

# An Analysis of Domestic Experimental Results for Soil-to-Crops Transfer Factors of Radionuclides

In Jun · Young Ho Choi · Dong Kwon Keum ·  
Hee Seok Kang · Han Soo Lee and Chang Woo Lee  
Korea Atomic Energy Research Institute

## 주요 핵종의 토양-작물체 전이 계수의 국내 실험 결과에 대한 분석

전인 · 최용호 · 금동권 · 강희석 · 이한수 · 이창우  
한국원자력연구소

(2006년 8월 21일 접수, 2006년 9월 4일 채택)

**Abstract** - For more realistic assessment of Korean food chain radiation doses due to the operation of nuclear facilities, it is required to use domestically produced data for radionuclide transfer parameters in crop plants. This paper analyzed results of last about 10 year's studies on radionuclide transfer parameters in major crop plants by the Korean Atomic Energy Research Institute, comparing with the published international data, and consequently suggested the proper parameters to use. The trends of transfer parameter shows normal distributions if we have a lot of experimental data, but some radionuclides showed enormous variations with the environment of experimental, crops and soils. These transfer factors can be used to assess realistic radiation doses or to predict the doses in crops for normal operation or accidental release. Some kinds of parameter can be produced as conservatives or fragmentary results because soil-to-plant transfer factors were measured through greenhouse experiments which sometimes showed improper field situations. But these parameters mentioned in this paper can be representative of the status of Korean food chain than that of foreign country

**Key words** : Transfer Factors, Radionuclide,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , Crops

**요약** - 원자력 시설의 가동에 따른 한국인의 식품 섭취 피폭 선량을 보다 현실적으로 평가하기 위해서는 농작물에서의 핵종 이동 계수에 대해 국내 생산 자료를 사용할 필요가 있다. 본 논문에서는 과거 수년간 한국원자력연구소에서 수행된 우리나라 주요 농작물의 핵종 이동 인자에 관한 결과를 분석하고 이를 외국의 사례와 비교하여 이를 사용할 때 선택할 수 있는 근거를 제시하고자 하였다. 이동인자의 경향은 실험의 횟수가 많을 경우 대체로 평균에 대해 정규분포를 이루는 경향을 보였으나 일부 핵종은 실험의 환경, 작물 및 토양의 종류에 따라 큰 변이를 보였다. 이러한 이동 인자들은 원자력 시설의 가동전이나 정상가동 중 또는 사고 시에 작물체내 방사성 핵종의 농도를 예측하고 평가 하는 데 목적이나 환경에 따라 적절히 활용될 수 있다. 여기에 제시된 모든 인자는 대부분 온실 실험을 통하여 얻은 것이어서 몇 가지는 실험상의 제약으로 인하여 보수적이거나 단편적인 결과를 얻을 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서 제시된 인자를 사용할 경우 각각의 의미와 한계를 충분히 숙지하고 평가의 목적이나 모델의 특성에 맞게 사용해야 하며, 그럴 경우 외국의 모델에서 제시된 인자를 사용할 때보다 현실적인 평가가 될 것으로 여겨진다.

**중심어** : 전이계수, 방사성동위원소,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , 농작물

## 서 론

원자력 시설로부터 대기로 방출된 대부분의 방사성 핵종은 작물체의 지상부 표면에 침적하는 직접오염 경로와 토양에 침적된 후작물체의 뿌리를 통하여 흡수되는 간접 오염 경로를 따라 농작물을 오염시키고 결국 이를 섭취하는 인체에까지 방사선 내부 피폭을 초래한다[1]. 이러한 직접 오염 경로와 간접오염 경로의 상대적 중요도는 핵종 및 작물의 종류, 침적 시기 등에 따라 달라진다[2]. 그 실제적인 예로 1986년 구 소련에서 발생한 Chernobyl 사고 후 오염된 농산물 섭취가 중요한 피폭 경로였다는 것은 여러 가지 조사를 통하여 잘 알려져 있다[3].

