

## 한국의 논과 밭에서 $^{137}\text{Cs}$ 의 토양-작물체 전이계수

최용호 · 임광묵 · 이명호 · 최근식 · 정규희<sup>1)</sup>  
한국원자력연구소, 경기대학교<sup>1)</sup>

### Soil-to-Plant Transfer Factors of $^{137}\text{Cs}$ in Paddy and Upland Fields of Korea

Yong-Ho Choi, Kwang-Muk Lim, Myung-Ho Lee, Geun-Sik Choi and Kyu-Hoi Chung<sup>1)</sup> (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon, 305-353, Korea, <sup>1)</sup>Kyonggi University, Suwon, 442-760, Korea)

**ABSTRACT** : For investigating transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  in the arable land of Korea, mature crop plants and topsoils were collected from paddy and upland fields located at 33 areas of the country and  $^{137}\text{Cs}$  concentrations were measured by  $\gamma$ -spectrometry. The  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in soil were in the range of 0.7~17.7 Bq/kg-dry in the paddy fields and 1.2~27.8 Bq/kg-dry in the upland fields. The  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in hulled seed, detected for 12 areas only, were in the range of 0.019~0.111 Bq/kg-dry and those in Chinese cabbage, detected also for 12 areas only, were in the range of 0.012~0.066 Bq/kg-fresh. Soil-to-plant transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  were in the range of  $1.2 \times 10^{-3}$ ~ $1.1 \times 10^{-2}$  for hulled seed and  $6.8 \times 10^{-4}$ ~ $1.7 \times 10^{-2}$  for Chinese cabbage. In both plant stuffs, the factor tended to decrease with increasing soil organic matter or cation exchange capacity and, in hulled seed, it tended to increase with increasing soil clay content. No statistical significance was, however, found in all those relationships. Present results can be utilized for estimating radiation risk resulting from the food consumption by Korean people and deciding agronomical counter-measures at the time of an nuclear accident.

**Key words** :  $^{137}\text{Cs}$ , soil, hulled rice, Chinese cabbage, transfer factor, arable land, Korea

## 서론

$^{137}\text{Cs}$ 은 반감기가 30년이고 토양중에서 이동속도도 매우 느려<sup>1,2)</sup> 경작지에 침적되면 장기간 작토층에 잔류하면서 재배작물의 뿌리흡수 과정을 거쳐 인체에까지 도달하게 된다. 원자력 시설의 환경영향 평가시 토양중 방사성 핵종의 뿌리흡수 정도는 토양 단위무게당 방사성 핵종 농도에 대한 작물체 단위무게당 방사성 핵종의 농도비로 정의되는 토양-작물체간 전이계수<sup>3,4)</sup>로 예측하고 있다. 특히  $^{137}\text{Cs}$ 은 핵실험이나 원자력 시설로부터 방출된 인공 방사성 핵종중에서 토양중 농도가 가장 높은 핵종이므로<sup>5,6)</sup> 국민의 식생활에 따른 인공 방사성 핵종의 방사선 위해도를 평가하는 데는 주식작물의  $^{137}\text{Cs}$  전이계수 자료가 매우 중요하다.

지금까지 우리나라에서 조사된 벼와 배추의  $^{137}\text{Cs}$  전이계수는 거의 전부 온실내에서 포트실험을 통하여 얻어진 것<sup>7,8)</sup>이므로 현실성이 충분하지 못한 단점이 있다. 이에 반해 재배현장에서 구한 전이계수는 실제의 재배환경을 그대로 반영하기 때문에 현실적인 자료로서 이용가치가 매우 크다. 또한 이때 얻어지는 경작지 토양중  $^{137}\text{Cs}$  농도 자료는

만일의 원자력 사고시 경작지의 방사능 오염 여부를 판단하는 데 필요한 기초자료로 활용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전국 30여 지역의 논과 밭을 대상으로 표층토내  $^{137}\text{Cs}$  농도와 거기서 재배된 벼와 배추내  $^{137}\text{Cs}$  농도를 측정하여 실제 경작지에서의 토양-작물체간  $^{137}\text{Cs}$  전이계수 자료를 생산하였고 농경지의 방사능 오염 사고에 대비한 베이스라인 데이터를 축적하였다. 또한 토양의 물리·화학적 특성을 조사하여 전이계수와 상관을 계를 분석하고 각종 토양 요인이  $^{137}\text{Cs}$ 의 뿌리흡수에 미치는 영향을 해석하였다.

