

¹³⁷Cs Concentrations in Cultivated Soils of Korea

Yong-Ho Choi, Kwang-Muk Lim, Myung-Ho Lee,
Hyo-Guk Park, Won-Yun Lee
Korea Atomic Energy Research Institute

우리나라 경작지 토양중 ¹³⁷Cs 농도

최용호 · 임광묵 · 이명호 · 박효국 · 이원윤

한국원자력연구소

(1999년 2월 8일 접수, 1999년 8월 22일 채택)

Abstract - For understanding the radiation environment in the land of Korea and acquiring baseline data to be referred to at the time of a nuclear accident, cultivated soils in the 0~15 cm layer were sampled at 33 sites scattered all over the country and ¹³⁷Cs concentrations were measured by γ -spectrometry. The soil ¹³⁷Cs concentrations were in the range of 0.7~17.7 Bq/kg-dry in the paddy field and 1.2~27.8 Bq/kg-dry in the upland field. The means were 6.9 Bq/kg-dry and 9.9 Bq/kg-dry, respectively. In the paddy field, the soil ¹³⁷Cs concentration was positively correlated to the organic matter content and negatively correlated to the clay content. In the upland field, it was positively correlated to the cation exchange capacity. It was revealed that soil organic matter plays an important role in the change of soil ¹³⁷Cs concentration.

Key words : ¹³⁷Cs concentration, cultivated soil, organic matter content, clay content, cation exchange capacity, Korea

요약 - 우리 국토의 방사선환경을 이해하고 사고에 대비한 베이스라인 데이터를 축적하기 위하여 전국 33 지역의 논과 밭에서 15 cm 깊이로 토양을 채취하고 γ -스펙트로메트리법으로 ¹³⁷Cs 농도를 측정하였다. 토양중 ¹³⁷Cs의 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. 토양중 ¹³⁷Cs의 농도는 논에서는 유기물 함량과 정의 상관, 점토 함량과는 부의 상관이 있었고 밭에서는 양이온치환용량과 정의 상관이 있었다. 토양 유기물이 경작지 토양중 ¹³⁷Cs의 농도변화에 중요한 역할을 하는 것으로 드러났다.

중심어 : ¹³⁷Cs 농도, 경작지 토양, 유기물 함량, 점토 함량, 양이온치환용량, 한국

서론

인류가 원자력을 이용하면서부터 환경으로 배출된 인공방사성 핵종중 현재 토양에 가장 풍부하게 함유되어 있는 것은 ¹³⁷Cs이다. ¹³⁷Cs은 반감기가 30년으로 비교적 길고 토양중에서 이동속도도 매우 느려[1-4] 경작지에 침적되면 장기간 작토층에 잔류하면서 재배작물을 통하여 인체에까지 흡수된다. 따라서 우리 국토의 방사선환경을 이해하고 국민 전반의 식생활에 따른 방사선 위해 정도를 파악하기 위해서는 전국 경작지 토양에서의 ¹³⁷Cs 농도 분포에 관한 자료가 필요하다.

한편, ¹³⁷Cs은 위와 같은 특성과 사고시 방출량이 비교적 많고 분석이 용이하다는 점 때문에 사고의

영향을 확인하고 평가하는 데 있어서 중요한 목표 핵종이 된다[5,6]. 이를 위해서는 평상시 토양중 ¹³⁷Cs 농도를 측정하여 사고에 대비한 베이스라인 데이터를 충분히 확보해 두어야 한다. 이러한 데이터를 확보하는 것은 사방이 중국, 러시아, 일본 등 원자력 강국으로 둘러싸인 우리나라에서는 국내의 사고뿐만 아니라 인접국의 사고에 대비해서도 중요한 일이다.

지금까지 우리나라에서는 토양중 ¹³⁷Cs 농도에 관한 조사.연구가 전국의 비경작지를 대상으로는 몇차례 이루어진 적[6-8]이 있지만 전국의 경작지를 대상으로는 이루어진 적이 없다. 본 연구에서는 우리나라 전역에 분포하는 30여 지역의 논과 밭을 대상으로 표층토내 ¹³⁷Cs 농도를 측정하여 전

국 경작지에서의 ^{137}Cs 농도 분포를 조사하고 사고에 대비한 베이스라인 데이터를 축적하였다. 또한 토양의 물리·화학적 특성을 조사하여 ^{137}Cs 농도와 의 상관관계를 분석하고 각종 토양 요인이 경작지 토양중 ^{137}Cs 의 농도에 미치는 영향을 해석하였다.

