dry)}} \quad (3-1)$$

$$TF_a = \frac{\text{작물체 내 핵종 농도 (Bq/kg)}}{\text{핵종의 토양 침적 밀도 (Bq/m}^2\text{)}} \quad (3-2)$$

TF<sub>m</sub>(dimensionless)은 핵종이 일정한 깊이의 토양 내에 고르게 분포하고 있는 경우에 적용할 수 있다. 경작지에서는 일반적으로 발갈이에 의해 방사성 핵종이 일정한 깊이로 섞이게 되므로 원자력 시설의 정상가동에 따른 장기간 방출에 대해서는 TF<sub>m</sub>을 사용하고 있다. 이와 달리 작물의 생육 중에 일시적인 사고 방출이 일어나면 다량의 방사성 핵종이 지표(벼의 경우 수표면)에 침적하여 작물을 수확할 때까지 주로 지표 부근에 분포하게 된다. 이러한 경우에는 TF<sub>a</sub>(m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>)를 사용하는 것이 적합하다<sup>1)</sup>. 위와 같이 오염 유형별로 다른 전이계수를 적용할 필요가 있고 또한 전이계수는 환경특성에 따라 크게 변하는 것이 보통이므로 보다 현실적인 평가를 위해서는 국내 고유의 자료를 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 우리나라에서는 벼에 대한 방사성 iodine의 전이계수는 TF<sub>m</sub>과 TF<sub>a</sub> 모두 조사된 예를 찾기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 처분장 주변 세 가지 농토양에 있어서 벼에 대한 방사성 iodine의 TF<sub>m</sub>과 TF<sub>a</sub>를 측정하였다.

### 2. 재료 및 방법

경주 방사성 폐기물 처분장 주변 반경 5 km 내 세 곳에서 농토양을 채취하고 벼의 방사성 iodine 전이계수를 조사하였다. 토양의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다.

Table 1. Physicochemical properties of the soils used in the experiment

Soil code	Sampling place	pH (1:5)	O.M. (%)	A.P. (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
GJ-1	Daebonri	5.5	4.4	53.5	8.2	46.2	43.6	10.2	loam
GJ-2	Googilri	5.4	3.3	14.7	16.3	10.6	69.5	19.9	silty loam
GJ-3	Eupchonri	5.6	2.4	9.3	12.8	21.5	50.3	28.2	clayey loam

O.M. : Organic matter, A.P. : Available phosphorus, CEC : Cation exchange capacity,

TF<sub>m</sub> 및 TF<sub>a</sub>의 측정은 각기 3반복으로 수행되었다. 이를 위해 21 개의 재배상자(30cm×30cm×40cm)에 논을 모사하고 관행에 준하여 벼를 재배하였다. TF<sub>m</sub>의 측정을 위해서는 모내기(5월 22일) 약 4 주 전(4월 23일)에 <sup>125</sup>I 용액 30 ml(143 kBq ml<sup>-1</sup>)과 상부 약 20 cm에 해당하는 건조토양(20.4 kg)을 토양혼합기를 이용하여 골고루 섞은 다음 하부에 약간의 자갈과 비오염 토양(10 kg)이 담겨진 재배상자에 투입하고 관개하였다. TF<sub>a</sub>의 측정은 모내기한 다음 날에 25 ml의 <sup>125</sup>I 용액을 재배상자의 수표면에 균일하게 살포하고 실시하였다. 벼의 수확은 모내기 후 146일(10월 15일)에 하였다. 수확한 시료는 온실에서 한 달 가량 자연 건조한 다음 γ-spectrometry법을 이용하여 방사능을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 지표층 혼합시 전이계수 (TF<sub>m</sub>)

표 2는 상부 약 20cm의 토양을 <sup>125</sup>I와 혼합 처리한 후 관개하고 벼를 육성하여 구한 방사성 iodine의 토양-작물체 전이계수(TF<sub>m</sub>)를 나타내고 있다. 세 토양에서 벼짚의 <sup>125</sup>I 전이계수는 4.2×10<sup>-1</sup>~6.3×10<sup>-1</sup>의 범위로 토양 간에 큰 차이가 없었으나 GJ-1 토양에서 타 토양에 비해 다소 낮은 편이었다. 쌀알에서는 토양에 따라 1.1×10<sup>-3</sup>~6.4×10<sup>-3</sup>의 범위로 벼짚에 비해 수십~수백 배 작았고 또한 벼짚과 달리 GJ-1 토양에서 가장 컸다. 이로써 쌀알로의 <sup>125</sup>I의 전이는 벼의 전체 생육기간 동안의 흡수보다는 일정 기간, 즉 출수 전후 및 쌀알의 발육성기 동안의 흡수에 크게 좌우되며 본 실험에서는 GJ-1 토양에서 이 기간 동안의 흡수가 타 토양에 비해 컸던 것으로 추정된다. 쌀알과 벼짚의 <sup>125</sup>I 전이계수(TF<sub>m</sub>)의 대표치는 각각 표 2에서와 같이 2.9×10<sup>-3</sup> 및 5.4×10<sup>-1</sup> 정도로 제안될 수 있다. 그러나 이것은 제한된 자료에 입각한 것으로 차후 더 많은 조사로 최신화할 필요가 있다.

