

## 육상 섭취경로 핵종 이동인자 값에 대한 IAEA와 KAERI의 최근 동향

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

중심어 (keyword) : 육상 섭취경로, 핵종, 이동인자, TRS-472, IAEA, KAERI

### 서론

섭취경로 모델을 이용하여 식품중 핵종의 농도를 예측하기 위해서는 모델의 입력변수 값을 정해야 한다. 여러 입력변수 중에서도 생태계 구성 요소 간 핵종 이동의 양적 관계를 나타내는 각종 이동인자는 환경 특성에 따른 값의 변이가 심하여 예측의 불확실성에 큰 영향을 미친다. 따라서 예측 결과에 대한 신뢰를 위해서는 각종 이동인자 값에 대한 신뢰가 요구된다. 신뢰도 높은 이동인자 값을 얻기 위한 가장 좋은 방법은 부지특성 자료를 이용하는 것이다. 그러나 부지특성 자료가 없거나 부족하여 신뢰도가 충분한 값을 구하기 어려운 경우가 많다.

IAEA는 위와 같은 경우에 참조할 수 있도록 1994년에 일차로 육상생태계 이동인자 handbook (TRS-364)을 발간하였다. 이후 2003년부터 5년 간 가동된 IAEA의 EMRAS 프로그램에서는 TRS-364 개정을 위한 working group (이하 TRS-364 분과)이 조직되었고 그 활동 결과로서 새로운 handbook (TRS-472)[1]이 2010년에 출간되었다. KAERI도 TRS-364 분과에 참여하여 과거 20여년에 걸쳐 축적해 온 농작물 핵종 이동인자 값을 제공함으로써 TRS-472의 발간에 일조하였다.

본 보고에서는 TRS-472를 이해하는 데 도움을 주기 위하여 TRS-472의 작성 과정과 수록 내용, 그리고 이와 관련된 KAERI의 연구 자료를 간략히 소개하고 TRS-472의 국내 이용 방안과 유의사항 등에 대해 논하고자 하였다.

### TRS-472의 기초서 : TECDOC-1616

TECDOC-1616(이하 TECDOC)[2]은 TRS-364 분과에서 수집된 이동인자 자료를 정리하여 만든 도표와 함께 각 이동인자의 개념과 특성, 관련 기작, 자료 이용에 있어서의 한계 및 유의사항 등이 상세히 기술된 기초서이다. 이것은 생태계 오염경로 별로 각 저자들이 기고한 것을 내·외부의 검토와 수정을 거쳐 취합한 결과물이다. TRS-472는 TECDOC을 축약하여 이동인자 값에 대한 handbook 형태로 만든 것이다. 따라서 TRS-472의 내용을 제대로 파악하기 위해서는 반드시 TECDOC이 참조되어야 한다. 한편, TECDOC의 부록에는 이동인자 자료를 취한 참고문헌의 목록을 수록하여 필요시 참조할 수 있게 하였다.

KAERI가 제공한 농작물 핵종 이동인자 자료들은 근거가 확실하고 품질도 비교적 양호하여 대부분이 TECDOC에 포함되었다. 이것들은 크게 작물체 직접 오염(엽면흡수) 관련 이동인자와 간접오염(뿌리흡수) 관련 이동인자로 나눌 수 있다. 전자의 경우 우리나라 주요작물에 대한 Mn, Co, Sr, Cs, Ru의 차단계수( $I_f$ ), 환경제거반감기( $T_w$ ), 가식부 전류계수( $f_{tr}$ ) 자료가 대부분 KAERI가 제공한 원수치대로 수록되었다. 후자의 경우 KAERI는 전통적인 토양-작물체 전이계수( $TF_m$ , dimensionless)와 작물체 생육중 지표침적 전이계수( $TF_a$ ,  $m^2/kg$ ) 자료를 제공하였다. KAERI의  $TF_m$  값들은 핵종, 작물형, 토양 종류별로 여타  $TF_m$  값들과 합쳐져 통계처리된 결과(자료수, 기하평균, 산술평균, 편차, 최대값, 최소값 등)가 수록되었다. 한편,  $TF_a$ 의

경우 새로운 인자로서 KAERI가 유일하게 자료를 제공하여 하나의 sub-chapter로 자리하게 되었다.

위에서 본 바와 같이 농작물에 대해서는 KAERI가 적지 않은 자료를 생산하였으나 야생 음식물이나 축산물 및 담수생물에 대해서는 자료가 전무한 실정이다. 또한 토양 중 핵종의 거동 예측에 필요한 자료인 고상-액상 분배계수나 식품의 조리 및 가공에 따른 농도의 변화 정도를 나타내는 가공계수에 대한 국내 자료도 매우 부족하다. TECDOC의 상당 부분이 이러한 분야들에 대한 기술로 되어 있으나 KAERI의 기여는 거의 전무하였다. KAERI를 비롯한 국내의 연구영역을 이러한 분야들로 확대할 필요가 있다.