## 재료 및 방법

### 시료채취

1994년부터 2년에 걸쳐 전국 33 지역(그림 1)에 분포하는 논과 밭에서 벼와 배추의 수확기에 작물과 토양을 채취하였다. 벼는 작황에 따라 2~3m×3m 이내의 것을 전부 예취하였고 배추는 3m×3m 이내의 것중 5~6 포기를 취하였다. 토양은 작물을 채취한 곳에서 직경 10cm, 깊이 15cm의 원

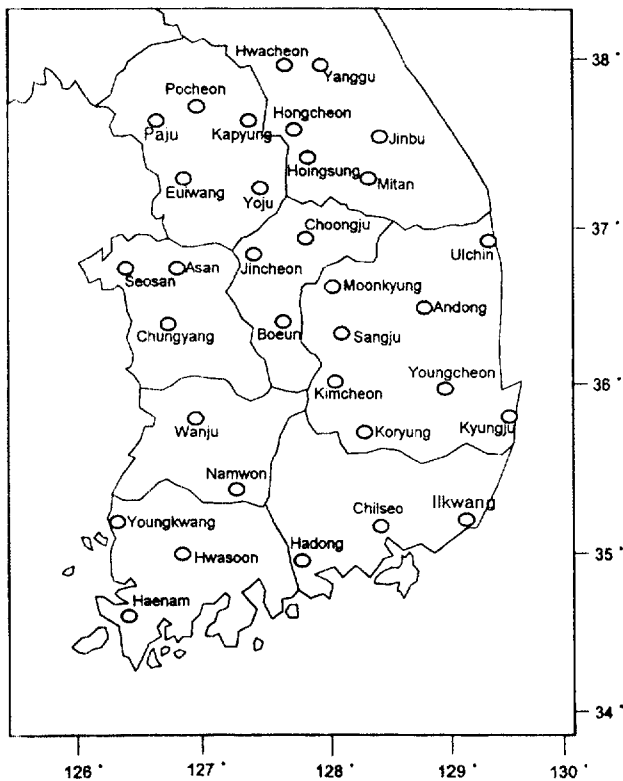


Fig. 1. Sampling sites for paddy and upland soils of Korea.

통형 철제 토양채취기를 이용하여 표면에서 지하 15cm까지 세번 채취한 후 한데 혼합하였다. 한 지역내에서 논과 밭 사이의 거리는 대체로 500m 이내였다.

시료 전처리 및 분석

채취한 토양 및 작물체 시료는 비닐백에 넣어 실험실로 운반하였다. 토양은 50 °C로 조절된 건조기에서 1주간 건조시켜 분쇄하고 2mm 체로 정선하였다. 벼는 이삭을 분리하여 1주간 천일건조한 후 제현하여 현미시료를 얻었다. 배추는 겉잎을 제거하고 기부의 흙을 물로 씻어낸 다음 110°C에서 16 시간 건조시켰다. 현미 시료와 건조된 배추 시료는 450 °C에서 16~48 시간 회화시켜 회분 시료를 얻었다.

정선된 토양 시료와 작물체 회분시료를 적정 계측용기에 담고 HPGe 검출기(EG&G ORTEC)를 이용한 감마스펙트로메트리법으로 <sup>137</sup>Cs을 분석하였다. 계측시간은 토양시료의 경우 80,000~300,000 초였고 작물체 시료의 경우 200,000~500,000 초였다. 스펙트럼의 분석에는 Omnigam software (EG&G ORTEC)가 사용되었다. 토양의 pH는 1:5법<sup>10)</sup>, 유기물 함량은 Walkley-Black 법<sup>10)</sup>, 양이온치환용량은 Ammonium acetate 법<sup>11)</sup>, 그리고 입경은 Hydrometer 법<sup>12)</sup>으로 측정하였다.