Table 2. 지표층 혼합실험에서 논토양별 방사성 iodine의 쌀알 및 벼짚 전이계수(TF<sub>m</sub>)

Soil	Transfer factor of radioiodine (TF <sub>m</sub> , dimensionless)	
	Rice seeds	Rice straws
GJ-1	6.4×10 <sup>-3</sup> ± 7.3×10 <sup>-4</sup>	4.2×10 <sup>-1</sup> ± 2.5×10 <sup>-2</sup>
GJ-2	3.4×10 <sup>-3</sup> ± 4.9×10 <sup>-4</sup>	6.3×10 <sup>-1</sup> ± 3.7×10 <sup>-2</sup>
GJ-3	1.1×10 <sup>-3</sup> ± 5.3×10 <sup>-4</sup>	6.0×10 <sup>-1</sup> ± 1.7×10 <sup>-1</sup>
AM±SD	3.6×10 <sup>-3</sup> ± 2.6×10 <sup>-3</sup>	5.5×10 <sup>-1</sup> ± 1.2×10 <sup>-1</sup>
GM/GSD	2.9×10 <sup>-3</sup> / 2.40	5.4×10 <sup>-1</sup> / 1.26

AM: 산술평균, SD: 표준편차, GM: 기하평균, GSD: 기하표준편차

2) 표면수 직접오염시 전이계수 (TF<sub>a</sub>)

표 3은 모내기 다음 날 <sup>125</sup>I 용액을 표면수에 침적 처리하고 조사한 방사성 iodine의 전이계수(TF<sub>a</sub>, m<sup>2</sup>kg<sup>-1</sup>)를 나타내고 있다. 여기서도 부위 및 토양 간 전이계수 차이의 경향은 지표층 혼합 실험과 대체로 유사하였으나 부위 간 차이는 10 배 정도에 불과한 반면에 토양 간 차이는 특히 쌀알에서 GJ-1과 GJ-3 간에 30 배 정도로 지표층 혼합 실험에 비해 훨씬 컸다. TF<sub>m</sub>과 TF<sub>a</sub>를 비교하기 위해서는 TF<sub>m</sub>을 TF<sub>a</sub>와 같은 단위의 물리량으로 환산해야 한다. 이것은 TF<sub>m</sub>에서의 작물체 내 <sup>125</sup>I의 농도(Bq kg<sup>-1</sup>)를 단위면적당 <sup>125</sup>I 농도(Bq m<sup>-2</sup>)로 나누어 줌으로써 가능하다. 이와 같이 비교하면 토양 및 부위에 따라 TF<sub>a</sub>가 TF<sub>m</sub>보다 대체로 수~수십 배 높았다. TF<sub>a</sub>의 대표치로는 당분간 쌀알의 경우 2.0×10<sup>-4</sup>, 벼짚의 경우 3.1×10<sup>-3</sup> 정도를 사용하는 것이 적절할 것으로 보인다.

Table 3. 표면수 직접오염 시 논토양별 방사성 iodine의 쌀알 및 벼짚 전이계수(TF<sub>a</sub>)

Soil	Transfer factor of radioiodine (TF <sub>a</sub> , m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	
	Rice seeds	Rice straws
GJ-1	7.6×10 <sup>-4</sup> ± 1.3×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-3</sup> ± 4.0×10 <sup>-4</sup>
GJ-2	2.1×10 <sup>-4</sup> ± 3.3×10 <sup>-5</sup>	2.8×10 <sup>-3</sup> ± 2.3×10 <sup>-4</sup>
GJ-3	2.8×10 <sup>-5</sup> ± 1.2×10 <sup>-5</sup>	4.4×10 <sup>-3</sup> ± 3.7×10 <sup>-4</sup>
AM±SD	3.3×10 <sup>-4</sup> ± 3.8×10 <sup>-4</sup>	3.2×10 <sup>-3</sup> ± 1.0×10 <sup>-3</sup>
GM/GSD	1.7×10 <sup>-4</sup> / 5.25	3.1×10 <sup>-3</sup> / 1.34

AM: 산술평균, SD: 표준편차, GM: 기하평균, GSD: 기하표준편차.

4. 결론

경주 방폐장 부근 논토양을 대상으로 벼의 방사성 iodine 전이계수를 측정하고 대표치를 제안하였다. 제안된 대표치는 세 토양에 대한 측정치에 입각한 것이므로 차후 환경특성을 보다 충분히 반영할 수 있도록 더 많은 조사가 이루어 질 필요가 있다.

감사의 말씀

이 논문은 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Y.H. Choi, K.M. Lim, et al., Transfer of <sup>137</sup>Cs to rice plants from various paddy soils contaminated under flooded conditions at different growth stages. J. of Environmental Radioactivity 80, 45-58 (2005).