원자력 시설의 가동이나 사고에 따른 주민의 섭취 피폭 선량을 평가하기 위해서는 섭취 경로 예측 모델이 필요하고, 예측 모델의 신뢰도는 그 모델을 구성하는 수리적 구조와 각종 인자들이 현실을 얼마나 잘 표현하고 있는가에 달려 있다. 섭취 경로 모델과 관련된 인자들은 자연 및 주변 환경에 따라 큰 변이를 보이고 있으므로 현실적인 평가를 위해서는 해당 국가 또는 해당지역의 환경 특성을 충분히 반영하고 있는 인자 값을 도입하는 것이 중요하다. 이런 이유로 인하여 세계 여러 나라에서 각 나라의 특성에 맞는 인자 도출을 위하여 그 나라 고유의 특성을 반영하기 위한 실험 및 자료 수집이 수행되어 왔다[4-8].

위와 같은 일련의 일들은 개별 국가 고유의 특성에 맞게 진행된 것이므로 이를 우리나라에서 그대로 사용하게 되면 비현실적인 평가 결과를 초래할 가능성이 있고 대부분 자국의 주요 농작물을 대상으로 한 것이므로 우리나라 주요 작물에 대한 자료로는 매우 제한적이라고 할 수 있다.

이러한 이유로 본 논문에서는 지난 수년간 우리나라에서 수행된 주요 농작물에 대한 핵종의 이동 인자들을 조사[1,9-11] 분석하고 미국의 Reg. Guide 1.109[12]에 나타나있는 인자와 비교하여 보다 편리하고 적절하게 이용할 수 있는 근거를 제시하였다.

## 재료 및 방법

### 뿌리흡수 경로 조사

농작물의 핵종 이동 인자는 재배 현장에 적용될 목적으로 조사되는 것이므로 실제 경작지에서 실험을 수행하는 것이 가장 이상적이다. 그러나

이것은 방사성 동위원소를 사용해야 하는 실험의 특성상 현실적으로 불가능한 일이므로 대부분의 실험은 온실이나 동위원소 취급 허가를 받은 한정된 곳에서 이루어지고 있다. 본 논문에서 제시한 모든 자료는 한국원자력연구소 내 방사성 동위원소 실험 온실에서 수행된 결과이다.

뿌리 흡수 경로를 통한 작물체내 방사성 핵종의 농도는 토양-작물체 전이계수(Transfer Factor,  $TF_{mix}$ )로 평가하고 통상적으로 다음과 같이 구한다[12].

$$TF_{mix} = \frac{\text{작물체내핵종농도}(Bq\ kg^{-1}\text{-dry or fresh})}{\text{토양중핵종농도}(Bq\ kg^{-1}\text{-dry or fresh})} \quad (1)$$

여기서 기본적인 가정은 방사성 핵종이 작물의 생육 전에 경작지의 지표에서부터 일정 깊이까지 균일한 농도로 분포하고 있다는 것이다. 이때 일반적으로 토양 중 농도는 작물의 생육 시점이나 수확 시 농도로 하고 본 논문에서는 수확 시 농도를 기준으로 하였다.

생육 시점에서의 토양 중 핵종 농도는 핵종의 처리량으로부터 계산하거나 토양 시료를 측정하여 구할 수 있는데 작물의 수확시로 방사능 붕괴에 대하여 보정해 줄 필요가 있다. 작물의 수확 시 토양 중 핵종의 농도를 알기 위해서는 작물 수확 직후 토양시료를 채취하여 측정하여야 한다. 작물의 수확 시 토양 중 핵종 농도는 작물의 흡수 및 핵종의 지하 이동으로 인하여 생육 시점에 비해 다소 낮다. 그러나 대부분의 경우 핵종의 지하 이동은 매우 느리게 진행 되고 작물체의 핵종 흡수량은 토양 내 존재량의 수 % 이하이므로 단기적으로는 큰 차이가 없게 된다.

