Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 19, No. 3, pp. 365-372, 2025
https://doi.org/10.23042/radin.2025.19.3.365

Technical article

국내 환경을 기반으로 한 토양-작물간 전이계수 측정 및 분석

정미선[1,*] · 장지선[1] · 박동국[1] · 정해룡[1]

[1]한국원자력환경공단

Measurements and Analysis for the Soil-Plant Concentration Ratio of a Radionuclide in the Korean Environment

Mi-Seon Jeong[1,*], Jiseon Jang[1], Dong-Kuk Park[1], and Haeryong Jung[1]

[1]KORAD, 174, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34129, Republic of Korea

ABSTRACT This study aimed to secure reliable soil-plant transfer factor (TF) data in the Korean environment, crucial for biosphere assessments in radioactive waste disposal facility safety evaluations. Field and laboratory-scale experiments were conducted on major Korean dietary crops (cabbage, radish, rice) for key radionuclides (Mn, I, Sr, Cs, Re). Statistical analysis revealed that increased soil organic matter generally decreased TF values, and above-ground parts showed higher radionuclide accumulation. Comparison with IAEA data indicated that experimental TF values largely fell within the established ranges, with calculated relative errors for Cs, Sr, and Tc (Re) being within acceptable limits. These findings affirm the applicability of domestic data to enhance the reliability and reduce uncertainty in safety assessments, contributing to a more robust long-term safety evaluation of disposal facilities.

Key words: Soil-Plant Concentration Ratio, Input Data, Biosphere, Dose Conversion Factor, Radioactive Waste Disposal, Post-closure Safety Assessment, Uncertainty Management

1. 서 론

방사성폐기물 처분시설은 폐쇄 후에도 방사성폐기물이 잔존하므로, 장기적인 방사선 안전성 확보가 필수적이다. 이를 위해 처분시설의 안전성평가가 수행되며, 이는 방사성폐기물, 공학적 방벽, 천연방벽, 그리고 생태계의 개별 성능 평가를 통합하여 시스템 수준의 모델을 통해 최종적인 방사선적 영향을 고려한다[1]. 특히, 처분시설의 잠재적 방사선적 영향은 생태계 평가를 통해 이루어지며, 이는 처분시설의 장기 안전성을 결정하는 핵심 요소이다. 그러나 생태계는 미래 인간 활동 및 환경 변화 예측의 어려움으로 인해 높은 불확실성을 내포하며 모델 구현이 복잡하다.

기존 중저준위 안전성 평가에서 사용된 입력 데이터는 해외 데이터를 보수적으로 적용하거나 가정에 기반한 경우가 많았으며[2,3], 이는 국내 환경과의 상이성으로 인해 불확실성 발생의 주요 원인이 된다. 심층처분시설의 생태계 평가는 처분시설로부터 유출된 방사성 핵종이 최종적으로 인간에게 미치는 방사선적 피폭 영향을 나타내므로 매우 중요하지만, 미래 예측의 어려움으로 인해 평가의 복잡성과 불확실성이 크게 나타난다.

특히 생태계 평가에서 핵종의 토양-작물간 전이계수(Transfer factor, TF)는 중저준위 안전성 평가에서 결정집단 피폭선량평가를 위해 해외 문헌 데이터를 보수적으로 적용해왔다. 그러나 이는 국내 주요 섭취 작물 및 기후, 토양 환경과 큰 차이가 있어 결과의 신뢰도 저하 및 불확실성 증가의 우려가 있다. 전이계수는 토양의 pH, 영양 상태, 오염 시간 등 다양한 인자에 의해 영향을 받으며[4], 특정 핵종의 전이 경향이 다른 핵종과 다를 수 있다. 따라서 국내 재배 환경 및 작물에 적합한 전이계수 인자 적용이 필수적이다.

중저준위 방사성폐기물 시설을 대상으로 주요 핵종 중 하나인 Tc에 대해 벼 및 밭작물에 대한 실험이 수행된 바 있으나[5-7], 본 연구는 기존 연구와 달리 다핵종(Mn, I, Sr, Cs, Re)을 대상으로 한국인의 주요 섭취 작물(배추, 무, 벼)에 대해 현장 및 실험실 규모의 재배를 병행하고, 통계적 분석을 강화하여 국내 환경 특성을 종합적으로 반영한 전이계수 데이터를 확보하고자 한다. 이는 단순히 불확실

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2025 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Mi-Seon Jeong
Tel: +82-42-601-5343, E-mail: jeongms@korad.or.kr

Received 4 August 2025 **Revised** 6 August 2025 **Accepted** 11 August 2025

성을 저감하는 것을 넘어, 국내 식생활 패턴(예: 김치 재료인 배추와 무)을 직접적으로 반영하여 실제 피폭 평가의 현실성과 신뢰성을 크게 높이는 데 기여한다. 심층처분시설은 부지 선정 전 단계에 있으므로 특정 부지가 아닌 일반적인 부지를 대상으로 한 실험 데이터들을 필요로 하며, 본 연구는 이러한 사항들을 충족시키고 있다.

