

## 경주 처분장 주변 밭토양에 대한 채소류의 방사성 Iodine 전이계수 측정

임광목, 전인, 박두원, 최용호, 금동권  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 kmlim@kaeri.re.kr

### 1. 서론

방사능으로 오염된 토양에서 작물을 재배하면 주로 뿌리흡수를 통하여 토양 내 방사성 핵종이 작물체로 전이된다. 토양으로부터 작물체로 방사성 핵종이 전이되는 정도는 통상 식 (1)과 같이 정의되는 토양-작물체 전이계수(TF)로 나타내고 있다. 이것은 오염된 토양에서 재배되는 작물체 내 핵종의 농도를 예측하는 데 필요한 파라메타로서 핵종이 작물의 생육 전 일정한 깊이의 토양 내에 고르게 분포하고 있는 경우에 적용할 수 있다<sup>1)</sup>.

$$TF = \frac{\text{작물체내핵종농도 (Bq/kg)}}{\text{토양내핵종농도 (Bq/kg - dry)}} \dots\dots\dots (1)$$

경작지에서는 일반적으로 파종 전 밭갈이에 의해 방사성 핵종이 일정한 깊이로 섞이게 되므로 원자력 시설의 정상가동 시에는 위와 같은 조건에 놓이게 된다고 할 수 있다. 우리나라의 주요 밭작물에 대해서 방폐장 운영시 문제가 되는 <sup>129</sup>I 등의 토양-작물체 전이계수에 대해서는 조사가 전무한 실정이며 이에 한국인이 주식으로 하는 밭작물인 배추와 무에 대하여 방폐장 주변 밭토양에 있어서의 방사성 iodine 전이계수(TF)를 온실실험을 통하여 측정코자 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 재료 및 방법

경주 방사성 폐기물 처분장 주변 반경 5 km 내에 분포하는 두 곳의 밭에서 토양을 채취하고 배추와 무에 대한 방사성 iodine의 토양-작물체 전이

계수를 조사하였다. 토양의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다.

전이계수 측정은 토양을 채워 밭을 모사한 재배상자(32cm(Φ)×30cm(h))를 사용하여 3반복으로 수행하였다. 이를 위해 16개의 재배상자를 실험온실 내에 배치하고 관행에 준하여 작물을 재배하였다(그림 1). 재배상자 당 토양의 양은 건조토 기준 20 kg이었다.



Fig. 1. Growing of vegetables in a greenhouse

TF의 측정을 위해 파종하기(8월 24일) 약 17일 전에 <sup>125</sup>I 용액 30ml('09.7.8 기준 462.5kBq/ml)과 건조토양(20kg)을 토양혼합기를 이용하여 골고루 섞은 다음 재배상자에 투입하고 관개하였다. 배추와 무의 수확은 파종 후 95일(11월 27일)에 하였다. 수확한 무 시료는 뿌리와 경엽부로 나누어 뿌리에 묻은 흙을 깨끗이 제거하고 가위로 잘라 자연 건조 후 95°C의 건조기에서 20시간 더 건조한 다음 잘게 분쇄하여 계측용기에 담았다. 배추 시료는 경엽부만 취하여 무와 같이 처리하였다. 이와 같이 계측용기에 담긴 시료에 대하여 HPGe detector를 이용한  $\gamma$ -spectrometry법으로 <sup>125</sup>I 농도를 측정하고 전이계수를 계산하였다.

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

Sampling place	pH (1:5)	O.M. (%)	A.P. (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	Soil texture
Daebonri	5.01	2.31	79.03	12.48	2.98	1.42	0.52	0.14	silty loam
Eupcheonri	6.78	3.06	104.70	23.29	15.63	4.32	1.17	0.22	silty loam

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

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 배추

배추에 대한 <sup>125</sup>I의 TF 값은 표 2와 같다. 두 토양 간 TF 값은 대본리 토양이 읍천리 토양보다 4 배 가량 높았다. 요오드의 토양 흡착에는 유기물과 점토가 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 토양 pH에 대해서는 pH가 낮을수록 요오드의 토양 흡착이 증대한다는 보고가 있는 반면에 pH가 낮은 토양에서 전이계수가 높게 측정된 경우도 있다. 본 실험에서 관찰된 토양 간 차이는 이러한 여러 요인들이 복합적으로 작용한 결과인 것으로 판단된다.

