

경주 처분장 주변 밭토양에 대한 채소류의 ⁹⁹Tc 전이계수 측정

임광목 · 전인 · 최용호 · 최상도 · 금동권

한국원자력연구원

E-mail: kmlim@kaeri.re.kr

중심어 : 밭, 무, 배추, Tc, 전이계수, 실험온실

서론

방사성 핵종으로 오염된 농경지에서 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 있다¹⁾.

$$TF = \frac{\text{작물체내 핵종농도}(Bq/kg - \text{dry})}{\text{토양내 핵종농도}(Bq/kg - \text{dry})} \dots\dots(1)$$

경작지에서는 일반적으로 파종 전 밭갈이에 의해 방사성 핵종이 일정한 깊이로 섞이게 되므로 원자력 시설의 정상 가동 시에는 위와 같은 조건에 놓이게 된다고 할 수 있다. 우리나라의 주요 밭작물에 대해서 방폐장 운영시 문제가 되는 ⁹⁹Tc 등의 토양-작물체 전이계수에 대해서는 조사가 전무한 실정이며 이에 한국인이 주식으로 하는 밭작물인 무와 배추에 대하여 경주 처분장 주변 밭토양에 있어서의 ⁹⁹Tc 전이계수(TF)를 온실실험을 통하여 측정코자 하였다.

재료 및 방법

경주 처분장 주변 반경 5 km 내에 분포하는 두 곳의 밭에서 토양을 채취하여 원자력연구원 실험온실로

운반한 다음 자연 건조하였다. 표 1은 두 토양의 물리·화학적 특성을 나타내고 있다.

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

Soil	pH (1:5)	O.M. (%)	A.P. (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	EC (cmol/kg)		Soil texture
					K	Ca	
Daebon	4.65	2.27	99.72	15.86	1.19	1.85	C.L.
Eupcheon	7.16	2.59	145.03	30.16	1.75	13.64	C.L.

토양-작물체 전이계수 측정은 토양을 채워 밭을 모사한 재배상자(직경 31 cm, 높이 30 cm, 상자당 건조 토 20 kg)에서 3 반복으로 수행하였으며 이를 위해 16개의 재배상자를 실험온실 내에 배치하고 관행에 준하여 작물을 재배하였다(그림 1). 작물체에 대한 TF 측정을 위해서 파종하기(8월 26일) 약 3주 전에 ⁹⁹Tc 용액 30 ml(23.1 kBq/ml)과 건조토양(20 kg)을 토양혼합기를 이용하여 골고루 섞은 다음 재배상자에 투입하고 관개하였다. 무와 배추의 수확은 11월 17일(파종 후 83일)에 하였다. 수확한 무 시료는 뿌리와 경엽부로 나누어 뿌리에 묻은 흙을 깨끗이 제거하고 칼로 잘라 온실에서 자연 건조 후 95 °C의 건조기에서 재차 건조한 다음 잘게 분쇄하였다. 배추 시료는 경엽부만 취하여 무와 같이 처리하였다. 잘게 분쇄한



Fig. 1. Vegetables growing in a greenhouse

시료들을 250-550 °C로 조절된 전기로에서 9시간 회화하였다. 회분시료를 직경 5 cm의 planchet에 약 0.1 g씩 담고 전베타 계수법으로 ⁹⁹Tc 농도를 측정하고 전이계수를 계산하였다.

결과 및 고찰

무 부위별 ⁹⁹Tc의 TF 값은 표 2와 같다. 대본리와 읍천리 두 토양 간에 TF 값은 큰 차이가 없었다. 그러나 부위 간에는 잎사귀가 뿌리에 비해 수 십배 높은 값을 나타내었다. 우리나라에서는 무의 잎사귀도 식용으로 소비되므로 TF 값 적용 시 이러한 부위 간 차이가 고려되어야 할 것이다. 밭 토양에서는 ⁹⁹Tc가 주로 산화 생태인 TcO₄⁻의 형태로 존재하므로 토양 기질에 잘 흡착되지 않고 작물체에 용이하게 흡수되는 것으로 알려져 있다. 따라서 이전에 조사된 타 핵종에 비해 전이계수가 훨씬 높은 값을 나타내고 있다.