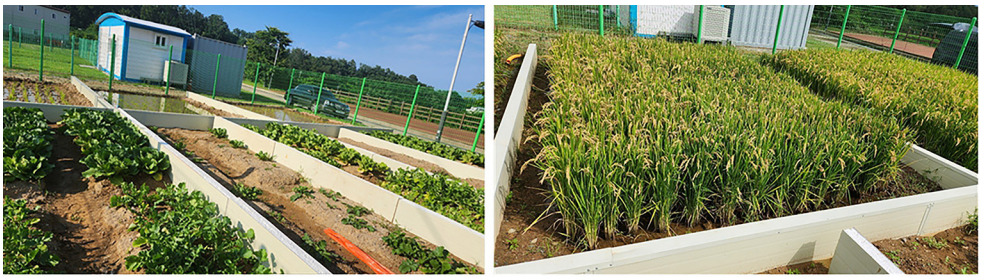
이에 본 논문에서는 신뢰성 있는 생태계 평가 수행을 위해, 한국인의 주요 섭취 작물(배추, 무, 벼)을 대상으로 주요 핵종별(Mn, I, Sr, Cs, Re) 및 토양별(현장 및 실험실 규모) 재배 실험을 통해 국내 환경을 반영한 실측 데이터를 확보하고자 하였다. 확보된 데이터는 국외 데이터와 비교 분석되었으며, 이를 통해 데이터의 신뢰도를 확보하고 불확실성을 저감하는 데 기여하고자 하였다.

2. 토양-작물간 전이계수 측정

2.1. 실험 방법

토양-작물간 전이계수(TF) 도출을 위한 작물 재배 실험은 Fig. 1과 같이 현장 및 실험실(Smart farm)에서 수행되었으며, 재배된 작물 내 핵종별 농도 정량 분석을 실시하였다. 인허가 문제로 인해 방사성 핵종 대신 그 거동이 유사한 중금속 핵종을 사용하였다. 구체적으로, ^{99}Tc 핵종은 Mn(VI)와 Re(VI) 핵종을, ^{129}I 핵종은 ^{125}I 핵종을, ^{238}U 핵종은 UO_2 사용하여 실험에 적용하였다. 이러한 대체 핵종은 실제 방사성 핵종과 화학적 거동 특성이 유사하여 전이 메커니즘을 연구하는 데 유용하다. 다만, 실제 방사성 핵종의 생물학적 이용 가능성이나 특정 환경에서의 미세한 거동 차이가 발생할 수 있다는 한계점을 인지하고 결과를 해석해야 한다.

특히, Tc 원소는 모든 동위원소가 방사성 동위원소이며, 지구상에 극미량 존재하며 대부분 인공적으로 만들어 사용한다. 화학적 특징으로 주기율표의 Mn과 Re의 중간에 위치하고 있고, 이 두 원소와 유사한 화학적 성질을 나타낸다[8]. 실험에 사용한 Mn(VI)은 토양에서의 Tc 산화 상태와 동일한 +7가의 $KMnO_4$를 사용하고, Re은 다양한 산화상태를 갖고 있으며, +7의 산화상태가 가장 흔한 산화상태이다. 따라서 실험에 사용한 Re은 토양에



