

Vertical distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr activities in the soils of Korea

Cha, H.J. · D. Park · H. Park · M.J. Kang · W. Lee · G.S. Choi ·
Y.H. Cho · K.H. Chung · H.P. Lee · H.S. Shin* and C. W. Lee

Korea Atomic Energy Research Institute
*Seoul National University of Technology

토양 중 ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 의 깊이별 분포특성

차현주 · 박두원 · 박효국 · 강문자 · 이완로 · 최근식 · 조영현 ·
정근호 · 이행필 · 신현상* · 이창우

한국원자력연구소

*서울산업대, 환경공학과

(2004년 3월 19일 접수, 2004년 9월 2일 채택)

Abstract - Vertical distributions of ^{137}Cs and ^{90}Sr activities are studied for the soils of six areas, Korea (Gori, Yeonggwang, Uljin, Weolseong, Goseong and Jeju). The soils from 6 areas are at geographically different locations with the different environmental conditions and parent rock. The activities of ^{137}Cs and ^{90}Sr vary N.D.(below detection limit) to 185 Bq/kg and 2.79 - 8.06 Bq/kg, respectively. Activities of ^{137}Cs and ^{90}Sr show the highest value at the surface soil and decrease with depth. ^{137}Cs activities at the top surface soils are positively correlated with annual precipitation and organic carbon content with little relationship with mean grain size and the clay content. The highest ^{137}Cs activities are found at the Jeju site, followed by the Goseong site of which soils have much different parent rock and textural properties. Though the activities of ^{137}Cs and ^{90}Sr on the basis of dry weight are higher in Jeju soils than in Goseong soils, their inventories are similar in both soils due to their textural differences.

Key words : ^{137}Cs , ^{90}Sr , radioactivity, soil, migration/retention, inventory

요약 - 고리, 영광, 울진, 월성, 고성 및 제주의 6개 지역 토양에 대해 ^{137}Cs 방사능 분석을 실시하였으며 그 중 고성 및 제주 지역 토양에 대해 ^{90}Sr 분석을 실시하였다. 각 지역은 지리적 위치, 환경조건 및 생성 모암이 각기 다른 특징을 갖고 있으며 ^{137}Cs 농도는 불검출 ~ 185 Bq/kg의 범위를 보였으며 ^{90}Sr 은 2.79 - 8.06 Bq/kg의 농도 범위를 보였다. ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 농도는 지역별로 다소의 차이는 있으나 표층에서 가장 높고 깊이가 증가함에 따라 감소하였다. 지역별 ^{137}Cs 농도분포는 강수량, 유기물함량 등의 요인과 양의 상관관계를 보였고 토양의 입도 및 점토함량과는 관련성을 보이지 않았다. 지역별로는 제주지역 토양의 ^{137}Cs 농도가 가장 높고 그 다음은 고성지역이었다. 제주지역의 ^{137}Cs 농도는 고성에 비해 2배 가량 높았으나, 토성의 차이로 인해 현존량은 두 지역이 비슷한 값을 보였다.

중심어 : ^{137}Cs , ^{90}Sr , 방사능, 토양, 이동/지연, 현존량

서 론

1950년대 이후 빈발하게 이루어진 핵실험 및

1986년의 체르노빌 원전사고로 인해 많은 양의 방사성 물질이 대기 중으로 방출되었다. 대기 중으로 방출된 방사성 물질은 낙진, 빗물 등과 함께

지표면으로 강하하여 토양에 침적됨으로써 토양의 방사능을 증가시켰다. 토양에 침적된 방사성 물질은 침적지의 온도, 강수량 등 환경조건과 토양의 조직, 식생 등 물리적, 화학적 조건에 따라 토양에의 축적량과 이동 등이 달라지며, ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 은 반감기가 긴 방사성 물질로서 식물체에의 흡수 등을 통해 육상생태계에 영향을 줄 수 있다. 따라서 토양에서의 이들 핵종의 농도분포 및 이동을 이해하는 것이 육상생태계 및 나아가 인간에게 끼칠 영향을 평가하는데 있어 매우 중요하다.