배추의 <sup>125</sup>I 전이계수(TF)의 대표치로는 두 토양에 대한 산술평균으로서 생체중 기준의 경우  $8.8 \times 10^{-3}$ , 건조중 기준의 경우  $9.3 \times 10^{-2}$  정도로 제안될 수 있다. 이는 IAEA가 가용자료가 두 개일 경우 산술평균을 사용하는데 따른 것이다. 건조중 기준의 대표치는 IAEA의 handbook<sup>2)</sup>에서 엽채류에 대한 일반치로 제안하고 있는  $6.5 \times 10^{-3}$ 에 비해 14배 가량 높다. 이러한 차이는 IAEA 값이 주로 서양의 엽채류 자료에 근거한 결과인 것으로 볼 수 있겠다. 따라서 국내 고유의 자료를 평가에 이용하려는 노력과 차후 추가적인 조사를 통하여 보완할 필요가 있다. 한편 건조중 기준의 TF 값은 건조 정도에 따라 꽤 크게 달라질 수 있으므로 생체중 기준으로 환산할 때 불확실성이 비교적 크다. 따라서 채소류의 경우 가능한 한 생체중 기준의 자료를 생산·이용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

Table 2. Transfer factor of <sup>125</sup>I for Chinese cabbage

Soil	Transfer factor of <sup>125</sup> I for Chinese cabbage (TF, dimensionless)	
	Leaves (fresh)	Leaves (dry)
Daebonri	$1.4 \times 10^{-2} \pm 1.3 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-1} \pm 1.7 \times 10^{-2}$
Eupcheonri	$3.1 \times 10^{-3} \pm 4.1 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-2} \pm 4.6 \times 10^{-3}$
AM±SD	$8.8 \times 10^{-3} \pm 8.0 \times 10^{-3}$	$9.3 \times 10^{-2} \pm 8.4 \times 10^{-2}$
GM/GSD	$6.7 \times 10^{-3} / 2.96$	$7.2 \times 10^{-2} / 2.92$

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

2.2.2 무

표 3은 무 부위별 <sup>125</sup>I의 TF 값을 보여 주고 있다. 무의 경우에도 배추와 유사하게 대본리 토양에서 읍천리 토양에 비해 TF 값이 수 배 높았다.

부위 간에는 잎사귀의 TF 값이 뿌리에 비해 두세 배 정도 높았다. 우리나라에서는 무의 잎사귀도 식용으로 많이 소비되므로 TF 값 적용시 이러한 부위 간 차이를 고려할 필요가 있다.

여기서도 대표치로는 산술평균으로서 뿌리와 경엽부에 대해 생체중 기준으로는 각각  $1.6 \times 10^{-2}$ 와  $5.2 \times 10^{-2}$ , 건조중 기준으로는 각각  $2.4 \times 10^{-1}$ 와  $4.7 \times 10^{-1}$  정도로 제안될 수 있다. 한편, IAEA는 근채류 뿌리에 대한 iodine 전이계수의 일반치로서  $7.7 \times 10^{-3}$ (건조중 기준)을 제시하고 있다. 본 실험 결과는 이에 비해 30배 가량 높다. 이는 주로 IAEA가 참조한 근채류와 우리나라 무의 식물생리학적 특성이 크게 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 가능한 한 국내에서 재배되는 작물에 대한 자료를 사용할 필요가 있다.

Table 3. Transfer factor of <sup>125</sup>I for in different parts of the radish

Soil	Transfer factor of <sup>125</sup> I for radish (TF, dimensionless)			
	Roots (fresh)	Leaves (fresh)	Roots (dry)	Leaves (dry)
Daebonri	$2.8 \times 10^{-2} \pm 4.4 \times 10^{-3}$	$8.6 \times 10^{-2} \pm 3.6 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-1} \pm 3.2 \times 10^{-2}$	$8.5 \times 10^{-1} \pm 5.1 \times 10^{-2}$
Eupcheonri	$3.6 \times 10^{-3} \pm 6.7 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-2} \pm 5.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-2} \pm 7.6 \times 10^{-3}$	$9.2 \times 10^{-2} \pm 6.6 \times 10^{-3}$
AM±SD	$1.6 \times 10^{-2} \pm 1.7 \times 10^{-2}$	$5.2 \times 10^{-2} \pm 4.9 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-1} \pm 2.6 \times 10^{-1}$	$4.7 \times 10^{-1} \pm 5.3 \times 10^{-1}$
GM/GSD	$1.0 \times 10^{-2} / 4.30$	$3.9 \times 10^{-2} / 3.12$	$1.6 \times 10^{-1} / 4.06$	$2.8 \times 10^{-1} / 4.80$

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

3. 결론

경주 방폐장 부근 발토양을 대상으로 배추와 무에 대한 토양-작물체 방사성 iodine 전이계수를 측정하고 대표치를 제안하였다. 제안된 대표치는 두 토양에 대한 측정치에 입각한 것이므로 차후 환경특성을 보다 충분히 반영할 수 있도록 더 많은 곳에 대한 조사가 이루어 질 필요가 있다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 최용호 등, KAERI/TR-1993/2001, 2001.
- [2] IAEA, Technical Reports Series 472, 2010.