(a) Growing crops in the field

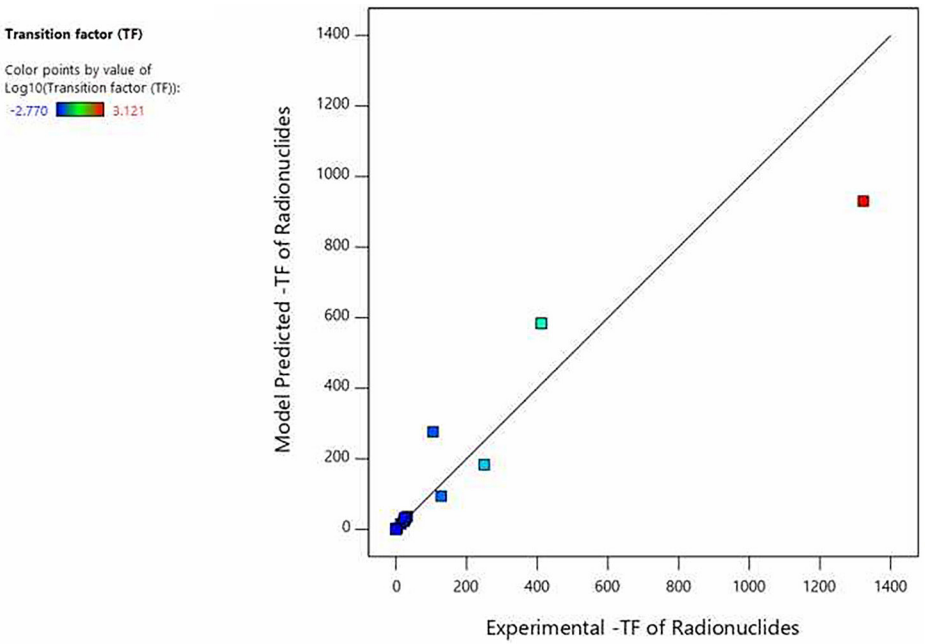
(b) Growing crops in the Smart-farm

Fig. 1. Growing crops in the field and the Smart-farm

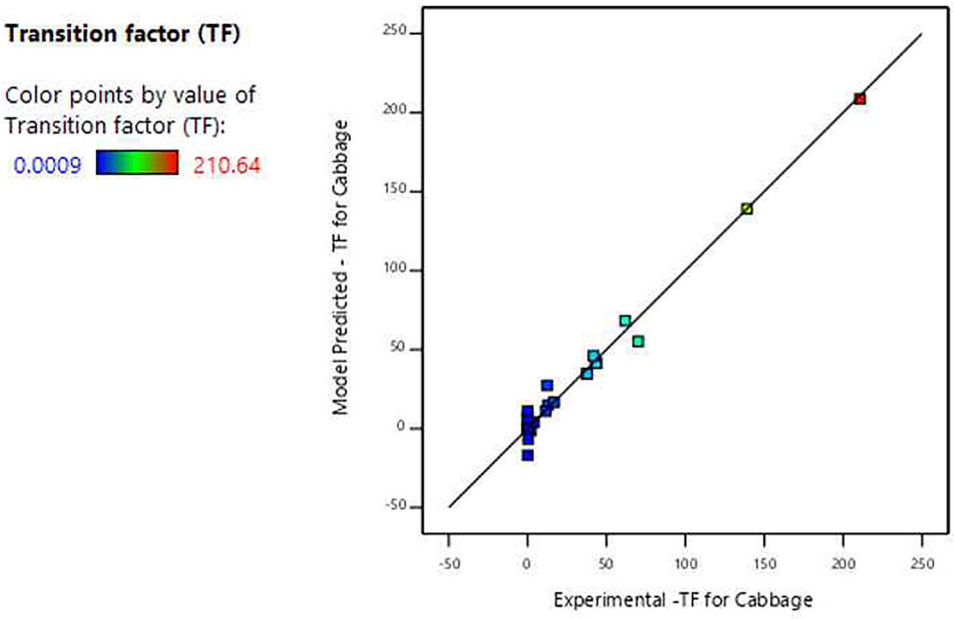
Table 1. Properties of the soil used in the experiment

Soil	D10* (mm)	D30* (mm)	D60* (mm)	CEC** (meq/100 g)	Soil organic matter content (%)	Organic concentration (%)	Radionuclide Concentration (ppm)
Paddy field	0.0025	0.11	0.40	262.87	5.249	5	0, 50, 100, 200 (But, Re is 5, 10, 20)
Farml-and	0.016	0.21	0.88	178.46	5.201	5, 10, 15	0, 50, 100, 200 (But, Re is 5, 10, 20)

*D10, D30, D60: Particle size corresponding to 10, 30, and 60% of the particle size distribution curve
**CEC: Cation exchange capacity



(a) Radish



(b) Korean Cabbage

Fig. 2. Evaluation of the Fit between Experimental and Model-Predicted Soil-to-Plant Transfer Factors

서의 Tc 상화상태와 동일한 +7가의 NH_4ReO_4를 사용하였다[9].

토양 오염을 위해 염화세슘(CsCl), 과망간산칼륨($KMnO_4$), 과레늄산암모늄(NH_4ReO_4), 염화스트론튬($SrCl_2$) 시약을 사용하여 초기 농도 1,000 mg/L 핵종 용액을 제조한 후, 토양과의 희석을 통해 목표 실험 농도가 되도록 혼합비를 설정하였다. 핵종은 작물 생육 전 일정한 깊이(흙갈이 깊이, 약 15~20 cm)까지 균일한 농도로 흙과 혼합되어 있다고 가정하였다. 현장 재배지 대상 핵종 3종(Mn, Sr, I), 실험실 규모 재배지 대상 핵종 3종(Mn, Sr, Cs)에 대해 오염화 작업을 수행하였다(Table 1).