Cs 및 Sr 이온은 점토물질에 대한 화학적 친화도가 큰 물질로서 [1] 토양에서 Cs의 이동은 토양의 조직(texture), 광물조성, 유기물 함량 및 양이온 등의 영향을 크게 받는다. 따라서 토양의 식생 및 종류에 따라 토양내 ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 의 농도 분포 및 이동에도 큰 변화가 있을 것으로 예상된다. 외국의 경우 토양에서 ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 의 농도 분포 및 이동에 관한 많은 연구가 이루어졌으며 [1,2], 국내에서도 ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 의 토양 방사능에 관한 연구가 수행된 바 있다 [3, 4]. 그러나 국내 토양에서의 ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 에 관한 연구는 대부분 화강암 또는 현무암을 모암으로 하여 분화된 토양에 국한된 연구들로서 다양한 토양조건을 다루지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 토양조직, 기반암, 환경조건(강수량) 등 토양조건이 각각 다른 6개 지역에서 깊이에 따른 ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 의 방사능 농도 변화를 조사하여 각 지역별 토양의 깊이별 ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 의 분포 및 이동을 결정하는 요인을 이해하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구를 위한 토양시료는 영광, 월성, 고리, 울진의 4개 원전주변 지역과 제주, 고성 of 2개 일반지역에서 채취하였다(Fig. 1; Table 1). 채취장소는 최근 40여년 간 인위적 교란이나 침식을 받지 않은 지역을 선정하여 실시하였으며, 토양상층부의 나뭇잎, 검불 등을 걷어낸 후 표층에서부터 5cm 간격으로 토양시료를 채취하였다.

토양의 입도는 유기물을 제거한 후 먼저 $63\ \mu\text{m}$ 체를 이용하여 모래이상 크기의 입자와 실트 및 점토입자를 분리하였다. 이 중 $63\ \mu\text{m}$ 이상 크기의 입자는 건식체질법을 이용하여 크기별로 분리하였고 $63\ \mu\text{m}$ 이하 크기는 Stokes' 법칙에 따른 침전법(Micromeritics Sedigraph 5100)을 병행 실시하여 결정하였으며, 이 결과를 토대로 토양시료의

평균입도 및 자갈($>2\text{mm}$), 모래($63\ \mu\text{m} - 2\text{mm}$), 실트($2-63\ \mu\text{m}$) 및 점토($< 2\ \mu\text{m}$) 함량을 결정하였다. 유기탄소 함량은 시료를 고온에서 태우거나 1M 염산으로 분해함으로써 시료로부터 방출된 이산화탄소를 전기량적정법(coulometric titration, UIC C-analyzer)에 의해 분석하여 총 탄소량 및 무기탄소 함량을 구하고 그 차를 유기탄소로 하였다.

^{137}Cs 의 방사능 농도는 건조한 토양시료를 일정한 높이의 용기에 넣은 후 HPGe-detector가 장착된 감마분광분석시스템(EG&G, ORTEC 919 series)을 이용하여 약 80,000초간 측정하였다. 감마분광분석시스템을 이용한 검출한계는 ^{137}Cs 의 경우 0.2 Bq/kg이었다. ^{90}Sr 은 ^{137}Cs 을 분석한 시료 중 50g을 취하여 450°C 에서 태워 유기물을 제거한 후 발연질산법을 이용하여 그 농도를 측정하였다. 방사능 및 유기탄소 함량의 단위는 건조 토양을 기준으로 계산되었다.

결과 및 고찰

토양의 토성 및 물리화학적 특성

조사지역의 환경조건, 토성, 물리화학적 특성 및 모암 등 토양의 기본 성질을 Table 1에 제시하였다. 본 연구를 위해 토양시료를 채취한 지역의 기반암은 각각 산성화산암(acidic volcanics;