재료 및 방법

시료채취

1994년부터 1995년까지 2년에 걸쳐 전국적으로 산재하고 있는 33 지역(그림 1)에서 논토양과 배추를 재배한 밭토양을 농작물의 수확 직후에 채취하였다. 논과 밭 각각 3 m x 3 m의 면적내에서 직경 10 cm, 깊이 15 cm의 원통형 철제 토양채취기를 이용하여 표면에서 지하 15 cm까지의 표층토를 세 번 채취한 후 한데 혼합하였다. 한 지역내에서 논과 밭 사이의 거리는 대체로 500m 이내였다. 여기서 채취 깊이를 15 cm로 한 것은 경작지에서의 흙갈이 깊이, 즉 지표에 침적한 핵종이 토양과 혼합되는 깊이가 대체로 15 cm 내외이기[9] 때문이다.

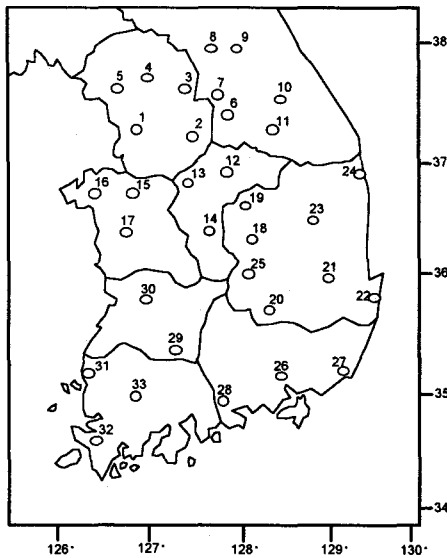


Fig. 1. Sampling points for cultivated soils of Korea

시료 전처리 및 분석

채취한 토양시료는 비닐백에 넣어 실험실로 운반한 다음 50 °C로 조절된 건조기에서 1주간 건조시켜 분쇄하고 2 mm 체로 정선하였다. 정선된 토양시료를 용량 1 l의 마이네리 비이커에 담고 HPGe 검출기(EG&G ORTEC)를 이용한 감마스펙트로메

트리법으로 ^{137}Cs 을 분석하였다. 계측시간은 80,000~300,000 초였고 계측오차는 2시그마로 10% 이하였다. 스펙트럼의 분석에는 Omnigam software (EG&G ORTEC)가 사용되었다. 토양의 물리·화학적 특성 분석은 충남대학교 농업과학연구소에 의뢰하여 수행하였다. pH는 1:5법(토양대 증류수의 무게비가 1:5)[10], 유기물 함량은 Walkley-Black 법[10], 양이온치환용량은 Ammonium acetate 법[11], 그리고 입경은 Hydrometer 법[12]으로 측정하였다.

결과 및 고찰

경작지 토양중 ^{137}Cs 농도

전국의 경작지 토양중 ^{137}Cs 농도는 표 1에 나타나 있다. 논인 경우 최저 0.7 Bq/kg-dry, 최고 17.7 Bq/kg-dry였고 밭의 경우 최저 1.2 Bq/kg-dry, 최고 27.8 Bq/kg-dry였으며 평균은 각각 6.9 Bq/kg-dry 및 9.9 Bq/kg-dry였다. 논토양중 ^{137}Cs 농도와 밭토양중 ^{137}Cs 농도 간에는 유의한 상관성이 없었다 ($r=0.16$). 도별 경작지 토양중 ^{137}Cs 의 농도 간에는 전체적으로 이렇다할 경향성이 없었다. 다만 강원도의 논토양중 ^{137}Cs 의 농도가 다른 도에 비해 대체로 다소 낮게 측정되었는데 이것도 도별 조사지점수가 그리 많지 않았고 또한 측정치의 편차가 비교적 컸다는 점을 고려하면 강원도의 지역적 특성에 기인하는 유의할 만한 결과인 것으로 결론지을 수는 없다고 본다.

논토양과 밭토양중 ^{137}Cs 농도의 빈도분포는 그림 2와 같다. 논인 경우 2~12 Bq/kg-dry 사이에, 밭의 경우 6~16 Bq/kg-dry 사이에 전체의 78%

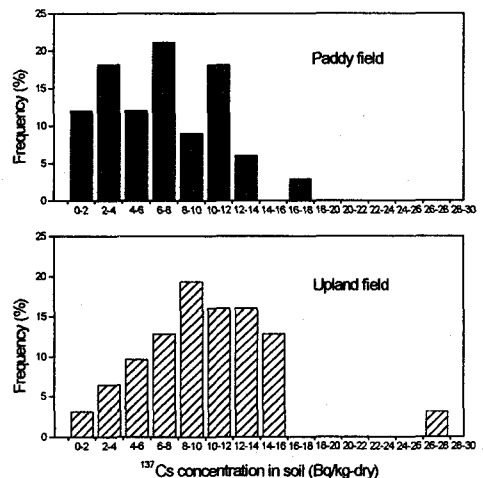


Fig. 2. Frequency distribution of ^{137}Cs concentrations in cultivated soils of Korea.