2.2. 전이계수 도출 및 통계분석

토양-작물간 전이계수(TF)는 토양 내 핵종 농도(C_{soil}) 대비 작물 내 축적 핵종 농도(C_{crop}) (샘플별 농도($C_{crop,t}$)-무처리 시료($C_{crop,0}$))의 비율을 이용하여 계산[10]하였다. 토양 내 핵종 농도

대비 재배 작물 내 핵종 농도비를 통해 전이계수 평균 및 표준편차를 도출하였다.

$$TF = \frac{C_{crop,i}(mg/kg)}{C_{soil,i}(mg/kg)} = \frac{C_{crop_{f,i}} - C_{crop_{0,i}}(mg/kg)}{C_{soil,i}(mg/kg)} \quad (1)$$

토양-작물 전이계수에 미치는 주요 영향인자들(토양 내 유기물 농도, 핵종의 종류 및 농도, 샘플링 위치)의 상관관계를 정량적으로 분석하기 위해, 각 실험 조건별 전이계수 측정 결과에 대해 통계적 유의성 검정을 수행하였다. 구체적으로, 분산 분석(ANOVA)을 통해 인자별 전이계수 값의 평균 차이가 통계적으로 유의미한지 평가하기 위해, 토양-작물간 전이계수와 실험적인 요소, 즉, 방사성핵종 농도, 유기물질 등과 방사성핵종 유형간의 상관관계를 나타내는 경험적인 모델을 사용하여, Fig. 2와 같이 사후 검증을 수행하여 적합성을 확인하였다. 또한, 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 산출하여 각 인자와 전이계수 간의 선형적 관계를 분석하였으며, 각 측정값의 불확실성을 평가하기 위해 오차 전파(error propagation) 분석을 수행하여 전이계수 값의 정밀도를 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양-작물간 전이계수 측정 결과

오염되지 않은 일반 토양의 물리, 화학적 성상 분석을 위해, 현장 주변 토양에서 재배된 작물(배추, 무)과 현장 재배지의 전이계수 평균값 및 표준편차를 Table 2 및 Table 3에 나타내었다. 방사성 핵종 오염 작업 후의 현장 재배지 작물(배추, 무)의 전이계수 측정 결과, 두 작물 모두 전이계수 값이 Mn>Sr>I 순으로 나타났다. 특히 Mn의 전이계수가 유의미하게 높게 나타났는데 (예: 배추의 Mn 전이계수 평균 0.0605, $p<0.01$), 이는 작물체의 생육에 필수 미량원소인 Mn에 대한 작물체의 선택적 흡수와 관련이 있다고 판단된다[11].

토양-작물별 전이계수에 영향을 미치는 주요 인자들(토양 내 유기물 농도, 핵종 종류 및 농도, 샘플링 위치)의 상관관계를 알아보기 위해, Table 4와 Fig. 3 및 Fig. 4에서는 실험실 규모의 재배지(Smart farm)에서 사용된 실험조건과 50일 샘플링한 작물(배추, 무)의 전이계수 결과를 나타내었다. 통계 분석 결과, 작물(무, 배추)의 전이계수는 무의 Re를 제외한 대부분의 데이터에서 토양 내 유기물의 농도가 증가할수록 전이계수 값이 통계적으로 유의미하게 감소하는 경향을 보였다(예: 유기물 농도 5%에서 15%로 증가 시 전이계수 평균 약 20% 감소, $p<0.05$). 이는 관련 실험 문헌에서도 비슷한 현상을 보이는 것으로 나타났다[12]. 또한, 방사성 핵종(Mn, Cs)의 경우, 지상부와 지하부로 분류하여 작물(배추, 무)을 채취한 결과, 지상부에서 상대적으로 높은 전이계수 결과를 보였으며(예: 지상부 전이계수 평균이 지하부 대비 1.5배 높음, $p<0.01$), 이는 지상부에서 방사성 핵종 축적이 더 많이 일어나는 것을 시사한다.

3.2. IAEA 데이터와의 비교 및 분석 심화

국내외 토양-작물별 전이계수 결과 간의 위험도 평가를 위해, 기적용된 IAEA의 토양-작물별 전이계수 값[8]과 본 연구의 전이계수 측정 결과를 비교 및 분석하였다. 그 결과, Fig. 5에서 나타난 바와 같이, 재배한 작물들의 전이계수 결과가 IAEA에서 제시된 결과의 범위에 대부분 포함되는 것을 확인하였다.