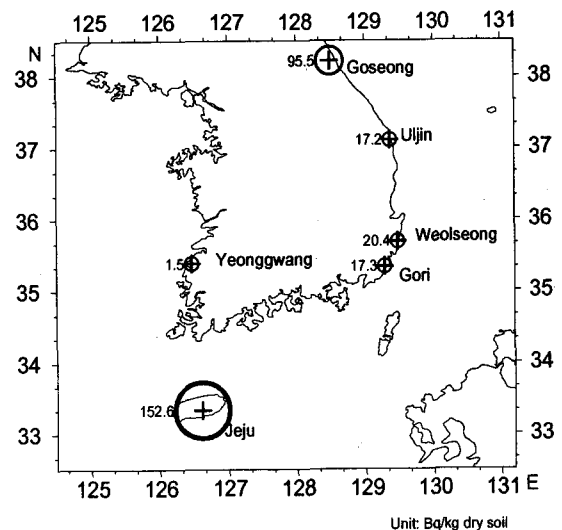


Fig. 1. Sampling sites and the spatial distribution of ^{137}Cs in the soils of Korea. The cross marks represent sampling sites. The size of open circles and the figures on their left describe the activities of ^{137}Cs in the top soil of each site.

Table 1. Basic properties of the surface soils, Korea.

Site	Longitude (°N)	Latitude (°E)	Altitude (m)	Basement geology	Precipitation* (mm)	Main texture	Soil color	<63um** (%)	Organic C (%)	CEC (meq/100g)
Goseong	128 29 45	38 12 58	134	Biotite granite	1342	sand	10 YR 4/2	18.2(5.7)	1.16	9.4
Jeju	126 37	33 20	500	Trachybasalt	1850	silt	10 YR 2/2	98.4(28.8)	17.9	51.7
Weolseong	129 28 26	35 41 18	60-65	Acidic volcanics	1120	gravel, clay	10 YR 3/2	55.5(34.5)	1.65	16
Uljin	129 22 01	37 06 23	80	Granite gneiss	1102	sand	7.5 YR 4/4	23.2(12)	1.42	4.6
Gori	129 17 02	35 20 16	70	Ryolite, rh. tuff	1491	clay	10 YR 5/1	69.2(40.4)	1.25	9.4
Yeonggwang	126 28	35 23	-	Granite gneiss	1368	clay	7.5 R 4/4	61.6(41.3)	0.68	6.83