식 (1)과 같은 전이계수 외에 작물의 생육중 사고 침적시 유용한 자료인 단위면적당 핵종 처리량 기준의 전이계수(Transfer Factor,  $TF_{arca}$ ,  $m^2\text{-soil}\ kg^{-1}\text{-plant}$ )는 다음과 같이 구하였다[2].

$$TF_{mix} = \frac{\text{수확시작물체내핵종농도}(Bq\ kg^{-1}\text{-dry or fresh})}{\text{수확시토양보정단위면적당핵종처리량}(Bq\ m^{-2})} \quad (2)$$

### $TF_{mix}$ 조사를 위한 포트실험 및 현장조사

우리나라의 주요 작물에 대한  $TF_{mix}$ 를 구하기 위하여 포트재배 실험 결과를 조사하였다. 사용된 포트는 배수공이 없는 합성수지제로 직경 및 높이가 약 30 cm 정도였다. 조사된 실험 작물은 벼,

Table 1. Statistical Table of Transfer Factors(TF<sub>mix</sub>)' for Rice.

Radionuclides	Number of Data	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Standard Error
<sup>137</sup> Cs	12	1.2 x 10 <sup>-3</sup>	1.1 x 10 <sup>-2</sup>	5.65 x 10 <sup>-3</sup>	3.38 x 10 <sup>-3</sup>	9.77 x 10 <sup>-4</sup>
<sup>90</sup> Sr	1	1.2 x 10 <sup>-1</sup>	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	4	2.2 x 10 <sup>-3</sup>	6.0 x 10 <sup>-3</sup>	4.65 x 10 <sup>-3</sup>	1.77 x 10 <sup>-3</sup>	8.85 x 10 <sup>-4</sup>

\* Bq kg<sup>-1</sup>-plant/Bq kg<sup>-1</sup>-dry soil

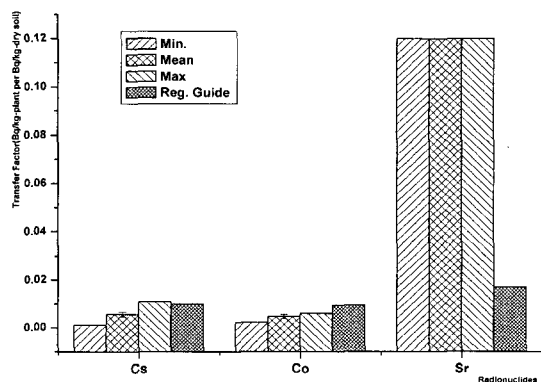


Fig. 1. Statistical Histogram of Transfer Factor(TF<sub>mix</sub>) for Rice.

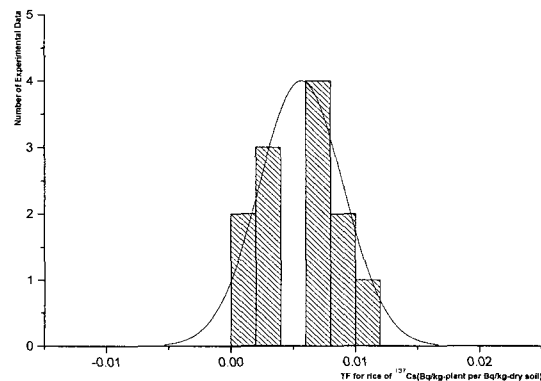


Fig. 2. Frequency of Transfer Factor(TF<sub>mix</sub>) of <sup>137</sup>Cs for Rice.

배추, 콩 이였고 조사 핵종은 <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co 등이었다.

방사성 핵종은 모두 무담체의 chloride 형으로 서 핵종 및 작물에 따라 건토 kg당 수~수십 kBq의 농도로 처리하였다. 토양에 대해 핵종을 처리 한 후 수 일 경과한 다음 작물을 파종 또는 이식하였다. 각 작물들은 우리나라의 표준 재배 작기에 따라 파종 또는 이식 및 수확하였고 관행

에 준하여 재배 관리하였다.

시료 내 핵종 농도는 <sup>90</sup>Sr의 경우 건조 회화 후 전 베타 계수법으로 측정하였고 기타 핵종은 건조 후 감마 spectrometry 법으로 측정하였다.