결과 및 고찰

Table 1. Summary of the measurement of <sup>137</sup>Cs concentrations in paddy and upland soils of Korea

Province	Number of sites	Kind of data	<sup>137</sup> Cs concentration (Bq/kg-dry) <sup>a</sup>	
			Paddy soil	Upland soil
Kyonggi	5	Min.	6.0 (Yoju)	3.5 (Paju)
		Max.	17.7 (Euiwang)	27.8 (Kapyung)
		$\bar{x} \pm S.D.$	10.2 $\pm$ 4.8	11.2 $\pm$ 9.6
Kangwon	6	Min.	0.7 (Mitan)	7.9 (Hoingsung)
		Max.	7.0 (Hwacheon)	14.9 (Jinbu)
		$\bar{x} \pm S.D.$	3.5 $\pm$ 2.5	12.2 $\pm$ 2.7
Choongchung	6	Min.	2.7 (Jincheon)	1.2 (Asan)
		Max.	8.8 (Seosan)	12.8 (Jincheon)
		$\bar{x} \pm S.D.$	5.9 $\pm$ 2.3	7.0 $\pm$ 4.6
Kyungsang	11	Min.	1.7 (Kyungju)	4.2 (Andong)
		Max.	13.5 (Mookyung)	15.8 (Ulchin)
		$\bar{x} \pm S.D.$	7.4 $\pm$ 4.4	10.4 $\pm$ 3.7
Cheolla	5	Min.	3.4 (Hwasoon)	3.5 (Hwasoon)
		Max.	11.0 (Namwon)	11.8 (Wanju)
		$\bar{x} \pm S.D.$	8.2 $\pm$ 3.4	8.0 $\pm$ 3.3

aThe words in parentheses denote the name of the sampling site where the corresponding value came from.

$\bar{x} \pm S.D.$  is mean  $\pm$  standard deviation.

경작지 토양중 <sup>137</sup>Cs 농도

표 1은 전국의 경작지 토양중 <sup>137</sup>Cs 농도 측정결과를 요약한 것이다. 전국적으로 보면 논토양중 농도는 0.7~17.7 Bq/kg-dry의 범위로 평균 6.9 Bq/kg-dry였고 밭토양중 농도는 1.2~27.8 Bq/kg-dry의 범위로 평균 9.9 Bq/kg-dry였다. 논토양과 밭토양간 <sup>137</sup>Cs의 농도차는 다른 도에 비해 논토양중 <sup>137</sup>Cs의 농도가 대체로 낮게 나타난 강원도에서 가장 컸다. 논토양중 <sup>137</sup>Cs 농도와 밭토양중 <sup>137</sup>Cs 농도 간 상관관계는 매우 미약하였다(r=0.16).

논토양중 <sup>137</sup>Cs의 농도가 밭토양에 비해 대체로 낮은 것은 관개수를 많이 사용하고 객토와 심경을 비교적 자주하는 벼농사의 특성<sup>13,14)</sup>에 크게 기인하는 것으로 보인다. 즉 논에 관개를 하면 <sup>137</sup>Cs이 관개수에 용해되고 이 관개수가 논으로부터 흘러 나오거나 논두렁이나 지하로 침투함<sup>13,15)</sup>에 따라 <sup>137</sup>Cs도 함께 빠져 나오게 된다. 또한 객토나 심경을 하면 <sup>137</sup>Cs의 농도가 일반적으로 매우 낮은 깊이 15cm 이하의 토양<sup>3,16)</sup>이 많이 유입되기 때문에 표층토중 <sup>137</sup>Cs의 농도가 낮아진다.

Komamura와 Tsumura<sup>17)</sup>가 1990년에 일본 전국 15개 지역에서 조사한 20cm 깊이내의 논토양중 <sup>137</sup>Cs의 농도는 16  $\pm$  11 Bq/kg-dry로 4~5년 후에 실시된 본 조사에 비해 2배 이상 높았다. 이와 같은 일본 논에서의 <sup>137</sup>Cs 농도는 4~5년 후에도 <sup>137</sup>Cs의 높은 고정성<sup>18,19)</sup>으로 볼 때 크게 낮아지지 않았을 것으로 보인다. 따라서 우리나라 논토양중 <sup>137</sup>Cs의 평균 농도는 현재에도 일본에 비해 낮을 것으로 예상된다.