정도가 분포하였으며 전체의 약 97%가 논에서는 6~8 Bq/kg-dry, 밭 14 Bq/kg-dry, 밭에서는 16 Bq/kg-dry 이하에 분포하였다. 최빈치는 논에서는 6~8 Bq/kg-dry, 밭에서는 8~10 Bq/kg-dry로 나타났다.

Table 1. ¹³⁷Cs concentrations in cultivated soils from paddy and upland fields of Korea.

Sampling point			¹³⁷ Cs concentration in soil (Bq/kg-dry)	
Province	No.	Place	Paddy field	Upland field
경기도	1	의왕	17.7	9.2
	2	여주	6.0	8.3
	3	가평	11.1	27.8
	4	포천	9.8	7.0
	5	파주	6.2	3.5
		$\bar{x} \pm S.D.$	10.2±4.8	11.2±9.6
강원도	6	횡성	5.0	7.9
	7	홍천	1.6	12.2
	8	화천	7.0	13.8
	9	양구	1.8	12.0
	10	진부	4.7	14.9
	11	미탄	0.7	-
		$\bar{x} \pm S.D.$	3.5±2.5	12.2±2.7
충청 남북도	12	충주	7.4	4.0
	13	진천	2.7	12.8
	14	보은	3.6	7.0
	15	아산	6.2	1.2
	16	서산	8.8	-
17	청양	6.5	9.9	
		$\bar{x} \pm S.D.$	5.9±2.3	7.0±4.6
경상 남북도	18	상주	4.8	5.5
	19	문경	13.5	12.5
	20	고령	6.8	14.3
	21	영천	10.1	8.3
	22	경주	1.7	8.6
	23	안동	2.7	4.2
	24	울진	3.5	15.8
	25	김천	3.8	10.9
	26	칠서	11.6	10.2
	27	일광	13.5	14.6
	28	하동	9.3	10.0
		$\bar{x} \pm S.D.$	7.4±4.4	10.4±3.7
전라 남북도	29	남원	11.0	8.8
	30	완주	5.8	11.8
	31	영광	10.5	6.0
	32	해남	10.1	10.1
	33	화순	3.4	3.5
		$\bar{x} \pm S.D.$	8.2±3.4	8.0±3.3
		$\bar{x} \pm S.D.$	6.9±4.1	9.9±5.0

- : not measured.

논토양중 ^{137}Cs 의 농도가 밭토양보다 대체로 낮은 것은 관개수를 많이 사용하고 밭농사에 비해 객토와 심경을 자주하는 벼농사의 특성[13,14]에 크게 기인하는 것으로 보인다. 즉 논에 관개를 하면 ^{137}Cs 이 관개수에 용해되고 이 관개수가 논으로부터 흘러 나오거나 논두렁이나 지하로 침투함 [13,15]에 따라 ^{137}Cs 도 함께 빠져 나오게 된다. 또한 객토나 심경을 하면 ^{137}Cs 의 농도가 일반적으로 매우 낮은 깊이 15 cm 이하의 심토[4,6]가 많이 유입되기 때문에 표층토중 ^{137}Cs 의 농도가 낮아 진다.

김 등[7]이 1992년도에 경남, 경북, 전남, 전북 지역에 분포하는 자연상태의 비경작지 114 지점에서 조사한 깊이 5 cm 이내의 토양중 ^{137}Cs 농도는 9.0~81.5 Bq/kg-dry의 범위로 평균은 30.8 Bq/kg-dry였다. 이것을 5~15 cm 층위에는 ^{137}Cs 이 전혀 존재하지 않는다는 가정하에 15 cm 깊이로 채취했을 때의 농도로 환산하면 10.3 Bq/kg-dry가 된다. 그러나 5~15 cm 층위에서도 10여년 이상 지하로 침투한 ^{137}Cs 이 존재할 것[4,6]이므로 실제로는 이보다 높을 것이다. 김 등[8]이 1992년부터 1994년까지 전국 28 지역에서 자연상태의 비경작지를 대상으로 조사한 깊이 5 cm 이내의 토양중 ^{137}Cs 의 농도도 최저 7.9 Bq/kg-dry, 최고 70.1 Bq/kg-dry, 평균 33.2 Bq/kg-dry로 김 등[7]의 조사결과와 비슷하였다. 이 등[4]이 1994년도에 대전 이북 지역 아홉 지점에서 조사한 자연상태의 비경작지 토양내 깊이별 ^{137}Cs 농도분포에 입각하여 15 cm 깊이까지의 흙을 모두 혼합했을 때의 농도를 구하면 4.2~21.2 Bq/kg-dry의 범위로 평균은 12.3 Bq/kg-dry가 된다.