* Korea Meteorologic Administration (2003) at website

** Values in the parentheses are the percentage of clay. These textural parameters are determined for A-horizon soil.

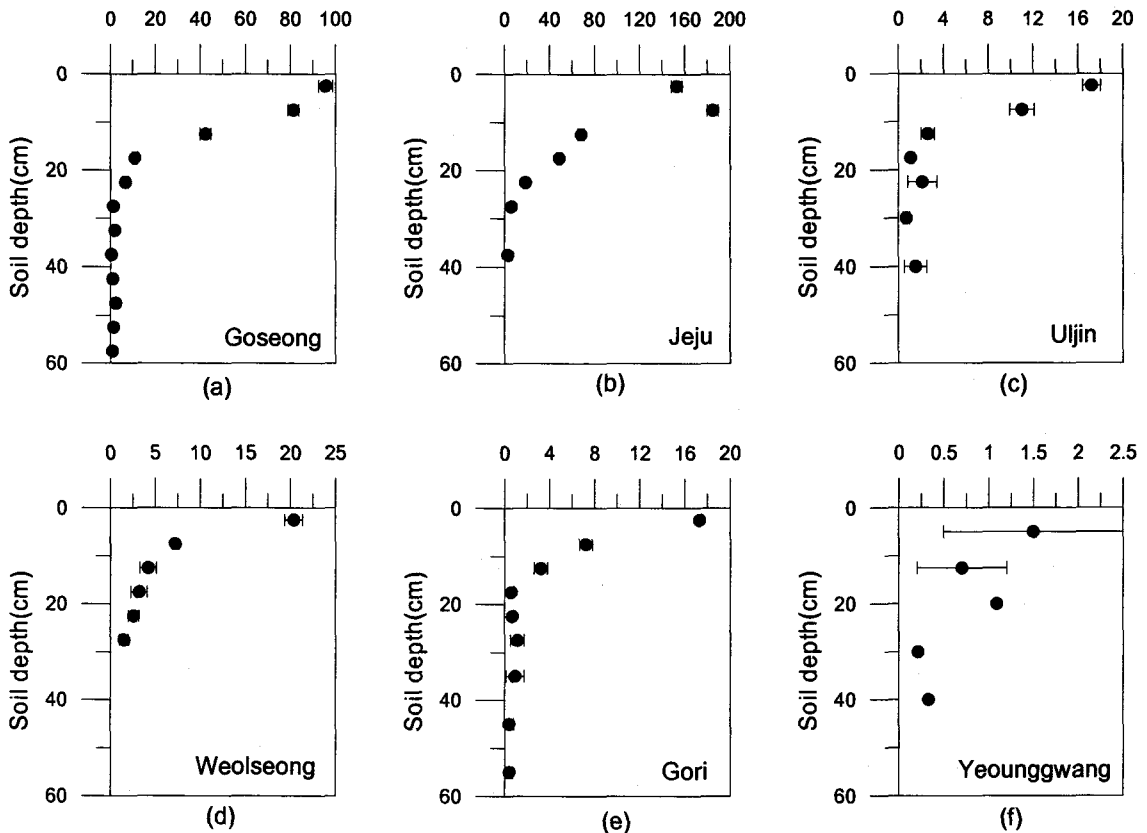


Fig. 2. Vertical distribution of ^{137}Cs activities in the soils of Korea: (a) Goseong, (b) Jeju, (c) Uljin, (d) Weolseong, (e) Gori, (f) Yeonggwang. Analytical errors are indicated by error bars.

월성), 조면현무암(trachybasalt; 제주), 흑운모화강암(biotite granite; 고성), 유문암(ryolite; 고리), 화강편마암(granitic gneiss; 영광, 울진)으로 구성되어 있다. 육안으로 관측된 각 토양의 특성을 보면 고성 토양은 암회갈색, 월성 토양은 암갈색, 고리는 회갈색 그리고 제주 토양은 흑갈색으로

나타나 한반도 지역의 일반적인 10YR 계열의 황갈색 토색을 띠고 있다. 한편 울진의 경우는 옅은 붉은색을 띠는 7.5YR 계열의 토색을 보이며 영광 토양은 짙은 붉은색인 7.5R 계열의 적색 황토로 구성되었다. 영광토양이 적색을 띠는 것은 토양 내에 철 성분이 많이 함유되어 있기 때문으로 보

이며 이는 이 지역이 지질학적으로 오래되어 장기간에 걸쳐 풍화를 많이 받아왔기 때문으로 생각된다.

한편 각 지역별 토성을 보면 고성과 울진 토양은 모래가 주종을 이루고 제주토양은 실트질, 월성, 고리 및 영광토양은 점토질이 우세하다. 월성과 영광지역은 점토질과 함께 자갈 또는 사질입자가 많이 함유된 바이모달 분포(bimodal distribution)를 보인다. 한편 자연계에서 미량 금속, 특히 핵종의 이동 및 지연에 영향을 주는 점토입자의 함량은 고리와 영광지역 토양에서 40% 이상으로 가장 높고 고성 및 울진토양은 10% 내외의 낮은 값을 보이며 제주지역 토양은 30% 정도의 점토함량을 보인다.

깊이에 따른 ^{137}Cs 농도 분포

Table 2에 조사지역 토양의 ^{137}Cs , ^{40}K 및 ^{90}Sr 의 방사능 농도 및 ^{137}Cs 과 ^{90}Sr 의 현존량을 제시하였다. 조사지역 토양의 ^{137}Cs 방사능은 $<0.2\sim 185\text{ Bq/kg}$ 의 범위를 보인다. Fig. 2는 각 지역 토양에서 ^{137}Cs 의 깊이별 변화를 나타낸 것인데 모든 지역에서 표층토의 방사능이 가장 높고 토양 깊이에 따라 급격하게 감소하는 것은 알 수 있다. 지역별로는 고리, 울진, 영광 및 월성 표층토의 ^{137}Cs 방사능은 $10\sim 20\text{ Bq/kg}$ 의 값을 보이며 제주와 고성토양에서는 각각 96 Bq/kg , 185 Bq/kg 로 고리, 울진, 영광 및 월성 토양에 비해 5-10배 높음(1999) [4]이 제주지역의 한라산 표층토에 대해 발표한 ^{137}Cs 농도는 285 Bq/kg 로 본 연구에서의 값에 비해 훨씬 높다. 이는 Lee et al.(1999) [4]이 토양시료를 채취한 곳이 본 조사지역에 비해 높은 고도에 위치하기 때문인 것으로 생각된다.