현미와 배추내 <sup>137</sup>Cs 농도

표 2에서 보는 바와 같이 33 곳의 조사지점중 논, 밭 각

Table 2. <sup>137</sup>Cs concentrations in hulled rice and Chinese cabbage

Sampling site	<sup>137</sup> Cs concentration (Bq/kg)	
	Hulled rice <sup>a</sup>	Chinese cabbage <sup>b</sup>
Euiwang	0.041	0.012
Kapyung	0.079	0.019
Pocheon	0.019	-
Sangju	0.033	0.034
Moonkyung	0.027	-
Choongju	-	0.066
Jincheon	0.032	0.023
Haenam	0.108	0.051
Namwon	-	0.034
Ulchin	-	0.018
Kyungju	-	0.019
Chungyang	-	0.026
Chilseo	-	0.013
Hwasoon	0.033	0.024
Ilkwang	0.111	-
Kimcheon	0.025	-
Hadong	0.029	-
Wanju	0.044	-

<sup>a</sup> on the basis of dry plant

<sup>b</sup> on the basis of fresh plant.

각 12 지점에서만 작물체내 농도를 얻을 수 있었고 나머지 지점들에서는 MDA (Minimum Detectable Activity: 최소검출가능농도) 이하로 나타났다. 측정치가 없는 시료들의 MDA는 현미의 경우 최고 0.055 Bq/kg-dry, 배추의 경우 최고 0.023 Bq/kg-fresh였다. 따라서 측정치가 없다고 해서 실제 값이 반드시 측정된 모든 값들보다 낮다고 할 수는 없다.

현미내 <sup>137</sup>Cs 농도의 측정치는 0.019~0.111 Bq/kg-dry의 범위로 평균 0.049 Bq/kg-fresh였고 배추내 <sup>137</sup>Cs의 측정치는 0.012~0.066 Bq/kg-fresh의 범위로 평균 0.028 Bq/kg-fresh였다. MDA 이하의 지점들이 현미, 배추 각각 20 지점이었던 점을 고려하면 전체 조사지점에 대한 평균치는 상기 값들보다 다소 낮을 것으로 추측된다.

이 등<sup>20)</sup>이 1982년에 고리 주변에서 조사한 배추내 <sup>137</sup>Cs의 농도는 0.14~0.61 Bq/kg-fresh의 범위로 본 조사에 비해 10배 정도나 높았다. 이와 같은 차이가 나타난 것은 강대국들의 대기권 핵실험, 특히 1980년도까지 실시된 중국의 핵실험시 생성된 방사성 낙진에 의한 작물체의 직접오염 정도가 이 등의 조사 당시에는 매우 컸으나 12년이 지난 본 조사에서는 무시할 수 있을 정도였기 때문인 것으로 보인다.

Komamura와 Tsumura<sup>17)</sup>가 1990년에 조사한 일본 전국 15개 지역에서 생산된 백미내 <sup>137</sup>Cs의 농도는 0.041±0.064 Bq/kg였다. 이것을 현미대 백미의 <sup>137</sup>Cs 농도비를 2~3<sup>21)</sup>으로 보고 현미내 농도로 환산하면 평균 약 0.1 Bq/kg이 된다. 이러한 값은 토양과 마찬가지로 4~5년 후에 조사된 우리나라 현미내 <sup>137</sup>Cs의 평균 농도보다 2배 가량 높은 것이다.

Table 3. Soil-to-plant transfer factors of <sup>137</sup>Cs for hulled rice in Korean paddy soils and their physicochemical properties

Sampling site	Transfer factor	Soil property <sup>b</sup>				
		pH (1:5)	OM (%)	CEC (cmol/kg)	Clay (%)	Sand (%)
Euiwang	2.3 × 10 <sup>-3</sup>	5.5	3.74	11.4	14.0	58.6
Kapyung	7.1 × 10 <sup>-3</sup>	5.8	3.24	10.2	14.0	65.0
Pocheon	1.9 × 10 <sup>-3</sup>	5.5	1.69	12.8	17.0	52.9
Sangju	6.9 × 10 <sup>-3</sup>	5.6	2.24	7.5	20.0	39.3
Moonkyung	2.0 × 10 <sup>-3</sup>	5.7	6.55	14.6	14.0	47.9
Jincheon	1.2 × 10 <sup>-3</sup>	5.5	1.94	9.5	20.1	50.3
Haenam	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	4.9	3.12	7.3	17.5	60.2
Hwasoon	9.8 × 10 <sup>-3</sup>	5.8	2.14	8.6	20.4	59.7
Ilkwang	8.2 × 10 <sup>-3</sup>	4.3	2.07	14.7	25.9	23.0
Kimcheon	6.6 × 10 <sup>-3</sup>	5.0	1.95	6.5	17.3	65.6
Hadong	3.1 × 10 <sup>-3</sup>	5.6	2.52	9.1	16.4	43.5
Wanju	7.7 × 10 <sup>-3</sup>	6.4	1.83	9.3	21.3	42.0