이상과 같은 비경작지에서의 조사결과와 본 조사결과를 비교해 볼 때 깊이 15 cm 이내의 토양중에 존재하는 ^{137}Cs 의 양은 경작지가 비경작지보다 다소 적다고 할 수 있다. 이것은 경작지에서는 관개나 경운에 의해 ^{137}Cs 이 보다 용이하게 이탈하거나 지하로 침투하고 일부나마 작물체에 흡수되어 제거되며 또한 객토시 ^{137}Cs 의 농도가 낮은 심토가 유입되기 때문인 것으로 판단된다.

Askbrant 등[16]이 1992년에 Chernobyl 원전으로부터 최소 3.5 km에서 최대 170 km 떨어진 일곱 지역에서 조사한 깊이 10 cm 이내의 밭토양중 ^{137}Cs 의 농도는 지역에 따라 1,230~86,860 Bq/kg-dry나 되었다. Bilo 등[17]이 1989년부터 2년에 걸쳐 독일의 Upper Swabia 지역 반경 약 6 km 이내에 분포하는 54 지점의 밭에서 조사한 깊이 20 cm 이내의 토양중 ^{137}Cs 의 농도는 46~297 Bq/kg-dry의 범위로 평균은 175.5 Bq/kg-dry였다. 이것은 5년

후에 조사된 본 보고치보다 18배 정도나 높은 것이다. 따라서 현재에도 상기의 구소련 지역은 물론 Chernoby 사고의 영향이 비교적 컸던 일부 서유럽 지역에서의 경작지 토양중 ^{137}Cs 농도는 우리나라보다 훨씬 높을 것으로 예상된다. 한편, Komamura와 Tsumura[18]가 1990년에 일본 전국 15개 지역에서 조사한 20 cm 깊이내의 논토양중 ^{137}Cs 의 농도는 16 ± 11 Bq/kg-dry였다.

토양 특성이 ^{137}Cs 농도에 미치는 영향

토양의 물리.화학적 특성이 토양중 ^{137}Cs 의 농도에 미치는 영향을 해석하기 위하여 채취한 논과 밭 토양의 물리.화학적 특성을 조사하고 각 특성과 ^{137}Cs 농도간 상관계수를 구하였다(표 2~4). ^{137}Cs 농도는 논에서는 유기물 함량과 정의 상관인, 점토 함량과는 부의 상관인 있었고 밭에서는 양이온치환용량과 정의 상관인 있었으나 그외의 경우에는 통계적으로 유의한 상관성이 없었다.

토양 유기물은 보수력이 매우 크고 또한 양이온을 흡착, 보유하는 능력, 즉 양이온치환용량도 매우 크므로[14] 토양의 유기물 함량이 높을수록 1가의 양이온인 ^{137}Cs 의 지하침투가 저해되어 토양중 농도가 높을 것으로 기대된다. 본 조사에서도 논에서는 이러한 경향이 매우 뚜렷하였으나(그림 3) 밭에서는 그다지 뚜렷하지 못하였다. 이 등[6], 김 등[7], 및 김 등[8]도 자연상태의 비경작지 토양에서 ^{137}Cs 농도와 유기물 함량 간에 고도로 유의한 정의 상관성이 있다고 발표한 바 있다.

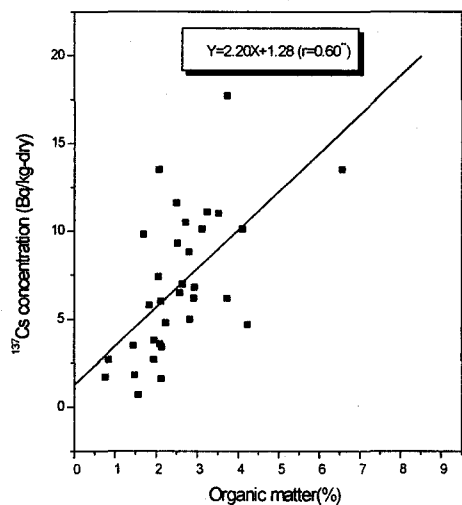


Fig. 3. Correlation between organic matter content and ^{137}Cs concentration in the paddy field soil.