Table 2. Transfer factors of crops grown in a uncontaminated soil (unit: [-])

Crops		Al	Cr	Fe	Mn	Co	Ni	As	Cs	Pb	U	Sb	Re
Korean Cabbage	Mean	0.5505	0.5612	0.08	1.0688	0.7346	1.3606	0.9617	0.7187	0.0112	1.081	0.0079	0.0011
(topsoil)	S.D.	0.0043	0.0377	0.0095	0.0209	0.1013	0.3237	0.7976	0.0836	0.0088	0.1655	0.0026	0.0002
Korean Cabbage	Mean	0.7698	0.702	0.0886	0.8795	0.7233	1.3713	0.7958	0.8611	0.0117	1.4634	0.009	0.0013
(deepsoil)	S.D.	0.0048	0.0113	0.0107	0.0177	0.1285	0.2861	0.1635	0.2344	0.0119	0.639	0.0033	0.0005
Raddish	Mean	0.1974	0.3894	0.0253	0.2745	0.2225	0.5519	0.4578	0.3593	0.0208	0.865	0.603	0.008
(topsoil)	S.D	0.1432	0.4003	0.0322	0.4104	0.2737	0.6563	1.5209	0.1909	0.0488	0.629	0.461	0.002
Raddish	Mean	0.2761	0.4871	0.028	0.2259	0.2191	0.5563	0.3788	0.4305	0.0218	0.3373	0.0107	0.008
(deepsoil)	S.D	0.1578	0.1205	0.0365	0.3478	0.3471	0.5801	0.3118	0.5351	0.0665	1.0932	0.0288	0.0136

Table 3. Transfer factors of crops grown in a field (unit: [-])

Crops		Mn	Sr	I
Korean Cabbage	Mean	0.0605	0.5472	0.4453
	S.D	0.0105	0.2736	0.0711
Raddish	Mean	0.0904	0.8687	0.4164
	S.D	0.0540	0.2714	0.0345

Table 4. Key factors affecting the Transfer Factor

Nuclide	Organic Concentrations (%)	Radionuclide Concentration	Sampling Factor
Mn	5, 10, 15	50, 100, 200	Topsoil (L2), Deepsoil (L1)
Re		5, 10, 20	Topsoil(L2)
Sr		50, 100, 200	Topsoil (L2)
Cs		50, 100, 200	Topsoil (L2), Deepsoil (L1)

그러나, I의 경우, 재배하는 중간에 작물들이 고사하여 전이계수는 측정하였지만, 실제 생태계에서는 인간은 고사한 식물을 섭취하지 않으므로 이에 대해 평가를 수행하지 않았다.

정량적 비교를 위해, 각 핵종별 실험값과 IAEA 값 간의 상대 오차율(Relative error = $|TF_{IAEA} - TF_{Experiment}|/TF_{IAEA} \times 100\%$)을 계산한 결과, Cs의 경우 엽채류에서 약 14.5%, 근채류에서 약 27.5%의 상대 오차율을 보였으며, Sr은 엽채류에서 약 7.8%, 근채류에서 약 20.6%의 상대 오차율을 나타냈다. Tc (Re로 대체)의 경우 엽채류에서 약 25.5%, 근채류에서 약 68.9%의 상대 오차율을 보였다(Table 5). 특히 Tc (Re 대체)의 근채류에서 상대 오차율이 높게 나타난 것은, Re 핵종이 토양 내 유기물 함량이나 특정 재배 조건에 더 민감하게 반응하거나, IAEA 데이터가 반영하는 토양-작물 환경과 국내 근채류 재배 환경 간의 특성 차이가 상대적으로 크기 때문으로 추정된다. 이는 향후 실제 Tc 핵종을 이용한 추가 연구를 통해 심층적으로 규명되어야 할 부분이다.

비록 일부 핵종에서 상대 오차율이 존재하지만, 전반적으로 IAEA에서 제시한 범위 내에 있어 선량환산인자에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다(Table 6). 상대 오차율이 존재하지만, Table 5에서 보듯이 최종 선량환산인자 값의 변화는 미미하여 실제 안전성 평가에 미치는 영향은 제한적일 것으로 판단된다. IAEA에서 제시한 전이계수의 범위가 본 연구 결과에 비해 비교적 좁게 나타나는 경향이 있었는데, 이는 IAEA 데이터가 다양한 기후 및 토양 조건, 그리고 광범위한 작물 종류에 대한 통계적 평균값인 반면, 본 연구는 국내 특정 환경 및 주요 작물에 한정된 실험 결과이기 때문으로 해석된다.