<sup>a</sup> on the basis of dry plant

<sup>b</sup> OM : Organic matter, CEC : Cation exchange capacity.

<sup>137</sup>Cs의 토양-작물체 전이계수

표 3과 4는 각각 논, 밭 토양에서의 <sup>137</sup>Cs의 토양-작물체 전이계수 및 해당 토양의 물리·화학적 특성을 나타내고 있다.

<sup>137</sup>Cs 전이계수는 지역에 따라 현미(건조작물체 기준)의 경우 1.2 × 10<sup>-3</sup>~1.1 × 10<sup>-2</sup>의 변이를 보였고 배추(신선작물체 기준)의 경우 6.8 × 10<sup>-4</sup>~1.7 × 10<sup>-2</sup>의 변이를 보였으며 평균은 각각 5.7 × 10<sup>-3</sup> 및 4.2 × 10<sup>-3</sup>이었다. 재배지역 간에 전이계수가 다른 것은 토양의 특성, 기후, 영농관행, 품종 등의 차이가 복합적으로 작용한 결과인 것으로 생각된다. Komamura와 Tsumura<sup>17)</sup>가 1990년에 일본 전국 15개 지역을 대상으로 조사한 백미의 <sup>137</sup>Cs 전이계수는 2.6 × 10<sup>-3</sup> ± 2.8 × 10<sup>-3</sup>이었다. 이것을 위와 같이 현미에 대한 전이계수로 환산하면 평균 약 6.5 × 10<sup>-3</sup>이 되므로 본 조사결과와 큰 차이가 없는 것으로 볼 수 있다.

최 등<sup>4)</sup> 및 이 등<sup>6)</sup>이 온실내 포트실험 결과에 입각하여 현미 및 배추의 <sup>137</sup>Cs 전이계수로 각각 3.8 × 10<sup>-2</sup> 및 1.1 × 10<sup>-1</sup>을 제안한 바 있다. 이들의 제안치가 본 조사결과에 비해 훨씬 높은 것은 토양내 <sup>137</sup>Cs의 고정 정도에 따른 가급태 존재비율의 차이에 크게 기인하는 것으로 판단된다. <sup>137</sup>Cs은 1가의 양이온으로서 토양내에서 주로 점토 입자에 흡착, 고정됨으로써 침적후 재배년수가 경과함에 따라 작물체에 의한 뿌리흡수가 비교적 크게 감소하는 것<sup>22)</sup>으로 알려져 있다.

현재 우리나라의 토양에 존재하는 <sup>137</sup>Cs은 거의 전부 강대국들이 과거에 실시한 대기핵실험에서 비롯된 것으로 대체로 약 20년 이상 토양속에서 고정이 진행되어 이식 직전에 <sup>137</sup>Cs을 처리한 상기 실험들에 비해 가급태로의 존재비율이 훨씬 낮았던 것으로 볼 수 있다. 따라서 상기의 제안치는 <sup>137</sup>Cs의 침적 1차년도 평가시에는 사용해도 좋으나 침

Table 4. Soil-to-plant transfer factors of <sup>137</sup>Cs for Chinese cabbage in Korean upland soils and their physicochemical properties