### 결과 및 고찰

우리나라의 주요 작물에 있어서 원자력발전소의 가동과 관련하여 육상섭취 피폭경로에서 중요 시되고 있는 핵종들의 TF<sub>mix</sub> 및 TF<sub>area</sub>를 포트실험으로 조사한 결과를 수집하여 분석하였다. 쌀에 대한 <sup>137</sup>Cs의 전이계수(TF<sub>mix</sub>) 자료는 총 12개로서[Table 1, Figure 2] 최소값은 1.2 x 10<sup>-3</sup>, 최대 값은 1.1 x 10<sup>-2</sup>, 평균은 5.65 x 10<sup>-3</sup>이고 표준편차는 3.38 x 10<sup>-3</sup>, 표준오차는 9.77 x 10<sup>-4</sup>로 조사 되었다. 측정 데이터간 전이계수가 다른 것은 채취된 지역의 토양 특성, 기후, 영농관행, 품종 등의 차이가 복합적으로 작용한 결과인 것으로 여겨진다. 쌀에 대한 <sup>137</sup>Cs의 전이계수를 Reg. Guide 1.109[Table 6]에서 제시된 값과 비교하여 보면 최대값은 약간 높은 값을 보였으나 대부분 낮은 값으로 조사되었다. 쌀에 대한 <sup>90</sup>Sr의 전이계수는 조사된 값이 1개밖에 존재하지 않아 특별한 분석이 불가능하였다. 다만 Reg. Guide에 제시된 값 보다는 약 10배 높은 값이 관측되었다. 반면에 <sup>60</sup>Co의 경우는 Reg. Guide와 비교하여 약간 낮은 실험 결과를 얻었다[Figure 1].

배추에 대한 <sup>137</sup>Cs의 전이계수(TF<sub>mix</sub>)는 총 12개의 자료가 조사되었으며 최소 6.8 x 10<sup>-4</sup>, 최대 1.7 x 10<sup>-2</sup>이고 평균은 4.17 x 10<sup>-3</sup>, 표준편차 4.55 x 10<sup>-3</sup>에 표준오차는 1.31 x 10<sup>-3</sup>으로 조사되었다 [Table 2]. 배추 역시 채취 지역 및 토양 특성, 기후, 영농관행, 품종 등의 차이에 따라 전이계수가 다르게 관측 되었다.

콩에 대한 전이계수 실험에 사용된 핵종은 <sup>137</sup>Cs, <sup>54</sup>Mn, <sup>60</sup>Co이다. <sup>137</sup>Cs는 쌀에 비해 상대적

Table 2. Statistical Table of Transfer Factor(TF<sub>mix</sub>) of <sup>137</sup>Cs for Chinese Cabbage.

Radionuclides	Number of Data	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Standard Error
<sup>137</sup> Cs	12	6.8 x 10 <sup>-4</sup>	1.7 x 10 <sup>-2</sup>	4.17 x 10 <sup>-3</sup>	4.55 x 10 <sup>-3</sup>	1.31 x 10 <sup>-3</sup>

Table 3. Statistical Table of Transfer Factors(TF<sub>mix</sub>) for Soybean.

Radionuclides	Number of Data	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Standard Error
<sup>137</sup> Cs	5	8.8 x 10 <sup>-2</sup>	5.0 x 10 <sup>-1</sup>	2.33 x 10 <sup>-1</sup>	1.65 x 10 <sup>-2</sup>	7.38 x 10 <sup>-2</sup>
<sup>54</sup> Mn	5	2.0 x 10 <sup>-1</sup>	2.8	1.01	1.10	4.95 x 10 <sup>-1</sup>
<sup>60</sup> Co	5	4.9 x 10 <sup>-2</sup>	5.0 x 10 <sup>-1</sup>	2.49 x 10 <sup>-1</sup>	1.67 x 10 <sup>-1</sup>	7.50 x 10 <sup>-2</sup>