## TRS-472 : 이동인자 Handbook

TRS-472는 육상생태계 핵종 이동인자 값에 대한 handbook이다. 여기서는 육상생태계를 농업생태계, 숲, 북극 및 산악생태계와 담수생태계로 구분하고 있다. 농업생태계에 대해서는 엽면흡수 관련 인자로서  $I_f$ ,  $T_w$ ,  $f_{tr}$  값이 핵종별, 작물별, 침적시기별로 제시되어 있고 뿌리흡수 관련 인자로서  $TF_m$  값은 핵종별, 작물형별, 토양 종류별로 제시되어 있으나 침적시기별  $TF_a$  값은 TECDOC을 참조하도록 되어 있다.  $TF_m$  값의 경우 벼 이외의 작물에 대해서는 온대, 열대, 아열대로 나누어져 있고 벼의 경우 재배환경의 특수성을 고려하여 기후대의 구분없이 타 작물과 별도로 취급되어 있다. TECDOC의 한 sub-chapter (열대 및 아열대  $TF_m$ )에는 우리나라가 일본 등과 함께 아열대 지역으로 분류되어 있기도 하나 이에 관계없이 우리나라에서는 온대 지역  $TF_m$  값을 이용하면 될 것이다.

$TF_m$  값은 특정 그룹내 가용한 자료의 수가 3 개 이상일 경우에는 기하평균, 그 미만일 경우에는 산술 평균으로 나타내었고 아울러 최소값과 최대값을 두 경우 모두 제시하고 있다. 국내 생산 자료가 하나도 없어 TRS-472의 값을 이용코자 할 경우에는 불확실성에 따른 과소평가의 가능성을 낮추기 위해서 평균 값으로부터 한 편차 정도 상위의 값을 사용하는 것이 좋을 듯하다. 한편, 부지 특성 자료가 대표성이 어느 정도 있는 이동인자 값의 도출이 가능할 만큼 확보된

경우에는 TRS-472를 이용할 필요가 없다고 본다. 이 경우에 해당되기 위해서는 적어도 서너 개 이상의 자료가 확보되어야 할 것으로 판단된다. 이보다 적은 경우에는 국내 값과 IAEA 값을 적절히 융합하는 것이 바람직할 것으로 본다. 이상에서 TRS-472의  $TF_m$  값을 제대로 이용하기 위해서는 작물의 유형과 토양의 종류에 유의해야 한다. 한 예로 TRS-472에서는 두류를 채소로 보고 꼬투리(깍지+콩알)에 대한 값을 제시하고 있으므로 우리나라의 콩알에 대한 값으로 사용할 수 없다. 또한 모든  $TF_m$  값이 건조 작물체 기준이므로 채소류에 대해서는 생체중 기준으로 환산할 필요가 있다. 토양은 점토, 양토, 사토 및 유기토와 전체로 구분하고 있다. 부지의 전반적인 토양 특성이 넷 중 하나로 특정할 수 있는 경우를 제외하고는 전체에 대한 값을 사용하는 것이 바람직하다고 본다.

$TF_m$  외에 핵종의 분배계수, 가축 전이계수, 담수생물 농축계수, 야생음식물 전이계수, 식품 가공계수 및 비방사능 모델이 적용되는  $^3H$ ,  $^{14}C$ ,  $^{36}Cl$ 에 대한 각종 인자들의 값이  $TF_m$ 과 유사한 요령으로 정리·제시되어 있다. 한편, 침적시기별  $I_f$ ,  $T_w$ ,  $f_{tr}$  값을 평상균일 방출에 적용하기 위해서는 전 생육기간에 대한 단일 평균 값을 정해서 사용해야 한다.

## 결론

방사성 핵종의 육상 섭취경로 이동인자 값에 대한 handbook과 관련 기술서(TECDOC)가 최근 IAEA에 의해 발간되었다. KAERI의 농작물에 대한 핵종 이동인자 자료들도 두 문서에 다수 포함되었다. IAEA의 값은 부지 특성 자료가 부족할 경우에 참조하기 위한 것이다. 예측의 신뢰도를 높이기 위해서는 가능한 한 부지 특성 자료를 많이 확보하는 것이 중요하다.

감사의 말씀

이 논문은 과기부가 시행한 원자력중장기연구사업의 결과물입니다.

## 참고 문헌

1. IAEA, Technical Reports Series No 472, (2010).
2. IAEA, TECDOC-1616, (2009).