이러한 비교를 통해, 국내 환경 특성(토양 유형, 기후 조건, 재배 방식 등)이 전이계수에 미치는 영향을 IAEA의 일반적인 값과 비교하여 정량적으로 파악할 수 있었다. 특히, 국내에서 가장 많이 섭취하는 작물(엽채류 및 근채류)인 김치의 주요 재료인 배추와 무에 대한 실측 전이계수 값을 확보한 것은 국내 식생활 패턴

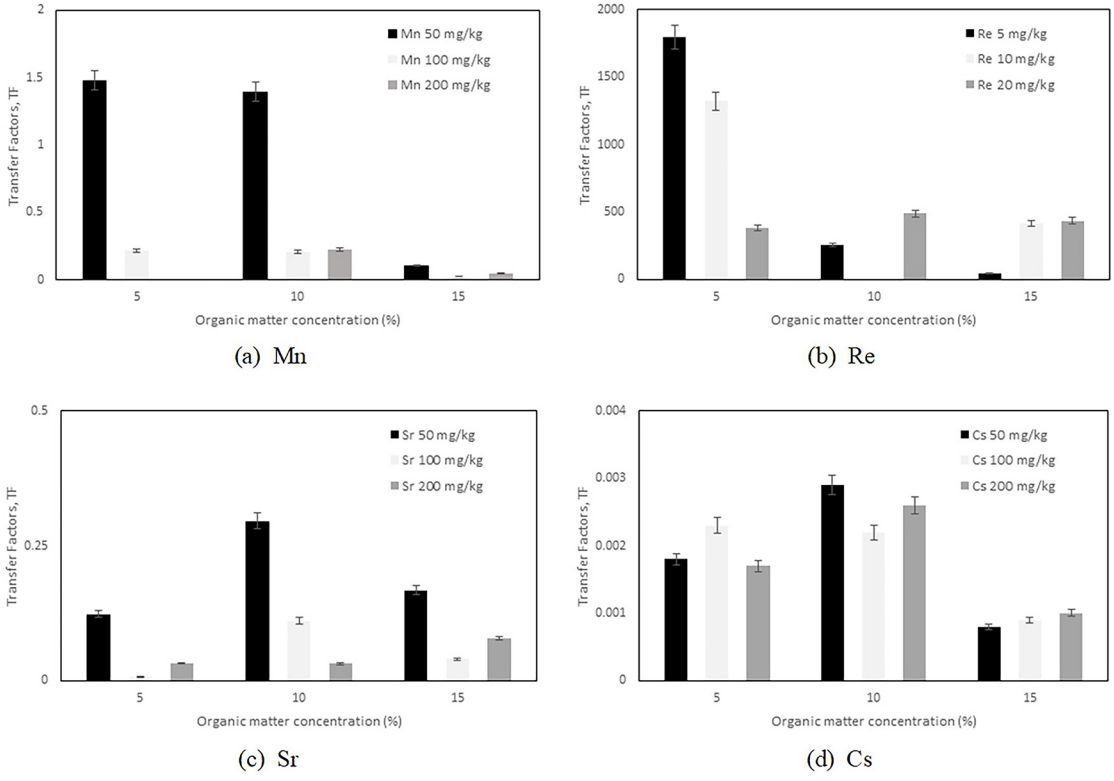


Fig. 3. Transfer factor of radionuclides of a radish by the impact factors

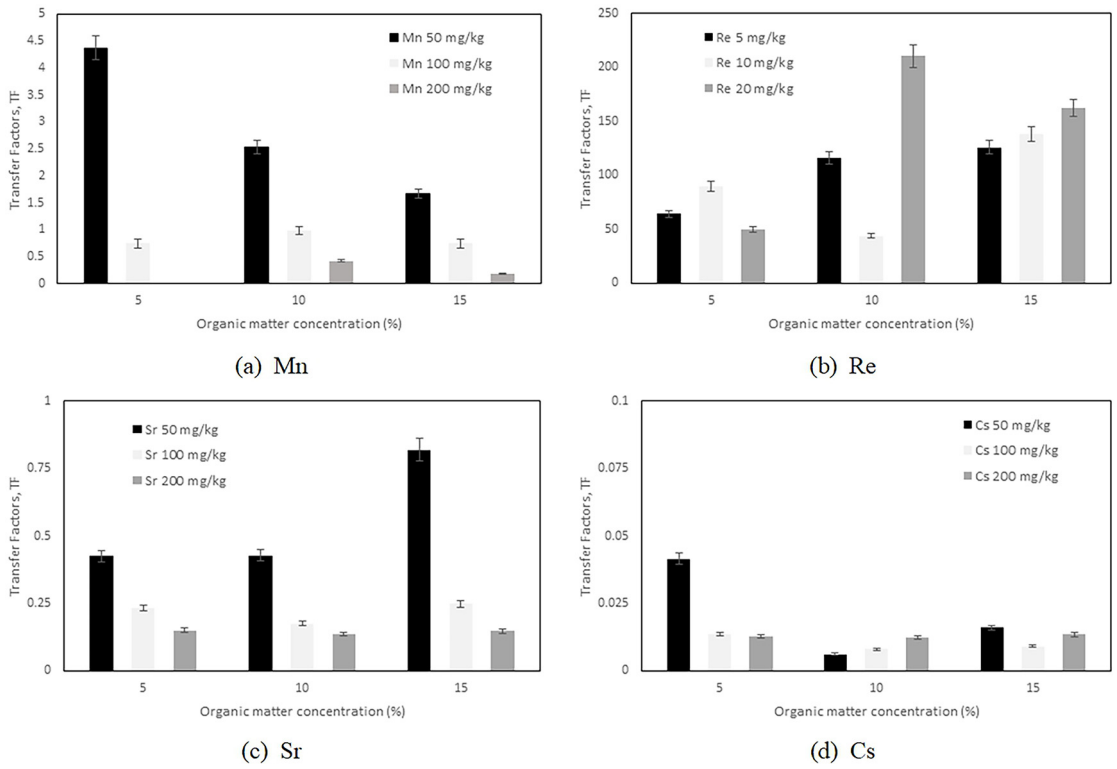


Fig. 4. Transfer factor of radionuclides of a Korean Cabbage by the impact factors

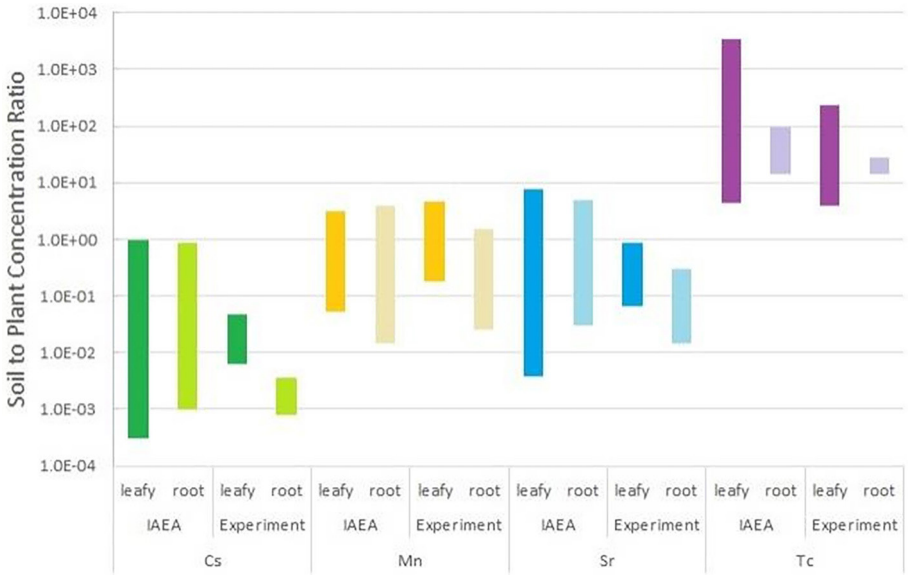


Fig. 5. Comparison of results applied Transfer Factor from experimental and literature vales

을 반영한 안전성 평가의 신뢰도를 향상시키는 데 크게 기여할 수 있다.

3.3. 불확실성 평가 및 국내 데이터의 중요성

방사성 핵종의 전이계수는 기후, 토양, 섭취 작물, 농경 활동 등 여러 가지 요인에 의해 크게 변하는 것으로 알려져 있다. 본 연구를 통해 국내 환경 특성을 고려한 입력 데이터를 확보 및 적용함에 따라 생태계 평가 모델에 대한 신뢰성이 강화될 것으로 예측된다. 특히, 본 연구에서 수행된 통계적 분석과 오차 평가는 전이계수 값의 불확실성을 정량적으로 제시함으로써 평가 결과의 투

Table 5. Comparison of the Transfer factor between Soil and Plant in Biosphere Model (unit: [-])

Nuclide	IAEA[8]		Experiment		Relative Error (%)	