Table 2. Physical and chemical properties of the paddy-field soils.

Sampling point		pH (1:5)	OM (%)	CEC (me/100g)	Texture (%)			Soil type
No.	Place				Clay	Silt	Sand	
1	의왕	5.5	3.74	11.4	14.0	27.4	58.6	SL
2	여주	5.5	2.12	8.7	17.0	28.9	54.1	SL
3	가평	5.8	3.24	10.2	14.0	21.1	65.0	SL
4	포천	5.5	1.69	12.8	17.0	30.1	52.9	SL
5	파주	5.6	3.73	9.5	15.0	30.8	54.2	SL
6	횡성	5.3	2.82	10.0	20.1	27.2	52.8	L
7	홍천	5.8	2.12	10.3	20.0	17.0	63.1	SL
8	화천	5.6	2.64	11.6	21.0	28.0	51.1	L
9	양구	5.6	1.47	11.5	36.0	28.4	35.7	CL
10	진부	5.3	4.23	11.2	14.0	17.2	68.8	SL
11	미탄	7.1	1.56	15.2	37.0	45.1	17.9	CL
12	충주	6.0	2.05	13.1	20.0	36.5	43.5	L
13	진천	5.5	1.94	9.5	20.1	29.8	50.3	L
14	보은	5.0	2.10	9.4	30.6	40.2	29.2	CL
15	아산	5.2	2.92	12.4	29.0	56.2	14.8	SiL
16	서산	6.2	2.80	12.9	27.0	50.0	23.0	SiL
17	청양	5.5	2.57	9.0	15.9	25.5	58.6	SL
18	상주	5.6	2.24	7.5	20.0	40.7	39.3	L
19	문경	5.7	6.55	14.6	14.0	38.2	47.9	SL
20	고령	6.2	2.93	8.6	17.5	39.9	42.6	SiL
21	영천	5.6	4.10	14.9	27.1	48.4	24.5	L
22	경주	5.1	0.76	16.6	21.1	27.3	51.6	SCL
23	안동	5.0	0.84	6.1	20.1	19.9	60.0	SCL
24	울진	4.9	1.45	10.0	21.8	19.4	58.8	SL
25	김천	5.0	1.95	6.5	17.3	7.1	65.6	L
26	철서	5.3	2.50	11.2	23.5	55.2	21.3	SiL
27	일광	4.3	2.07	14.7	25.9	51.1	23.0	SiL
28	하동	5.6	2.52	9.1	16.4	40.1	43.5	L
29	남원	6.0	3.52	10.3	13.4	26.5	60.1	SL
30	완주	6.4	1.83	9.3	21.3	36.7	42.0	L
31	영광	5.8	2.71	15.6	22.1	69.8	8.1	SiL
32	해남	4.9	3.12	7.3	17.5	22.3	60.2	SL
33	화순	5.8	2.14	8.6	20.4	19.9	59.7	SCL

SL : Sandy Loam, L : Loam, SiL : Silty Loam, CL : Clay Loam,
 SCL : Sandy Clay Loam, OM : Organic Matter,
 CEC : Cation Exchange Capacity.

Table 3. Physical and chemical properties of the upland field soils.