낙진기원의 ^{137}Cs 이 토양에 침적되어 축적되는 양은 지리적 입지, 강수량 등의 환경조건과 토양의 유기물 함량, 점토함량 등 토양조각인자, pH, CEC 등 물리화학적 요인, 광물조성 등 다양한 변수에 의해 결정된다 [2, 5]. 지리적 조건에 따라 낙진기원의 ^{137}Cs 이 토양에 침적되는 양은 달라질 수 있지만 연구지역과 같이 비슷한 위도에 있고 지리적으로 가까운 경우 지리적 입지에 따른 침적량의 차이는 그리 크지 않을 것이다. 따라서 조사지역 토양의 ^{137}Cs 방사능이 갖는 지역적 차이에 있어 지리적 위치가 끼치는 영향은 크지 않다고 할 수 있다. Fig. 3에 각 지역 표층토의 ^{137}Cs 농도와 그 지역의 연평균 강수량, 표층토의 유기탄소 함량, 점토 함량 및 양이온교환용량(CEC)의 관계를 도시하였다. Table 1을 보면 조사지역의 연평균강수량은 $1102\sim 1850\text{ mm}$ 의 변화범위를 가지며 제주지역이 가장 높은 강수량을 보인다. 표층토의 ^{137}Cs 방사능은 대체로 연평균강수량과 양의 상관관계를 보이며 이는 대기중에 머물던 방사능물질이 강수에 씻겨내려 토양에 침적하기 때문이다. 그러나 Fig. 3a의 연평균강수량과 ^{137}Cs 의 관계를 보면 강수량의 증가폭에 비해 ^{137}Cs 농도의 변화폭이 훨씬 크다. 이는 일단 토양에 침적된 ^{137}Cs 의 토양내에서의 거동이 지역에 따라 다르게 일어났음을 의미한다.

Fig. 3b에는 토양의 유기탄소 함량과 각 지역 표층토의 ^{137}Cs 농도와의 관계를 나타내었는데 고성지역을 제외하면 토양의 유기탄소 함량과 ^{137}Cs 의 농도가 매우 양호한 양의 상관관계를 보이고 있다. ^{137}Cs 방사능이 토양 유기탄소와 양의 상관관계를 보이는 것은 강우나 낙진형태로 지표에 떨어진 방사성 세슘이 식물체내로 유입된 후 낙엽화되거나, 식물 뿌리나 식물 뿌리에 공생하고

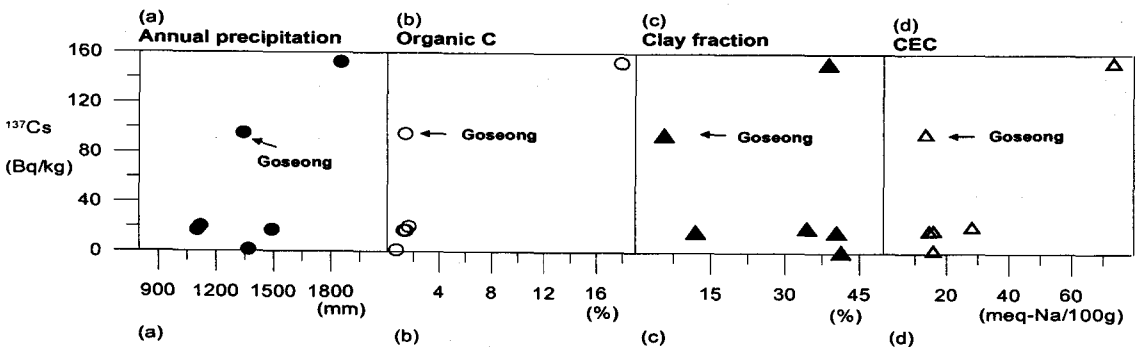


Fig. 3. Relationships between the ^{137}Cs activities and environmental, soil textural and physico-chemical properties; a) ^{137}Cs vs. annual precipitation; b) ^{137}Cs vs. organic carbon contents; c) ^{137}Cs vs. the percentage of clay fraction and; d) ^{137}Cs vs. CEC(cation exchange capacity).