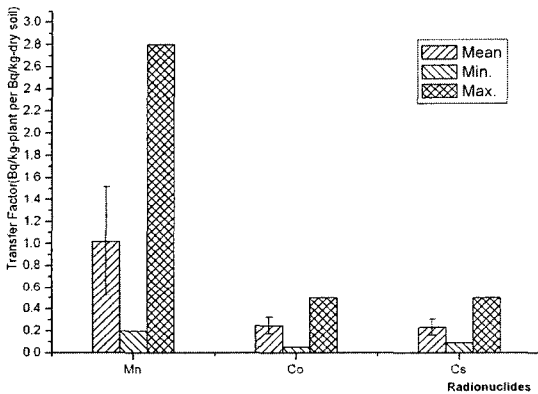


Fig. 3. Statistical Histogram of the Transfer Factor(TF<sub>mix</sub>) for Soybean.

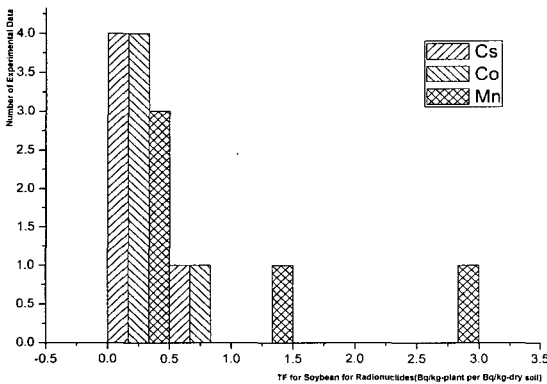


Fig. 4. Frequency Distribution of Experimental Transfer Factor(TF<sub>mix</sub>) for Soybean.

으로 높은 전이계수를 보였고[Table 3, Figure 3, Figure 4] <sup>60</sup>Co 역시 쌀에 비해 비교적 높은 전이

계수를 보였다.

조사된 자료에 의하면 전이계수는 토양, 품종, 영농관행 및 기후에 따라 상대적으로 큰 변이를 나타내고 있었다. 경작지의 경우 동일한 지역내 인접 필지라 하더라도 객토, 시비, 토양 개량제 살포 등 관리 이력이 다르기 때문에 토양의 특성이 다를 가능성이 크다. 이에 대처하기 위하여 부지 주변에 분포하는 각 필지의논과 밭에 대해 일일이 전이계수를 조사해 두었다가 사고시 작물체내 핵종의 농도 예측에 사용한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 따라서 어느 지역 또는 우리나라 전체를 대표할 수 있는 신뢰도 높은 대표치를 구할 필요가 있다. 특정 자료들로부터 대표치를 구하는 가장 보편적이고 간편한 방법은 평균값을 택하고 평균값에 대한 오차범위를 적용하는 것으로 볼 수 있다. 본 논문에서는 각 핵종과 작물에 대한 전이계수의 최대, 최소, 평균, 표준편차 및 표준오차를 제시하여 대표값을 선택하고 오류를 고려할 수 있도록 하였다.

TF<sub>mix</sub>는 작물의 생육 전에 방사성 핵종과 토양이 일정 깊이로 섞여 있는 경우에 적합한 것으로서 생육 중 사고로 인한 방사성 핵종의 침적에 대하여 이를 사용하는 것은 여러 가지 이유로 불합리하다고 제시되었다[1]. 이에 대한 해결방안으로 주요 작물들에 대하여 핵종의 처리 시기별로 얻은 TF<sub>area</sub>(m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>)를 정리하였다[Table 4, Table 5, Figure 5, Figure 6].

TF<sub>area</sub> 역시 우리나라의 주식인 쌀에 대하여 행한 실험 자료는 비교적 풍부하나 그 이외의 작물에 대한 자료는 상대적으로 충분하지는 않지만 참고로 활용할 수 있다고 볼 수 있다.

Table 4. Statistical Table of Transfer Factor(TF<sub>area</sub>) of <sup>137</sup>Cs at Difference Growth Stage of Rice.