	Leafy	Root	Leafy	Root	Leafy	Root
Cs	0.06	0.04	0.0145	0.0029	75.83	92.75
Sr	0.76	0.72	0.8194	0.8687	7.82	20.65
Tc*	180	46	225.94	13.87	25.52	69.85

*For the Tc nuclide in the experiment, it is replaced with Re nuclide, a heavy metal nuclide with the same behavior as Tc nuclide

Table 6. Comparison of the BDCF for each potential exposure group (Unit: Sv/Bq)

Nuclide	IAEA values applied		Experimental value applied	
	Agricultural Group using the Surface water	Agricultural Group using the Well water	Agricultural Group using the Surface water	Agricultural Group using the Well water
^{90}Sr	7.51E-11	4.97E-11	7.51E-11	4.97E-11
^{99}Tc	2.47E-12	1.10E-12	2.49E-12	1.10E-12
^{135}Cs	2.34E-11	2.07E-11	2.33E-11	2.07E-11
^{137}Cs	6.15E-15	2.60E-12	6.14E-15	2.60E-12

명성을 높인다. 향후 민감도 분석 및 불확실성 분석을 통해 각 입력 변수가 최종 선량 평가 결과에 미치는 영향을 더욱 심층적으로 분석할 필요가 있다. 이는 생태계 평가 모델에 사용될 대표성이 높은 입력데이터를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 불확실성 저감 방안을 구체화하는 데 중요한 기반이 될 것이다.