있는 균류, 균근 등이 토양에 침적된 핵종과 결합하기 때문으로 설명되고 있다 [6, 7]. 한편 Fig. 3b에서 고성지역의 경우 유기탄소 함량과 ^{137}Cs 농도와의 선형관계로부터 상당히 벗어나 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 이 지역 표층토의 ^{137}Cs 농도가 높은 데 있어 유기물질의 영향이 그다지 크지는 않음을 의미한다고 할 수 있다.

토양에서 ^{137}Cs 은 유기물에도 잘 결합되지만 주로 점토입자 특히 일라이트 등의 점토광물에 강하게 결합되는 것으로 알려져 있다 [8, 9]. 이는 점토광물이 입자크기가 작아 표면적이 넓고, 광물 표면에 화학적 친화력이 큰 결합부분(defect site)이 있어 핵종을 포함한 금속원소에 대한 수착능이 매우 강하기 때문이다. 점토광물은 석영, 장석, 운모 등 주요 광물이 풍화를 받아 생성되는 이차 광물로서 대부분 점토질 토양에 존재한다. 따라서 다른 조건이 동일할 경우 점토함량이 클수록 토양의 ^{137}Cs 의 방사능 농도는 높은 값을 갖게 된다 [10]. He and Walling(1996) [11]의 입자크기별 ^{137}Cs 흡착실험에서는 세립질 입자가 많은 토양일수록 표면적의 증가에 의해 ^{137}Cs 이 많이 흡착되었다. 그러나 Fig. 3c를 보면 조사지역 토양의 ^{137}Cs 방사능은 점토함량과의 상관성이 잘 보이지 않고 점토함량이 매우 낮은 고성지역에서 표층토의 ^{137}Cs 농도가 상당히 높은 값을 보인다. Fig. 3d에 도시한 양이온교환용량(CEC)과 ^{137}Cs 농도

와의 관계에서도 CEC와 양의 상관관계를 가진 다른 지역 토양과 달리 고성 토양은 선형관계로부터 벗어난 모습을 보여준다. 이러한 사실은 ^{137}Cs 이 토양에 축적되는데 있어 강수량, 유기물, 토양의 입도 등의 요인 외에 연구지역 토양의 ^{137}Cs 농도에 영향을 주는 다른 요인이 있음을 시사한다.

연구지역 토양에 대한 최근의 광물조성 연구결과를 보면 ^{137}Cs 의 농도가 큰 제주 및 고성지역 토양시료에는 녹니석(chlorite), 질석(vermiculite), 일라이트(illite) 등의 2:1 광물이 많이 존재하는 것으로 나타났다(in preparation). 이 광물들은 층과 층 사이에 공간이 있고 음전하를 띠고 있어 이 광물들이 토양에 많이 존재할 경우 토양중의 ^{137}Cs 이 이들 광물과 강한 결합을 이루어 이동이 지연되고, 따라서 토양내 ^{137}Cs 의 방사능 농도가 커질 수 있다. 토양의 점토광물 조성과 방사성 핵종의 분포의 관계에 대해서는 추후 좀 더 체계적인 연구를 통해 그 상관관계를 도출해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

고성 및 제주토양에서 깊이에 따른 ^{90}Sr 농도 분포

^{137}Cs 의 방사능이 높은 고성 및 제주지역 토양에 대해 ^{90}Sr 방사능을 분석하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. ^{90}Sr 농도는 고성지역의 경우