무에 대한 ⁹⁹Tc 전이계수(TF)의 대표치로는 두 토양에 대한 산술평균(n=2이므로)으로서 뿌리와 경엽부에 대해 생체중 기준의 경우 각각 9.0×10^{-1} 및 2.8×10^1 , 건조중 기준의 경우 각각 1.2×10^1 및 3.2×10^2 정도로 제안될 수 있다. 건조중 기준의 대표치는 IAEA의 전이인자 handbook(TRS-472)²⁾에서 근채류 뿌리에 대한 ⁹⁹Tc 전이계수의 일반치로 제시되어 있는 4.6×10^1 에 비해 몇 배 낮다. 이것은 주로 서구의 근채류와 우리나라 무의 식물생리학적 특성이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 같은 유형의 작물이라도 가능한 한 국내 재배종에 대한 자료를 사용할 필요가 있다.

Table 2. Transfer factor of ⁹⁹Tc for in different parts of the radish

Soil	Transfer factor of ⁹⁹ Tc for radish (TF, dimensionless)			
	Roots(fresh)	Leaves(fresh)	Roots(dry)	Leaves(dry)
Daebon	$8.0 \times 10^{-1} \pm 5.6 \times 10^{-2}$	$3.1 \times 10^1 \pm 1.1 \times 10^0$	$1.1 \times 10^1 \pm 1.4 \times 10^0$	$3.5 \times 10^2 \pm 2.7 \times 10^1$
Eupcheon	$1.0 \times 10^0 \pm 1.2 \times 10^{-1}$	$2.6 \times 10^1 \pm 5.5 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^1 \pm 2.9 \times 10^0$	$3.0 \times 10^2 \pm 1.4 \times 10^1$
AM±SD	$9.0 \times 10^{-1} \pm 1.5 \times 10^{-1}$	$2.8 \times 10^1 \pm 3.3 \times 10^0$	$1.2 \times 10^1 \pm 1.9 \times 10^0$	$3.2 \times 10^2 \pm 4.0 \times 10^1$
GM/GSD	$9.0 \times 10^{-1} / 1.18$	$2.8 \times 10^1 / 1.12$	$1.2 \times 10^1 / 1.17$	$3.2 \times 10^2 / 1.13$

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

표 3은 배추의 가식 부위에 대한 ⁹⁹Tc의 TF 값을 보여 주고 있다. 배추의 경우에도 무와 유사하게 두 토양 간에 TF 값이 큰 차이가 없었다.

배추에 대해서도 대표치로는 산술평균으로서 생체중 기준으로는 9.6×10^0 , 건조중 기준으로는 1.3×10^2 정도로 제안될 수 있다. 한편, 상기 IAEA의 handbook에는 엽채류에 대한 ⁹⁹Tc 전이계수의 일반치로서 1.8×10^2 이 제시되어 있으며 이는 본 실험결과와 큰 차이가 없다. 그러나 본 연구에서 제안된 대표치는 소수의 자료에 입각한 것이므로 차후 추가적인 조사를 통하여 보완할 필요가 있다. 건조중 기준의 TF 값은 건조의 정도에 따라 꽤 크게 달라질 수 있으므로 채소류의 경우 가능한 한 생체중 기준의 자료를 생산·이용하는 것이 바람직하나 부득이한 경우에는 위의 handbook에 제시되어 있는 생체중-건조중 전환비를 적용하여 생체중 기준으로 환산할 수 있다.

Table 3. Transfer factor of ⁹⁹Tc for Chinese cabbage

Soil	Transfer factor of ⁹⁹ Tc for Chinese cabbage (TF, dimensionless)	
	Leaves (fresh)	Leaves (dry)
Daebon	$1.1 \times 10^1 \pm 8.4 \times 10^{-1}$	$1.4 \times 10^2 \pm 1.2 \times 10^1$
Eupcheon	$8.8 \times 10^0 \pm 8.1 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^2 \pm 9.7 \times 10^0$
AM±SD	$9.6 \times 10^0 \pm 1.0 \times 10^0$	$1.3 \times 10^2 \pm 8.3 \times 10^0$
GM/GSD	$9.5 \times 10^0 / 1.12$	$1.3 \times 10^2 / 1.07$

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

결론

경주 처분장 주변 밭토양을 대상으로 무와 배추에 대한 토양-작물체 ⁹⁹Tc 전이계수를 측정하고 대표치를 제안하였다. 제안된 대표치는 두 토양에 대한 측정치에 입각한 것이므로 차후 환경 특성을 보다 충분히 반영할 수 있도록 더 많은 곳에 대한 조사가 이루어 질 필요가 있다.

참고 문헌

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