Application time	Number of Data	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Standard Error
DAP -17**	11	2.4 x 10 <sup>-5</sup>	2.0 x 10 <sup>-4</sup>	1.07 x 10 <sup>-4</sup>	6.46 x 10 <sup>-5</sup>	1.95 x 10 <sup>-5</sup>
DAP 12	3	1.3 x 10 <sup>-4</sup>	4.5 x 10 <sup>-4</sup>	2.83 x 10 <sup>-4</sup>	1.60 x 10 <sup>-4</sup>	9.26 x 10 <sup>-5</sup>
DAP 83	5	1.0 x 10 <sup>-3</sup>	4.2 x 10 <sup>-3</sup>	2.92 x 10 <sup>-3</sup>	1.34 x 10 <sup>-4</sup>	5.99 x 10 <sup>-5</sup>

\* Bq kg<sup>-1</sup>-dry or fresh/Bq m<sup>-2</sup>, \*\*: Date After Plant

Table 5. Statistical Table of Transfer Factor(TF<sub>area</sub>) of <sup>90</sup>Sr at Difference Growth Stage of Rice.

Application time	Number of Data	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Standard Error
DAP -17	11	9.5 x 10 <sup>-5</sup>	6.5 x 10 <sup>-4</sup>	2.90 x 10 <sup>-4</sup>	1.77 x 10 <sup>-4</sup>	5.34 x 10 <sup>-5</sup>
DAP 12	3	2.5 x 10 <sup>-4</sup>	7.1 x 10 <sup>-4</sup>	5.53 x 10 <sup>-4</sup>	2.62 x 10 <sup>-4</sup>	1.52 x 10 <sup>-4</sup>
DAP 83	5	4.1 x 10 <sup>-4</sup>	1.8 x 10 <sup>-3</sup>	9.68 x 10 <sup>-4</sup>	5.75 x 10 <sup>-4</sup>	2.57 x 10 <sup>-4</sup>

Table 6. Soil-to-Plant Transfer Factors in the Reg. Guide 1.109.

Radionuclides	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>60</sup> Co
Transfer Factor	1.0 x 10 <sup>-2</sup>	1.7 x 10 <sup>-2</sup>	9.4 x 10 <sup>-3</sup>

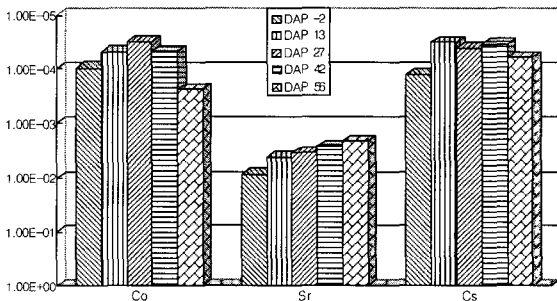


Fig. 5. Transfer Factor(TF<sub>area</sub>) of Important Radionuclides Applied at Difference Growth Stages for Chinese Cabbage (DAP : Day After Plant, Unit : m<sup>2</sup>/kg-plant).

쌀에 대한 <sup>137</sup>Cs의 처리시기별 전이계수(TF<sub>area</sub>)를 조사한 결과 대체로 수확기에 가까울수록 높은 값을 보였다. 벼 이식 전 17일에 처리하였을 경우 최소 2.4 x 10<sup>-5</sup>에서 최대 2.0 x 10<sup>-4</sup>, 평균 1.07 x 10<sup>-4</sup>였고 6.46 x 10<sup>-5</sup>의 표준편차와 1.95 x 10<sup>-5</sup>의 표준오차를 보였다. 이식 후 12일에 동위원소를 처리하였을 경우 이식 전 17일에 처리한 값 보다 최소값은 약 10배, 최대값은 약 2배의 값을 보였고 평균 역시 2배 정도의 차이를 보였다.