Sampling point		pH (1:5)	OM (%)	CEC (me/100g)	Texture (%)			Soil type
No.	Place				Clay	Silt	Sand	
1	의왕	5.4	3.52	9.9	8.0	22.8	69.2	SL
2	여주	7.3	2.98	13.7	12.0	47.3	40.7	L
3	가평	5.9	3.67	12.5	9.0	23.5	67.5	SL
4	포천	5.4	3.09	11.4	9.0	25.0	66.0	SL
5	파주	5.1	5.41	11.3	10.0	22.3	67.7	SL
6	횡성	5.3	3.12	13.4	8.5	29.0	62.5	SL
7	홍천	5.6	5.09	16.4	9.0	20.6	70.4	SL
8	화천	6.4	2.85	15.0	8.0	23.6	68.4	SL
9	양구	6.3	2.64	13.8	12.0	37.7	50.3	L
10	진부	6.6	2.66	12.5	8.5	17.0	74.5	SL
12	충주	6.1	1.96	9.9	9.0	25.7	65.3	SL
13	진천	5.5	1.66	8.7	14.0	17.1	68.9	SL
14	보은	5.0	1.28	8.2	15.2	7.6	77.2	SL
15	아산	6.9	3.41	12.4	20.0	34.3	45.7	L
17	청양	4.2	2.41	9.7	14.3	22.3	63.4	SL
18	상주	6.2	2.88	7.5	9.0	23.4	67.6	SL
19	문경	5.2	6.14	17.7	8.5	52.9	38.6	SiL
20	고령	5.5	1.72	9.7	13.2	34.8	52.0	SL
21	영천	5.8	3.02	13.6	22.1	62.8	15.1	SiL
22	경주	5.9	2.21	9.8	12.2	15.6	72.2	SL
23	안동	5.5	1.43	7.0	15.2	8.5	76.3	SL
24	울진	6.8	4.79	14.1	15.2	11.9	72.9	SL
25	김천	6.4	2.79	12.3	14.9	32.6	52.5	SL
26	칠서	5.8	3.17	14.0	15.4	53.3	31.3	SiL
27	일광	4.8	2.71	12.1	19.5	60.6	19.7	SiL
28	하동	5.4	1.79	10.2	16.3	21.4	62.3	SL
29	남원	6.4	2.71	8.9	12.8	13.4	73.8	LS
30	완주	6.0	1.81	9.4	15.8	25.7	58.5	SL
31	영광	5.4	1.38	9.3	25.3	41.0	33.7	L
32	해남	5.1	2.36	11.3	17.4	20.8	61.8	SL
33	화순	5.6	3.00	9.8	19.5	28.2	52.3	SL

SL : Sandy Loam, L : Loam, SiL : Silty Loam, CL : Clay Loam,
OM : Organic Matter, CEC : Cation Exchange Capacity.

Table 4. Correlation coefficients between soil properties and ¹³⁷Cs concentration in cultivated soils of Korea.

Kind of soil	Correlation coefficient				
	pH	OM	CEC	Clay	Sand
Paddy field	-0.10	0.60**	0.25	-0.38*	-0.13
Upland field	0.04	0.16	0.36*	-0.26	0.04

OM : Organic matter, CEC : Cation exchange capacity

* statistically significant at p <0.05

** statistically significant at p <0.01

밭에서는 토양의 양이온치환용량이 증가함에 따라 ¹³⁷Cs 농도가 높아지는 경향이 뚜렷하게 나타났고(그림 4) 논에서도 통계적인 유의성은 충분하지 못하였으나 그러한 경향이 어느 정도 나타났다. 한편, 양이온치환용량의 원천이 되는 여러 가지 토양의 교질물 중에서 유기물의 일종인 부식의 양이온치환용량이 가장 크므로[14] 밭토양중 ¹³⁷Cs 농도도 통계적으로 유의한 수준의 상관은 없었지만 유기물 함량에 의해 적잖이 영향을 받았을 것으로 사료된다.

토양의 양이온치환용량은 토양 교질물이 갖는 음전하의 수에 의해 결정되므로 토양내 점토 광물의 종류와 양 및 부식의 양에 좌우되고 양이온치

환용량이 같은 토양이라 하더라도 실제로 치환, 흡착되는 특정 양이온의 양은 토양의 pH나 다른 양이온의 존재량 등에 따라 달라진다[14]. 따라서 양이온치환용량과 토양중 ¹³⁷Cs 농도간 상관의 유무나 정도의 차이에 대해 명확히 해석하는 것은 매우 어려운 일로서 고도로 세밀한 기초실험이 있어야만 가능할 것으로 본다.

¹³⁷Cs은 점토에도 비교적 잘 흡착하는 것으로 알려져 있으므로[19] 점토 함량이 높을수록 ¹³⁷Cs의 농도도 높을 것으로 예상되었으나 논에서는 오히려 반대의 경향이 뚜렷하였고(그림 5) 밭에서도 어느 정도 반대의 경향이 나타났다. 이것은 토양중 점토 함량과 유기물 함량 간에 부의 상관

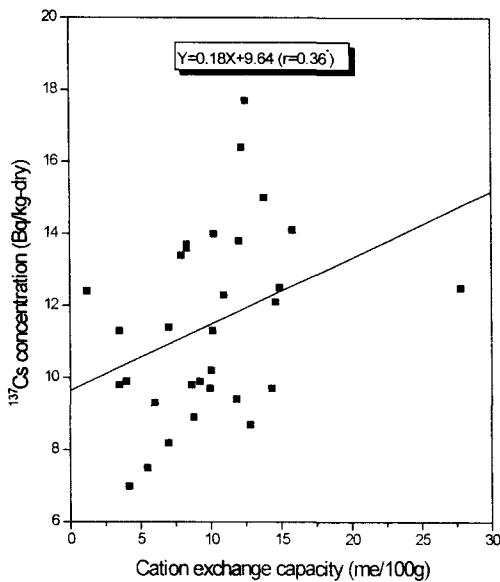


Fig. 4. Correlation between cation exchange capacity and ¹³⁷Cs concentration in the upland field soil.