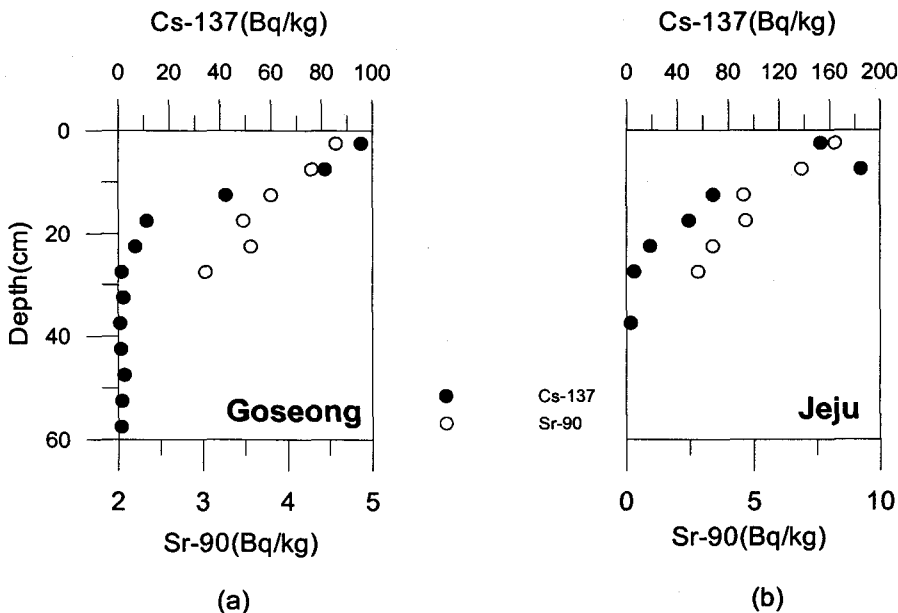


Fig. 4. Vertical distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr activities in the soils from Goseong and Jeju. The closed circle represents ^{137}Cs and the open circle, ^{90}Sr : (a) Goseong, (b) Jeju.

Table 2. Activity concentrations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{90}Sr in Korean soils with depth.

Location	Depth (cm)	Activity, Bq/kg-dry		
		^{137}Cs	^{40}K	^{90}Sr
Goseong	0-5	95.5 ± 3.1	901 ± 36	4.57
	5-10	81.3 ± 2.4	914 ± 30	4.28
	10-15	42.3 ± 2.4	957 ± 40	3.82
	15-20	11 ± 1.1	915 ± 33	3.48
	20-25	6.6 ± 1.1	918 ± 37	3.58
	25-30	1.3 ± 0.5	879 ± 28	3.05
	inventory	14800 Bq/m ²	-	1230 Bq/m ²
Jeju	0-5	153 ± 4.7	232 ± 12	8.06
	5-10	185 ± 5.0	264 ± 10	6.85
	10-15	68 ± 3.0	301 ± 24	4.57
	15-20	48.7 ± 2.3	301 ± 17	4.65
	20-25	18.3 ± 1.4	317 ± 20	3.4
	25-30	5.9 ± 1.2	342 ± 22	2.79
	inventory	14400 Bq/m ²	-	890 Bq/m ²
Weolseong	0-5	20.4 ± 1.0	367 ± 15	
	5-10	7.2 ± 0.4	383 ± 13	
	10-15	4.2 ± 0.9	394 ± 22	
	15-20	3.2 ± 0.9	382 ± 24	
	20-25	2.6 ± 0.6	373 ± 18	
	25-30	1.5 ± 0.5	388 ± 18	
	inventory	2070 Bq/m ²	-	
Uljin	0-5	17.2 ± 0.8	556 ± 21	
	5-10	11.0 ± 1.1	947 ± 32	
	10-15	2.6 ± 0.6	963 ± 33	
	15-20	1.1 ± 0.2	949 ± 27	
	20-25	2.1 ± 1.3	1033 ± 35	
	25-35	0.7 ± 0.3	1007 ± 30	
	inventory	2860 Bq/m ²	-	
Gori	0-5	17.3 ± 0.1	395 ± 18	
	5-10	7.2 ± 0.6	380 ± 15	
	10-15	3.2 ± 0.6	369 ± 17	
	15-20	0.6 ± 0.2	384 ± 14	
	20-25	< 0.7	378 ± 22	
	25-30	1.1	398 ± 19	
	inventory	1450 Bq/m ²	-	
Yeonggwang	0-10	1.5	492 ± 28	
	10-15	0.7	492 ± 19	
	15-25	< 1.09	355 ± 25	
	25-35	< 0.21	384 ± 20	
	35-45	< 0.33	616 ± 27	
	inventory	210 Bq/m ²	-	

