

벼 생육 초기 논외 표면수에 침적한 ^{85}Sr 와 ^{137}Cs 의 작물체 흡수

임광목 · 최용호 · 전인 · 박두원 · 금동권
한국원자력연구원
E-mail: kmlim@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 벼, 논, 표면수, Sr, Cs, 흡수

서론

논은 밭과 달리 벼의 생육 기간 중 대부분의 시간 동안 수 cm의 물로 덮여 있다. 따라서 벼의 생육기에 방사성 핵종이 대기로 방출되면 논에서는 토양이 아니라 표면수에 침적하게 된다. 표면수에 침적한 방사성 핵종은 벼의 기부(물에 잠겨 있는 부분)를 통하여 벼에 흡수될 수 있다[1,2]. 한편 표면수로부터 방사성 핵종이 점점 토양층으로 확산, 이동함에 따라 뿌리를 통한 흡수도 일어나게 된다. 이러한 것들은 오염된 물을 관개할 경우에도 마찬가지로 일 것이다.

위와 같은 이유로 벼의 경우 재배논의 표면수 오염시 방사성 핵종의 작물체 흡수 정도를 예측할 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 세 가지 논토양에 대해서 벼의 이식 직후 방사성 Sr과 Cs에 의한 표면수 오염시 작물체에 의한 방사성 핵종 흡수 정도를 조사·비교하였다. 논토양은 경주 방폐장 주변에서 채취하여 부지 특성 자료를 생산코자 하였다. 채취한 토양을 한국원자력연구원의 실험온실로 운반한 다음 흡상자에 담고 관개하여 논상태를 재현하였다.

재료 및 방법

실험에 사용할 토양은 경주 방폐장 부근 세 곳의 논에서 채취하여 온실로 운반한 다음 자연 건조하였다. 표 1은 세 토양의 물리·화학적 특성을 나타내고 있다. 흡상자(가로 30 cm, 세로 30 cm, 높이 40 cm)의 바닥에 4 cm 깊이로 쇠책을 깎 다음 그 위에 건

조 토양을 상자 당 30.4 kg씩 담고 표면수의 깊이가 5 cm 정도 되게 관개하였다. 5월 22일에 상자 당 네 곳에 각각 네 개씩 모내기하였다.

모내기 다음 날 ^{85}Sr 와 ^{137}Cs 의 혼합 용액을 흡상자의 표면수에 상자 당 25 ml씩 처리하였다. 이 때 마이크로피펫을 사용하여 수표면 25 곳에 1 ml씩 균등하게 살포하였다. 이 후 9월 말까지 표면수 시료를 주기적으로 채취하여 두 핵종의 농도를 측정하였다. 모내기 후 55일 경과시부터 1 주 간은 관개를 하지 않고 중간낙수를 실시하였다. 벼는 10월 15일에 수확하여 부위 별로 나누어 온실 내에서 자연 건조한 다음 방사능을 측정하였다. 물과 작물체 시료의 방사능 측정은 감마스펙트로메트리 법으로 수행하였다.

작물체의 핵종 흡수 정도는 아래의 식과 같이 정의되는 전이계수(TF, $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}\text{-dry}$)로 나타내었다.

$$TF = \frac{\text{작물체내 핵종 농도 (Bq kg}^{-1}\text{-dry)}}{\text{단위면적 당 핵종 침적량 (Bq m}^{-2}\text{)}}$$

TF 값을 구할 때 작물체 내 농도는 핵종 처리일 기준으로 붕괴 보정한 것을 사용하였다.

표 1. 실험 토양의 물리·화학적 특성

Soil	pH (1:5)	O.M. (%)	Sand (%)	Clay (%)	CEC	EC (cmol kg ⁻¹)	
						K	Ca
Soil A	5.5	4.4	46.2	10.2	8.2	0.4	6.1
Soil B	5.4	3.3	10.6	19.9	16.3	0.8	14.9
Soil C	5.6	2.4	21.5	28.2	12.8	0.6	6.2

CEC: Cation exchange capacity (cmol kg⁻¹)

EC: Exchangeable cation.

결과 및 고찰

표면수 내 ^{85}Sr 와 ^{137}Cs 의 상대농도($\text{m}^2 \text{L}^{-1}$, m^2 당 처리량에 대한 물 1 L 당 함량의 비)는 시간 경과에 따라 각각 A 토양에서는 3.8×10^{-2} - 1.8×10^{-6} 및 3.4×10^{-2} - 1.7×10^{-7} , B 토양에서는 3.8×10^{-2} - 3.2×10^{-6} 및 3.1×10^{-2} - 1.9×10^{-7} , C 토양에서는 3.9×10^{-2} - 1.0×10^{-4} 및 2.8×10^{-2} - 5.4×10^{-6} 의 범위였다.