Sampling site	Transfer factor	Soil property <sup>b</sup>				
		pH (1:5)	OM (%)	CEC (cmol/kg)	Clay (%)	Sand (%)
Euiwang	1.3 × 10 <sup>-3</sup>	5.4	3.52	9.9	8.0	69.2
Kapyung	6.8 × 10 <sup>-4</sup>	5.9	3.67	12.5	9.0	67.5
Sangju	6.2 × 10 <sup>-3</sup>	6.2	2.88	7.5	9.0	67.6
Choongju	1.7 × 10 <sup>-2</sup>	6.1	1.96	9.9	9.0	65.3
Jincheon	1.8 × 10 <sup>-3</sup>	5.5	1.66	8.7	14.0	68.9
Haenam	5.1 × 10 <sup>-3</sup>	5.1	2.36	11.3	17.4	61.8
Namwon	3.8 × 10 <sup>-3</sup>	6.4	2.71	8.9	12.8	73.8
Ulchin	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	6.8	4.79	14.1	15.2	72.9
Kyungju	2.2 × 10 <sup>-3</sup>	5.9	2.21	9.8	12.2	72.2
Chungyang	2.6 × 10 <sup>-3</sup>	4.2	2.41	9.7	14.3	63.4
Chilseo	1.3 × 10 <sup>-3</sup>	5.8	3.17	14.0	15.4	31.3
Hwasoon	7.0 × 10 <sup>-3</sup>	5.6	3.00	9.8	19.5	52.3

<sup>a</sup> on the basis of fresh plant

<sup>b</sup> OM : Organic matter, CEC : Cation exchange capacity.

적후 수년 내지 수십년 간의 장기적인 평가에 있어서는 과대평가를 초래할 가능성이 크므로 주의해야 할 것이다.

토양 특성과 전이계수 간에는 표 5에서 보는 바와 같이 통계적으로 유의한 상관은 하나도 나타나지 않았지만 현미와 배추 모두 유기물 함량이나 양이온치환용량이 증가할수록 <sup>137</sup>Cs의 전이계수가 어느 정도 감소하는 경향이 있었다. 또한 현미에서는 점토 함량이 증가할수록 전이계수가 증가하는 경향이 약간 있었다. pH와 모래함량이 전이계수에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다.

<sup>137</sup>Cs 전이계수는 대체로 토양의 pH나 점토함량이 높을수록 감소하는 경향이 있는 것<sup>(24,25)</sup>으로 알려져 있다. 본 조사에서 논외의 경우 점토의 영향이 이와 반대로 나타난 것은 논외의 특수한 재배환경과 관련이 있을 것으로 추정되나 정확한 원인은 알 수 없었다. 김<sup>(26)</sup>도 벼의 <sup>137</sup>Cs 흡수와 점토함량 간에 유의성 없는 정의 상관이 있는 것으로 보고한 바 있다. 유기물 함량이 <sup>137</sup>Cs의 뿌리흡수에 미치는 영향에 대해서는 상반되는 연구결과들<sup>(24,27-29)</sup>이 많이 보고되어 있다.

Bilo 등<sup>(30)</sup>이 1988~1989년에 Chernobyl 사고의 영향을 받은 독일의 Upper Swabia 지역내 54 지점에서 조사한 곡류종실의 <sup>137</sup>Cs 전이계수는 토양의 pH와 고도의 부의 상관이 있었으나 유기물 함량, 양이온치환용량, 점토함량 및 모래함량과는 이렇다할 상관이 없었다. 본 연구에서는 이와 달리 pH와 <sup>137</sup>Cs의 전이계수 간에 유의한 상관이 나타나지 않은 것은 측정치의 수가 적고 조사된 토양 pH의 변이폭이 비교적 좁았다는 사실에 크게 기인하는 것으로 판단된다.

### 요 약

우리나라 농경지에서의 토양-작물체간 <sup>137</sup>Cs 전이계수를 조사하기 위하여 전국 33 지역의 논과 밭에서 벼와 배추의

Table 5. Coefficients of the correlation between soil properties and soil-to-plant transfer factors of <sup>137</sup>Cs

Transfer factor	Correlation coefficient				
	pH	OM <sup>a</sup>	CEC <sup>b</sup>	Clay	Sand
Hulled rice	-0.20	-0.28	-0.42	0.44	0.04
Chinese cabbage	0.12	-0.43	-0.33	-0.14	-0.01

<sup>a</sup> Organic matter

<sup>b</sup> Cation exchange capacity.

수확기에 작물과 표층토를 채취하고  $\gamma$ -스펙트로메트리법으로 <sup>137</sup>Cs 농도를 측정하였다.