4. 결 론

처분시설 성능평가는 다양하고 많은 데이터를 요구하고 있으며, 이러한 데이터는 불확실성이 존재한다. 특히, 미래 환경을 예측하고 인간에 대한 생활 방식 등에 대한 예측이 매우 어려운 생태계에서는 그 불확실성이 증가하고 있다. 불확실성을 저감하기 위해서는 환경에 적합한 데이터를 생산하는 것이 매우 중요하며, 이를 통해 평가 결과에 대한 신뢰성 또한 확보할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 생태계 평가의 주요 입력데이터인 토양-작물간 전이계수에 대해 국내 환경에서 현장 및 실험실 규모의 실험을 수행하고 과학적 기술적 근거를 확보하고자 하였다. 확보된 데이터는 기존 해외 문헌(IAEA)에서 제시된 값들과 비교 검증되었으며, 그 결과 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이는 국내 환경에서 생산된 데이터가 처분시설 안전성 평가의 신뢰성을 높이고 불확실성을 저감하는 데 기여할 수 있음을 의미한다.

본 연구는 국내 환경 특성을 반영한 최초의 종합적인 토양-작물간 전이계수 데이터베이스 구축에 기여하며, 한국인의 실제 식생활 패턴을 고려한 방사선 피폭 평가의 현실성을 높이는 데 중요한 의미를 가진다.

현재 한국원자력환경공단에서 수립 중인 계획 단계의 종합 안전성 입증 체계에 따라, 처분시설의 안전성을 확보하고 불확실성을 저감 및 제고하기 위한 연구 활동들이 체계적으로 수행될 예정이다. 향후 처분시설 개발 단계에 맞춰 종합 안전성 입증 체계 또한 더욱 정교화될 것이다. 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 다양한 국내 작물에 대한 전이계수 측정, 장기적인 관점에서의 전이계수 변화 연구, 그리고 실제 방사성 핵종을 이용한 실험을 통해 데이터의 신뢰성과 적용 범위를 더욱 확장할 필요가 있다.

사 사

이 논문은 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 사용후핵연료관리 핵심기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(No.RS-2021-KP002656).

참고문헌

1. IAEA. 2012. The safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste, SSG-23.
2. Jeong MS, Park DK, Jung K and Kin SJ. 2023. Considerations on Screening for the Input Data of the Biosphere Model in the Radioactive Waste Disposal Facility. *Journal of Radiation Industry* **17**(2): 209-217.
3. KORAD. 2022. Safety Analysis Report for the Low- and Intermediate- Radioactive Waste Disposal Facility, 2nded.
4. IAEA. 2003. Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants, TEC-DOC-1497.
5. Choi YH, Im GM, Jeon I and Geum DG. 2011. Soil-to-Plant Transfer Factors of ^{99}Tc for Korean Major Upland Crops. *Journal of Radiation Protection and Research* **36**(4):209-215.
6. Im GM, Jeon I, Choi YH, Choi SD and Geum DG. 2011. Measurement of ^{99}Tc transfer factors for vegetables in a field soil around Gyeonju disposal site, 2011 Spring Conference of The Korean Associate for Radiation Protection, 152-153.
7. KAERI. 2009. Soil-to-rice transfer factors of long-lived radionu-

clides for paddy fields around the Radioactive Waste Disposal Facilities, KAERI/TR-3920/2009.
8. Sheppard MI and Evenden WG. 1992. Use of stable isotopes as analogues of radioisotopes in the terrestrial environment. *Journal of Environmental Radioactivity* **15**(2):145-158.
9. Kim JI and Hrnecek E. 1999. Comparison of the geochemical behavior of technetium and rhenium in nature waters. *Radiochimica Acta* **94**(3-4):4964-4968.
10. IAEA. 2010. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments, Technical Reports Series No. 472.
11. Choi YH, Kim KC, Lee CW, Lee KS, Lee JH, Pak CK and Cho YW. 1991. Soil-to-Plant Transfer coefficients of ^{54}Mn, ^{60}Co, ^{65}Zn and ^{137}Cs for Rice, Soybean and Vegetables. *Journal of Radiation Protection* **16**(2):55-65.
12. KAERI. 1995. A study on the radiation and environmental safety studies on radionuclide migration and distribution in terrestrial ecosystem", KAERI/RR-1517/94.