두 핵종 모두 처음에는 표면수 내 농도가 매우 급히 감소하다가 처리 후 60-70 일 경과시까지 점점 느리게 감소한 다음 이후에는 토양 간에 다소 다른 양상이었지만 전체적으로 볼 때 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 초기에 급히 감소한 것은 표면수에 용해되어 있던 방사성 핵종이 토양층으로 빠르게 확산·흡착되었기 때문인 것으로 추정된다. 이와 같은 농도 감소는 세 토양에서 모두 ^{137}Cs 이 ^{85}Sr 보다 현저하여 거의 전 조사 기간에 걸쳐 ^{137}Cs 의 상대농도가 ^{85}Sr 보다 낮았다. 이는 Cs가 Sr보다 훨씬 용이하게 토양에 흡착되었기 때문인 것으로 보인다.

표 2는 세 가지 토양에서의 벼 부위별 ^{85}Sr 와 ^{137}Cs 의 TF 값($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ -dry)을 나타내고 있다. 이 값들에는 두 가지 경로, 즉 벼의 기부흡수와 뿌리흡수가 다 포함되어 있다. 부위 간에 TF 값은 어느 토양에서나 ^{85}Sr 의 경우 경엽부>왕겨>쌀알(현미)의 순이었고 ^{137}Cs 의 경우 왕겨>경엽부>쌀알의 순이었다.

표 2. 벼 부위별 ^{85}Sr 와 ^{137}Cs 전이계수

Plant part	Soil	Transfer factor ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ -dry) ^a	
		Sr-85	Cs-137
Straws	Soil A	1.7×10^{-2}	4.1×10^{-3}
	Soil B	7.3×10^{-3}	1.5×10^{-3}
	Soil C	8.5×10^{-3}	5.5×10^{-4}
Chaffs	Soil A	4.1×10^{-3}	7.7×10^{-3}
	Soil B	1.5×10^{-3}	2.3×10^{-3}
	Soil C	2.1×10^{-3}	9.1×10^{-4}
Seeds	Soil A	4.4×10^{-4}	2.9×10^{-3}
	Soil B	2.5×10^{-4}	1.1×10^{-3}
	Soil C	2.6×10^{-4}	3.6×10^{-4}

^a 침적밀도(Bq m^{-2})에 대한 작물체 농도(Bq kg^{-1} -dry)의 비.

경엽부와 쌀알 간 TF 값의 차이는 ^{85}Sr 의 경우 수 십 배나 되었으나 ^{137}Cs 의 경우에는 두 배 이내였다. 이것은 벼 작물체 내에서는 ^{137}Cs 의 이동성이 ^{85}Sr 보다 훨씬 높다[2,3]는 것을 의미한다. 다른 작물에 대해서도 이와 같은 경향이 많이 보고되어 있다[4]. 토양 간에는 두 핵종 모두 A 토양에서 TF 값이 가장 높았다. 토양에 따른 변이 정도는 ^{137}Cs 값이 ^{85}Sr 값보다 컸다.

논의 표면수에 방사성 Sr이나 Cs가 침적하면 위에서 언급한 바와 같이 표면수 내 핵종의 농도가 상당 기간 동안 꽤 높을 것으로 예상된다. 이는 표면수로부터 벼의 기부흡수를 통하여 상당량의 방사능이 작물체로 전이될 가능성을 나타내는 것이다. 본 실험에서 표면수 내 상대농도는 ^{137}Cs 이 ^{85}Sr 보다 낮았으나 방사성 Cs의 기부흡수가 방사성 Sr에 비해 훨씬 효율적인 것[2]으로 알려져 있으므로 ^{137}Cs 의 기부흡수 분률(처리량에 대한 기부흡수량의 비)이 ^{85}Sr 보다 높았을 수 있다.

결론

경주 방폐장 주변 논토양에 대한 온실 실험에서 벼의 생육 초기 방사성 Sr과 Cs에 의한 논 표면수의 오염시 두 핵종의 작물체 전이계수는 토양, 부위 및 핵종 간에 상당한 차이가 있었다. 표면수 내 핵종의 농도가 상당 기간 동안 꽤 높아 기부흡수의 기여가 적지 않았을 것으로 추정될 수 있었다. 본 연구 결과는 방폐장 주변 논 표면수 오염시 영향평가를 위한 부지 특성 자료로 활용될 수 있다.

감사의 말씀

이 논문은 교육과학기술부가 시행한 원자력중장기 연구사업의 결과물입니다.

참고 문헌

1. D'souza and Mistry, Plant and Soil 55, 189-198 (1980).
2. Tsumura et al., Report of NIAS - B, vol. 36, 57-113 (1984).
3. Choi et al., J. Env. Radio. 78, 35-49 (2005).
4. Nisbet and Shaw, J. Env. Radio. 23, 171-187 (1994).