경작지 토양중 <sup>137</sup>Cs의 농도는 논에서는 0.7~17.7 Bq/kg-dry, 밭에서는 1.2~27.8 Bq/kg-dry의 범위로 평균은 각각 6.9 Bq/kg-dry 및 9.9 Bq/kg-dry였다. 현미 및 배추내 <sup>137</sup>Cs의 농도는 각각 12 지역에서만 측정되었는데 현미의 경우 0.019~0.111 Bq/kg-dry의 범위로 평균 0.049 Bq/kg-dry였고 배추의 경우 0.012~0.066 Bq/kg-fresh의 범위로 평균 0.028 Bq/kg-fresh였다. 논토양 및 현미내 <sup>137</sup>Cs의 농도는 일본에 비해 낮은 편이었다.

<sup>137</sup>Cs의 토양-작물체 전이계수는 현미의 경우 지역에 따라 1.2 × 10<sup>-3</sup>~1.1 × 10<sup>-2</sup>(건조중 기준)의 변이를 보였고 배추의 경우 6.8 × 10<sup>-4</sup>~1.7 × 10<sup>-2</sup>(생체중 기준)의 변이를 보였으며 평균은 각각 5.7 × 10<sup>-3</sup> 및 4.2 × 10<sup>-3</sup>이었다. 이러한 값들은 <sup>137</sup>Cs이 토양에 침적된 후 적어도 10년 이상이 경과되어 고정이 상당히 진행된 경우에 해당한다. 전이계수는 현미와 배추에서 모두 토양의 유기물 함량이나 양이온치환용량이 증가할수록 감소하는 경향이, 또한 현미에서는 점토 함량이 증가할수록 증가하는 경향이 약간씩 있었다. 토양의 pH나 모래함량은 전이계수에 영향을 거의 미치지 않았다.

본 연구결과는 국민 전반의 식생활에 따른 방사선 위험 정도를 평가하고 원자력사고 발생시 영농적 대책 수립에 활용될 수 있다.

### 감사의 글

본 논문은 과학기술부가 시행한 원자력중장기연구개발사업의 결과입니다.

### 참 고 문 헌

- Cline, J. F. and Rickard, W. H. (1972), Radioactive strontium and cesium in cultivated and abandoned field plots, Health Phys. 23 : 317-324.
- Choi, Y. H., Jo, J. S., Lee, C. W., Lee, M. H., Kim, S. B., Hong, K. H., Choi, G. S. and Lee, J. H. (1996), Underground migration of <sup>24</sup>Mn, <sup>60</sup>Co, <sup>85</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs deposited during the growth of major crop plants, J. Korean Asso. Radiat. Prot. 21 : 51-58.