이식 후 83일이 경과한 후 동위원소를 처리하였을 경우 위 이식 전 17일, 이식 후 12일에 비해 상대적으로 10-100배의 차이를 보였다[Table 4]. <sup>90</sup>Sr의 경우 <sup>137</sup>Cs만큼의 큰 차이를 보이지는 않았으나 수확기로 갈수록 전이계수가 높은 경향을 보인 것은 알 수 있다[Table 5].

배추에 있어서 <sup>60</sup>Co의 경우 파종 후 56일 즉 수확기에 가까울수록 상대적으로 높은 전이계수를 보였고 성장기에는 상대적으로 낮은 값을 보였다. 반면에 <sup>90</sup>Sr은 수확기로 접어들수록 낮은 전이계수를 보였으며 <sup>137</sup>Cs는 파종 직전을 제외하고 처리시기에 관계없이 비슷한 양상을 보였다[Figure 5].

콩의 경우 <sup>60</sup>Co는 왕성한 성장기인 파종 후 61일에 처리하였을 경우 상대적으로 높은 전이계수를 보였고 <sup>90</sup>Sr과 <sup>137</sup>Cs는 파종 직전부터 파종 후 61일까지 상대적으로 높은 전이계수를 수확기에는 상대적으로 낮은 전이계수를 보였다[Figure 6]. 관련 자료를 종합하여 보면 쌀에 대한 TF<sub>mix</sub> 및 TF<sub>area</sub> 실험 자료는 비교적 풍부하여 통계적 접근이 용한 반면, 나머지 작물에 대한 인자는 통계학적으로는 다소 부족한 면이 있으나 나름대로

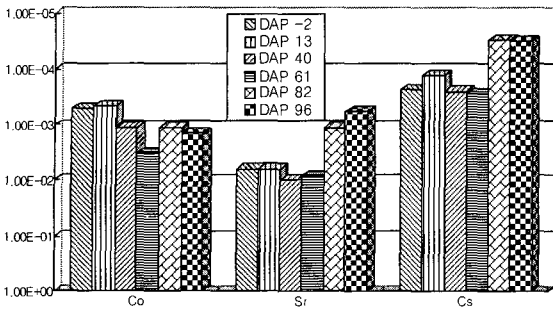


Fig. 6. Transfer Factor(TF<sub>area</sub>) of Important Radionuclides Applied at Difference Growth Stages for Soybean.

는 활용 가능하다고 볼 수 있다. TF<sub>mix</sub>에 대한 평균값은 Reg. Guide 1.109에서 제시한 전이계수와 비슷한 경향을 보였고 TF<sub>area</sub>는 수확기로 갈수록 높은 값을 보였다.

일반적인 동적 섭취경로 모델에서는 작물의 생육중에 발생하는 일회성 사고 침적시 뿌리 흡수 통도를 평가하기 위해서 TF<sub>mix</sub>를 전 생육 기간에 걸쳐 균등 분배한 속도계수를 이용하고 있다. 이렇게 하면 수확기가 갈수록 경우침적이 빠를수록 뿌리흡수 농도가 높게 나타난다. 즉, 작물의 발육 단계에 따른 침적 시기의 영향을 반영하지 못하고 또한 핵종의 지표 침적에 대하여 일정 깊이의 토양과 혼합된 상태에서 구한 자료를 사용하는 것이므로 실제와 거리가 먼 평가를 할 가능성이 높다고 볼 수 있다. 따라서, 이를 평가에 활용하고자 할 때는 평가의 목적과 환경을 분석하고 이와 비슷한 분포나 평균값과 또는 평균값과 표준편차 및 표준오차를 이용하여 적절한 값을 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 결론

과거 10여 년간 한국원자력연구소에서 수행된 우리나라 주요 농작물의 방사성 핵종 이동 인자에 관한 실험 결과의 경향을 분석하였다. 이동 인자의 경향은 실험의 횟수가 많을 경우 대체로 평균에 대해 정규분포를 이루는 경향을 보였으나 일부 핵종은 실험의 환경, 작물 및 토양의 종류에 따라 큰 변이를 보였다. 이러한 이동인자들은 원자력시설의 가동전이나 정상가동 중 또는 사고시에 작물체내 방사성 핵종의 농도를 예측하고 평가하는 데 적절히 활용될 수 있다. 여기에 제시된 모든 인자는 대부분 온실 실험을 통하여 얻은 것이어서 몇 가지는 실험상의 제약으로 인하여 보