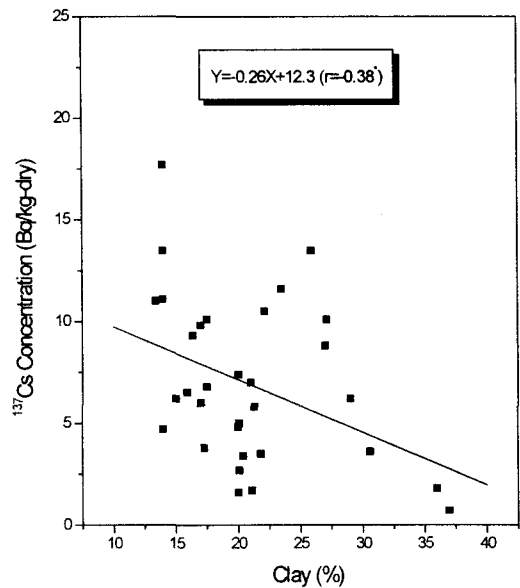


Fig. 5. Correlation between clay content and ¹³⁷Cs concentration in the paddy field soil.

(논: $r=-0.40$, 밭: $r=-0.38$)이 있다는 사실에 크게 기인하는 것으로 판단된다. 이와 같은 점토함량과 유기물 함량 간의 관계는 점토함량이 낮은 경작지에서는 토양의 보수력 및 보비력을 높이기 위해 상대적으로 유기물을 많이 시용하게 되는 영농관행과 관련이 있을 것으로 본다. 김 등[7] 및 김 등[8]은 자연상태의 비경작지에서는 토양중 ^{137}Cs 의 농도와 점토 함량 간에 정의 상관성이 있다고 보고하였다.

일반적으로 토양의 pH가 낮을수록 양이온의 용해도가 높아져서 지하용탈 및 작물체에 의한 흡수 정도가 높아지므로 토양중 ^{137}Cs 의 농도가 낮아질 것으로 예측하였으나 본 연구에서는 이러한 경향이 매우 미약하였다. 또한 모래 함량과 ^{137}Cs 농도 간에도 이렇다할 경향성이 없었다. 이 등[6] 및 김 등[8]도 자연상태의 비경작지에서 토양중 ^{137}Cs 의 농도와 pH 간에는 뚜렷한 상관성이 없다고 발표하였다. 토양의 pH나 모래함량의 영향이 유기물 함량과 같은 보다 더 결정적인 요인에 의해 가려졌을 가능성도 있다.

위에서 본 바와 같이 논토양과 밭토양 간에 유기물 함량이나 양이온치환용량 및 점토함량 등이 토양중 ^{137}Cs 농도에 미치는 영향의 정도가 다소 다르게 나타난 것은 주로 물관리나 시비 등에서 서로 차이가 크기 때문인 것으로 사료된다. 한편 경작지 토양중 ^{137}Cs 농도는 현재의 토양 특성뿐만 아니라 과거 ^{137}Cs 이 침적하기 시작한 때부터 현재까지의 토양 특성의 변화, 즉 경작지의 관리 이력 과도 관계가 있을 것으로 판단되나 지난 수십년간의 이력에 대해서 신뢰도가 충분한 조사를 하는 것은 불가능하였다.

이상으로 경작지 토양에 ^{137}Cs 이 침적한 후 표층토중 ^{137}Cs 의 농도 변화는 여러 가지 토양요인 중에서도 특히 토양의 유기물 함량에 비교적 크게 좌우될 것으로 본다. 즉 침적 당시 토양중에 유기물이 적을수록 그리고 침적후 유기물을 적게 공급할수록 표층토중 ^{137}Cs 의 농도가 빨리 감소할 것으로 예상된다.

결론

전국 33 지역에서 논과 밭 토양중 ^{137}Cs 의 농도를 조사하여 우리나라 경작지에서의 ^{137}Cs 준위를 파악하고 사고에 대비한 베이스라인 데이터를 축적하였다.

