

경주 처분장 주변 밭토양에 대한 콩의 ⁹⁹Tc 흡수 실험

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

1. 서론

원자력 시설로부터 방출된 방사성 핵종이 농경지에 침적되어 토양이 오염되면 뿌리흡수를 통하여 방사성 핵종이 토양에서 작물체로 전이된다. 섭취경로 모델에서 이와 같은 뿌리흡수에 따른 작물체 내 방사성 핵종의 농도는 토양-작물체 전이계수(Transfer Factor, TF)라는 파라메타를 사용하여 평가하고 있다. 전이계수는 통상 아래와 같이 두 가지로 정의된다[1].

$$TF_m = \frac{\text{작물체내 핵종 농도 (Bq/kg-dry)}}{\text{토양내 핵종농도 (Bq/kg-dry)}} \quad (1)$$

$$TF_a = \frac{\text{작물체내 핵종 농도 (Bq/kg-dry)}}{\text{핵종의 토양침적 밀도 (Bq/m}^2\text{)}} \quad (2)$$

우리나라의 주요 밭작물에 있어서 방폐장 운영시 문제가 되는 초장반감기 핵종인 ⁹⁹Tc에 대한 전이계수 조사는 거의 없는 실정이다. 이에 한국인의 주식 밭작물인 콩에 대하여 경주 방폐장 주변에서 채취한 밭토양에 있어서의 ⁹⁹Tc 전이계수를 온실실험을 통하여 측정코자 하였다.

2. 본론

2.1 재료 및 방법

경주 방폐장 주변 반경 5 km 내에 있는 두 곳의 밭에서 상부 약 20 cm 깊이의 토양을 채취하여 연구원으로 운반한 다음 건조하였다. 두 토양의 물리·화학적 특성은 표 1과 같다.

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

Soil	pH (1:5)	O.M. (%)	CEC (cmol/kg)	EC(cmol/kg)		Soil texture
				Ca	K	
Gugilri	6.67	5.19	24.10	12.57	2.29	silt loam
Sangrari	6.14	5.63	22.06	7.32	2.39	sandy loam

O.M : Organic matter, CEC : Cation exchange capacity,

EC : Exchangeable cation

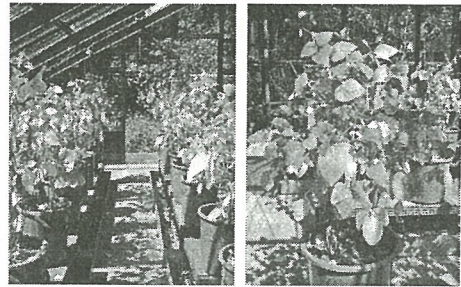


Fig. 1. Growing of soybean in a greenhouse.

토양-작물체 전이계수 측정을 위하여 토양을 채워 밭을 모사한 재배상자(직경 31 cm, 높이 30 cm, 상자당 건조토 20 kg)에서 작물을 육성하고 ⁹⁹Tc 흡수실험을 수행하였다. 실험은 3 반복으로 도합 14개의 재배상자를 실험온실 내에 배치하고 관행에 준하여 재배하였다(그림 1).

작물에 대한 TF_m의 측정을 위해 파종(6월 16일)하기 약 3~4주 전에 ⁹⁹Tc 용액 30 ml(23.1 kBq ml⁻¹)과 건조토양 20 kg을 토양혼합기를 이용하여 골고루 섞은 다음 재배상자에 투입하고 관개하였다. 또한 7월 30일(파종 후 44일)에 상기 용액 24 ml을 재배상자의 지표면에 골고루 살포하고 TF_a를 측정하였다. 콩의 수확은 10월 13일(파종 후 119일)에 하였다. 수확한 콩 시료는 부위별로 나누어 온실 내에서 자연 건조시킨 다음 콩알의 경우 액체질소로 급속 동결한 다음 막사 사발을 이용하여 분쇄하고 각지 및 잎은 믹서기로 잘게 분쇄하여 250~550 °C로 조절된 전기로에서 회화하였다. 회분시료를 직경 5 cm의 planchet에 0.1g씩 담고 전배타계수법으로 ⁹⁹Tc 농도를 측정하고 전이계수를 계산하였다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 파종 전 지표층 혼합

작물의 파종 전 밭갈이에 의해 방사성 핵종이 경작층 토양과 섞이는 것을 모사하기 위하여 토양을 ⁹⁹Tc 용액과 혼합하고 콩을 재배하여 구한 ⁹⁹Tc의 토양-작물체 전이계수 전이계수(TF_m, dimensionless)는 표 2와 같다. 구길리 토양에서는

수확 전에 잎이 모두 탈락하여 잎에 대한 자료가 없다. 토양 간 콩의 TF_m 값은 큰 차이가 없었다. 다만 상라리 토양에서 구길리 토양에 비해 약간 높은 것은 상라리 토양의 모래 함량이 2 배 정도 높았다는 사실과 관련이 있을 것으로 판단된다. 부위 간에는 잎>줄기>콩각지>종실의 순으로 종실 전이계수가 줄기나 잎에 비해 수십~수백 배나 낮았다. 이것은 뿌리를 통하여 작물체에 흡수된 ⁹⁹Tc가 종실로 용이하게 이동하지 못한다는 것을 나타낸다. 이와 같은 Tc의 작물체 내에서의 낮은 이동성은 벼에서도 관찰된 바 있다.