3. Lee, M. H., Lee, C. W., Hong, K. H., Choi, Y. H. and Boo, B. H. (1996), Depth distribution of  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soils of South Korea, *J. of Radioanal. Nuc. Chem.* 204 : 135-144.
4. Choi, Y. H., Kim, K. C., Lee, C. W., Lee, K. S., Lee, J. H., Pak, C. K. and Cho, Y. W. (1991), Soil-to-plant transfer coefficients of  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  and  $^{137}\text{Cs}$  for rice, soybean and vegetables, *J. Korean Asso. Radiat. Prot.* 16 : 55-64.
5. IAEA (1982), Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Safety Series No. 57, IAEA, Vienna.
6. Lee, J. H., Lee, C. W. and Choi, Y. H. (1991), A Development of Computer Code for Evaluating Internal Radiation Dose through Ingestion and Inhalation Pathways, KAERI/RR-998/90, Korea Energy Research Institute(in Korean).
7. Choi, Y. H. and Jo, J. S (1996), Uptake and accumulation of soil strontium-90 by peanut and sesame, *Korean J. of Environ. Agriculture* 15 : 11-18.
8. Kim, C. S., Lee, M. H., Kim, C. K. and Kim, K. H. (1998),  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{Pu}$  concentrations in surface soils of Korea, *J. Environ. Radioactivity* 40 : 75-88.
9. Lee, M. H., Lee, C. W., Hong, K. H., Choi, Y. H., Kim, S. B., Park, D. W. and Lee, J. H. (1995), A study on distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in soils around Taejon region, *J. Korean Asso. Radiat. Prot.* 20 : 123-128.
10. Jackson, M. L. (1958), *Soil Chemical Analysis*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A..
11. Hendershot, W. H., Lalonde H. and Duguet, M. (1993), Ion exchange and exchangeable cations, In : *Soil Sampling and Method of Analysis*, Carter, M. R., ed., p. 167-176, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, U.S.A..
12. Day, P. R. (1965), Particle fractions and particle-size analysis, In : *Methods of Soil Analysis*, Black, C. A., ed., p. 547-567, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A..
13. Lee, E. W. (1996), *Rice Culture*, Hyangmoon Press, Seoul(in Korean)
14. Cho, S. J. (1997), *Soil Science*, Hyangmoon Press, Seoul(in Korean).
15. Choi, Y. H., Jo, J. S., Lee, C. W., Chung, K. H. and Lee, J. H. (1996), Leaching of  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  deposited to paddy soil during the growing season of rice, *Korean J. Environ. Agriculture* 15 : 198-206.
16. Lee, M. H., Choi, Y. H., Shin, H. S., Kim, S. B. and Lee, C. W. (1998), Cumulative deposition of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil of Korea, *J. Korean Asso. Radiat. Prot.* 23 : 97-102.
17. Komamura, M. and Tsumura, A. (1994), The transfer factors of long-lived radionuclides from soil to polished rice measured by ICP-MS, *Radioisotopes* 43 : 1-8.
18. Kagan, L. M. and Kadatsky, V. B. (1996), Depth migration of Chernobyl originated  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in soils of Belrarus, *J. Environ. Radioactivity* 33 : 27-39.
19. Choi, Y. H., Lee, C. W., Kim, S. R., Lee, J. H. and Jo, J. S. (1998), Effect of application time of radionuclides on their root uptake by Chinese cabbage and radish, *J. Environ. Radioactivity* 39 : 183-198.
20. Lee, J. H., Ahn, J. S. and Kim, J. S. (1983), Environmental Impact Studies Around Nuclear Facilities(Ⅰ), KAERI/RR-386-1/82, Korea Advanced Energy Research Institute(in Korean).
21. Tsumura, A., Komamura, M. and Kobayashi, H. (1983), Behavior of radioactive Sr and Cs in soils and soil-plant system, In : Report of National Institute of Agricultural Science-B, No 36, p. 57-113(in Japanese).
22. Squire, H. M. and Middleton, L. J. (1966), Behaviour of  $^{137}\text{Cs}$  in soils and pastures : a long-term experiment, *Radiat. Botany* 6 : 413-425.
23. Adriano, D. C., McLeod, K. W. and Ciravolo, T. G. (1984), Long-term root uptake of radiocesium by several crops, *J. Plant Nutri.* 7 : 1415-1432.
24. Abbazov, M. A., Dergunov, I. D. and Mikulin, R. G. (1978), Effect of soil properties on the accumulation of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in crops, *Soviet Soil Sci.* 10 : 52-56.
25. Maraziotis, E. A., (1992), Soil-to-plant concentration factor and dependence on soil parameters, *J. Radiol. Prot.* 12 : 77-84.
26. Kim, J. S. (1985), Studies on the Absorption and Desorption of Strontium-90 and Cesium-137 in Paddy Soils and Their Absorption Aspect in Rice Plant(*Oryza sativa L.*), Ph.D. Thesis, Korea University.
27. Barber, D. A. (1964), Influence of soil organic matter on the entry of  $^{137}\text{Cs}$  in plants, *Nature* 204 : 1326-1327.
28. Sandalls, F. J. and Bennett, L. (1992), Radiocesium in upland herbage in Cumbria, UK : a three year field study, *J. Environ. Radioactivity* 16 : 147-165.
29. Garten, C. R. Jr. and Paine, D. (1977), Multivariate analysis of factors affecting radiocesium uptake by *Sagittaria latifolia* in coastal plain environments, *J. Environ. Quality* 6 : 78-82.
30. Bilo, M., Steffens, W., Fuehr, F. and Pfeffer, K. H. (1993), Uptake of  $^{134,137}\text{Cs}$  in soil by cereals as a function of several soil parameters of three soil types in Upper Swabia and Rhine-Westphalia (FRG), *J. Environ. Radioactivity* 19 : 25-39.