논토양중 ^{137}Cs 의 농도가 밭토양에 비해 다소 낮은 경향이었다. 우리나라 경작지 토양에서의

^{137}Cs 준위는 다른 연구자들이 조사한 자연상태의 비경작지 토양중 ^{137}Cs 의 농도보다 다소 낮았으며 Chernobyl의 영향을 크게 받은 일부 유럽 지역의 경작지에 비해서는 상당히 낮았다.

토양중 ^{137}Cs 농도는 논에서는 유기물 함량과 정의 상관성이, 점토 함량과는 부의 상관성이 있었고 밭에서는 양이온치환용량과 정의 상관성이 있었으나 토양의 pH나 모래 함량과는 상관성이 없었다. 토양 유기물이 경작지 토양중 ^{137}Cs 의 농도 변화에 중요한 역할을 하는 것으로 드러났다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부가 시행한 원자력증장기연구개발사업의 결과입니다.

참고문헌

1. J. F. Cline and W. H. Rickard, "Radioactive strontium and cesium in cultivated and abandoned field plots," *Health Phys.* 23, 317-324(1972).
2. B. Salbu, D. H. Oughton et al., "The mobility of ^{137}Cs and ^{90}Sr in agricultural soils in the Ukraine, Belarus and Russia, 1991," *Health Phys.* 67, 518-528(1994).
3. Y. H. Choi, J. S. Jo, C. W. Lee, M. H. Lee, S. B. Kim, K. H. Hong, G. S. Choi and J. H. Lee, "Underground migration of ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{85}Sr and ^{137}Cs deposited during the growth of major crop plants," *J. Korean Asso. Radiat. Prot.* 21, 51-58(1996).
4. M. H. Lee, C. W. Lee, K. H. Hong, Y. H. Choi and B. H. Boo, "Depth distribution of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs in soils of South Korea," *J. of Radioanal. Nuc. Chem.* 204, 135-144 (1996).
5. Institut de Protection et de Surete Nucleaire, The Tchernobyl Accident, Rapport IPSN 2/86(1986).
6. M. H. Lee, Y. H. Choi, H. S. Shin, S. B. Kim and C. W. Lee, "Cumulative deposition of ^{137}Cs in the soil of Korea," *J. Korean Asso. Radiat. Prot.* 23, 97-102(1998).
7. K. H. Kim et al., A Study on the Distribution of γ -Radionuclides in Soils of Korea, KINS/AR-173(1993).
8. C. S. Kim, M. H. Lee, C. K. Kim and K. H. Kim, ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu

- concentrations in surface soils of Korea," *J. Environ. Radioac.* 40, 75-88(1998).
9. 이정호 등, 섭취 및 호흡에 의한 방사선 내부 피폭선량 평가코드 개발, KAERI/RR-998/90, 한국원자력연구소(1991).
 10. M. L. Jackson, *Soil Chemical Analysis*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.(1958).
 11. W. H. Hendershot, H. Lalande and M. Duguet, "Ion exchange and exchangeable cations," in : *Soil Sampling and Method of Analysis*, M. R. Carter, ed., pp. 167-176, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, U.S.A.(1993).
 12. P. R. Day, "Particle fractions and particle-size analysis," in : *Methods of Soil Analysis*, C. A. Black, ed., pp. 547-567, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A. (1965).
 13. 이은용 등, 수도작, 향문사, 서울(1996).
 14. 조성진 등, 토양학, 향문사, 서울(1997).
 15. Y. H. Choi, J. S. Jo, C. W. Lee, K. H. Chung and J. H. Lee, "Leaching of ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{85}Sr and ^{137}Cs deposited to paddy soil during the growing season of rice," *Korean J. Environ. Agric.* 15, 198-206(1996).
 16. S. Askbrant, J. Melin, J. Sandalls et al., "Mobility of radionuclides in undisturbed and cultivated soils in Ukraine, Belarus and Russia six years after the Chernobyl fallout," *J. Environ. Radioac.* 31, 287-312(1996).
 17. M. Bilo, W. Steffens, F. Fuehr and K. H. Pfeffer, "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. Radioac.* 19, 25-39(1993).
 18. M. Komamura and A. Tsumura, "The transfer factors of long-lived radionuclides from soil to polished rice measured by ICP-MS," *Radioisotopes* 43, 1-8(1994).
 19. K. G. Andersson and J. Roed, "The behaviour of Chernobyl ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{106}Ru in undisturbed soil: implications for external radiation," *J. Environ. Radioac.* 22, 183-196 (1994).