경주 처분장 주변 발토양에 대한 콩 종실의 ⁹⁹Tc 전이계수(TF_m)의 대표치로는 두 토양에 대한 산술평균인 1.8×10⁻¹ 정도로 제안될 수 있다. 다른 부위에 대해서도 같은 방법을 적용하면 될 것이다. IAEA의 전이인자 handbook(TRS-472)[2]에 의하면 곡류의 종실에 대한 Tc 전이계수의 일반치로서 1.3이 제안되어 있다.

Table 2. TF_m values of ⁹⁹Tc for soybean plants.

Soil	Transfer factor of ⁹⁹ Tc for soybean (TF _m , dimensionless)			
	Seeds (dry)	Shells (dry)	Stems (dry)	Leaves (dry)
Gugilri	1.6×10 ¹ ± 1.5×10 ²	6.7×10 ⁰ ± 9.1×10 ¹	1.3×10 ¹ ± 1.8×10 ⁰	-
Sangrari	2.0×10 ¹ ± 3.1×10 ²	9.5×10 ⁰ ± 1.0×10 ⁰	2.1×10 ¹ ± 3.2×10 ⁰	1.2×10 ²
AM±SD	1.8×10 ¹ ± 3.3×10 ²	8.1×10 ⁰ ± 2.0×10 ⁰	1.7×10 ¹ ± 5.6×10 ⁰	-
GM/GSD	1.8×10 ¹ / 1.20	7.9×10 ⁰ / 1.28	1.6×10 ¹ / 1.41	-

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean, GSD: Geometric standard deviation

2.2.2 생육 중 지표 침적

작물의 생육중 사고로 인한 ⁹⁹Tc의 단기적 지표 침적을 모사하기 위하여 콩의 파종 후 44일에 ⁹⁹Tc 용액을 두 가지 토양의 지표에 처리하고 조사한 ⁹⁹Tc의 부위별 전이계수(TF_a, m²/kg-dry)는 표 3과 같다. TF_a 값의 콩 부위 간 및 토양 간 차이는 TF_m 값과 유사한 경향이였다. 두 가지 전이계수, 즉 TF_m 값과 TF_a 값을 비교하기 위해서는 두 값을 같은 단위의 물리량으로 표시해야 하며, 이것은 TF_m 실험에서 작물체 내 농도(Bq kg⁻¹)를 단위면적당 침적량(Bq m⁻²)으로 나누어 줌으로써 가능하다. 이와 같이 비교하면 TF_a가 TF_m보다 흡수기간이 짧았음에도 불구하고 토양 및 부위에 따라 2~3 배 정도 높았다. 이것은 TF_a의 경우 ⁹⁹Tc가 생육 중 지표에 처리되어 뿌

리의 분포 밀도가 높은 지표 부근에 다량 분포함으로써 흡수가 증대되었기 때문인 것으로 추정된다.

콩의 종실, 각지, 줄기 및 잎에 대한 TF_a의 대표치로는 새로운 자료가 추가로 생산될 때까지 각각 2.3×10⁻³, 8.6×10⁻², 1.3×10⁻¹, 1.4×10⁰ 정도로 제안될 수 있다. 콩의 생육 중 ⁹⁹Tc의 지표 침적에 대하여 대부분의 동적 섭취경로 평가모델에서처럼 TF_m 값을 이용하여 평가하면 위에서 본 바와 같이 작물체 내 농도를 과소평가할 가능성이 높으므로 주의할 요한다.

Table 3. TF_a values of ⁹⁹Tc for soybean plants.

Soil	Transfer factor of ⁹⁹ Tc for soybean (TF _a , m ² /kg-dry)			
	Seeds (dry)	Shells (dry)	Stems (dry)	Leaves (dry)
Gugilri	2.3×10 ³ ± 3.8×10 ⁴	8.8×10 ² ± 3.0×10 ²	1.2×10 ¹ ± 3.1×10 ³	1.3×10 ⁰
Sangrari	2.4×10 ³ ± 3.1×10 ⁴	8.4×10 ² ± 2.5×10 ²	1.3×10 ¹ ± 2.2×10 ²	1.5×10 ⁰
AM±SD	2.3×10 ³ ± 1.2×10 ⁴	8.6×10 ² ± 2.7×10 ²	1.3×10 ¹ ± 1.3×10 ³	1.4×10 ⁰ ± 1.6×10 ¹
GM/GSD	2.3×10 ³ / 1.05	8.6×10 ² / 1.03	1.3×10 ³ / 1.01	1.4×10 ⁰ / 1.12

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean, GSD: Geometric standard deviation

3. 결론

경주 방폐장 주변 발토양을 대상으로 ⁹⁹Tc의 콩에 대한 전이계수를 측정하고 대표치를 제안하였다. 제안된 대표치들은 매우 제한된 자료에 입각한 것이므로 차후 환경특성을 보다 충분히 반영할 수 있도록 더 많은 조사를 할 필요가 있다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부가 시행한 원자력연구개발사업의 결과물입니다.

5. 참고문헌

- [1] Y. H. Choi, K. M. Lim, et al., Transfer of ¹³⁷Cs to rice plants from various paddy soils contaminated under flooded conditions at different growth stages. J. of Environmental Radioactivity 80, pp. 45-58, 2005.
- [2] IAEA, Technical Reports Series 472, 2010.