수적이거나 단편적인 결과를 얻을 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서 제시된 인자를 사용할 경우 각각이 의미와 한계를 충분히 숙지하고 평가의 목적이나 모델의 특성에 맞게 사용해야 하며, 그럴 경우 외국의 모델에서 제시된 인자를 사용할 때보다 현실적인 평가가 될 것으로 여겨진다. 보다 이상적인 인자를 얻기 위해서는 반복 실험을 통한 더 많은 자료의 생산과 그 자료의 경향을 분석하여 여러 가지 평가 목적에 따라 필요한 인자를 선택하여 평가할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력 중장기 연구의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 최용호, 임광목, 조영현, 이명호, 최근식, 정근호, 박효국, 이원윤, 박두원, 최상도, 강희석, 최희주, 이한수, 이창우. 한국인의 섭취 피폭 선량 평가를 위한 농작물 핵종 이동인자. KAERI/TR-1993/2001.
2. Lim KM, Choi YH, Park HG, Kang HS, Choi HJ, Lee HS. Annual Transfer of 90Sr to Rice from Paddy Soils Collected around Yonggwang and Ulchin Nuclear Power Plants. J. Korea Asso. Radiat. Prot. 2003;28(4):271-279.
3. Gastberger M, Steinhäusler F, Gerzabek MH, Lettner H, Hubner A. Soil-to-plant transfer of fallout caesium and strontium in Austrian lowland and Alpine pastures. JER 2000;49:217-233.
4. Tome FV, Rodríguez MPB, Lozano JC. Soil-to-plant transfer factors for natural radionuclides and stable elements in a Mediterranean area. JER 2003;65:161-175.
5. Andersson I, Lönsjö H, Rosén K. Long-term studies on transfer of <sup>137</sup>Cs from soil to vegetation and to grazing lambs in a mountain area in Northern Sweden. JER 2001;52:45-66.
6. Knatko VA, Ageets VU, Shmigelskaya IV, Ivashkevich II. Soil-to-potato transfer of <sup>137</sup>Cs in an area of Belarus: regression

- analysis of the transfer factor against  $^{137}\text{Cs}$  deposition and soil characteristics. JER 2000;48:171-181.
7. Rahman MM, Rahman MM, Koddus A, Ahmad GU, Voigt G. Soil-to plant transfer of radiocaesium for selected tropical plant species in Bangladesh. JER 2005;83:199-211.
  8. Carini F, Atkinson CJ, Collins C, Coughtrey PJ, Eged K, Fulker M, Green N, Kinnersley R, Linkov I, Mitchell NG, Murlon C, Ould-Dada Z, Quinault JM, Robles B, Stewart A, Sweeck L, Venter A. Modelling and experimental studies on the transfer of radionuclides to fruit. JER 2005;84:271-284.
  9. 임광목, 최용호, 박두원, 강희석, 이한수. 울진 원전 주변 논 토양에서  $^{137}\text{Cs}$ 의 토양-벼 전이 계수. 방사선방어학회 춘계학술발표회 논문집 2004.
  10. 최용호, 임광목, 박효국, 최근식, 강희석, 최희주, 이한수. 영광 및 울진 원전 주변 논 토양에서  $^{90}\text{Sr}$ 의 처리 시기별 및 년차별 토양-벼 전이계수. 방사선방어학회 춘계학술발표회 논문집 2003.
  11. Choi YH, Lim KM, Park HG, Choi HJ, Lee HS. Soil-to-Rice Transfer Factors of  $^{137}\text{Cs}$  after Simulated Accidental Depositions onto Kori and Yonggwang Paddy Soils. J. Korea Asso. Radiat. Prot. 2002;27(4):207-215.
  12. USNRC. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50. Appendix I, Regulatory Guide 1.109 1976.