3.05 - 4.57 Bq/kg의 범위를 갖고, 제주지역에서는 2.79 - 8.06 Bq/kg의 값을 보인다. Fig. 4에서 보듯이 두 지역 모두 표층토에서 ^{90}Sr 농도가 가장 높고 깊이에 따라 감소하고 있다. 그러나 토양 깊이에 따라 급격히 감소하는 ^{137}Cs 과 달리 ^{90}Sr

농도는 서서히 감소하는 경향을 보인다. 이는 토양에는 안정 Sr이 많이 존재하기 때문에 강우 등을 통해 토양에 침적된 방사성 Sr이 토양 무기물이나 유기물에 결합되지 않고 토양 심부로 이동하기 쉽기 때문이다.

토양중 ¹³⁷Cs 및 ⁹⁰Sr의 현존량(inventory)

측정된 ¹³⁷Cs 과 ⁹⁰Sr의 농도를 이용하여 각 지역 토양에 축적된 ¹³⁷Cs 및 ⁹⁰Sr의 현존량을 계산하여 Table 2에 제시하였다. 현존량은 Cochran et al. (1998) [12]의 방법을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$I = \sum_i \rho_i \cdot h_i \cdot A_i$$

I : Inventory of radionuclides (1x 10³ Bq/m²)

ρ_i : Dry bulk density of the soil in ith depth (Mg/m³)

h_i : thickness of the soil in ith depth (m)

A_i : Activity of radionuclides (Bq/kg)

조사지역의 ¹³⁷Cs 현존량은 210 - 14,800 Bq/m²으로 지역적 편차가 매우 크며 고성과 제주 지역에서 현존량이 가장 크고 영광이 가장 작다. 제주 지역의 경우 고성과 함께 ¹³⁷Cs의 현존량이 가장 큰 지역으로 Lee et al.(1999) [4]이 조사지역과 가까운 한라산 토양에서 보고한 것(6300 - 17400 Bq/m²)과 유사한 값을 보인다. ¹³⁷Cs의 현존량 분포에서 특이한 것은 제주지역 토양의 ¹³⁷Cs 농도가 고성지역 토양 보다 2배 이상 높은데도 불구하고 현존량은 두 지역이 비슷하게 나온다는 사실이다. 현존량은 위의 수식에서 보듯이 토양의 방사능 농도와 총밀도에 비례한다. 따라서 토양의 방사능 농도가 크거나 총밀도가 클 경우 그에 비례하여 커지게 된다. 고성지역 토양의 경우 화강암을 모암으로 하고, 자갈이 많이 섞인 모래질 토성을 갖고 있고 유기물 함량이 높지 않아 점토입자와 유기물이 많은 부엽토로 구성된 제주지역 토양에 비해 총밀도가 훨씬 높다. 이러한 토양의 특성 때문에 방사능 농도는 제주지역 토양에서 두배 이상 높은데도 불구하고 현존량은 두 지역이 비슷한 값을 보이는 것이다.

⁹⁰Sr의 경우 고성과 제주지역 토양에 대해서만 분석을 실시하였는데 그 현존량은 고성의 경우 1230 Bq/m²이며 제주지역은 890 Bq/m²으로 측정되었다. 역시 한라산 토양에서 Lee et al.(1999) [4]이 보고한 자료를 보면 ⁹⁰Sr의 현존량이 2700-7400 Bq/m²로 본 연구에서 조사된 값과는 상당한 차이를 보인다. 이러한 차이는 Lee et al.(1999) [4]의 자료와 본 연구에서의 ⁹⁰Sr의 농도 차이에 기인한 것이며, 유사한 지역에서의 ⁹⁰Sr 농도가 상당히 다른 것에 대해서는 좀 더 연구해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하는 원자력 중장기 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. C. Elejalde, M. Herranz, F. Legarda and F. Romero, "Determination and analysis of distribution coefficients of ¹³⁷Cs in soils from Biscay (Spain)," Environmental Pollution 110: 157-164(2000)
2. A. Baeza, M. del Rio, A. Jimenez, C. Miro, an J. Paniagua, "Relative sorption of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in soil: Influence of particle size, organic matter content and pH." Radiochimica Acta, 68: 138-140(1995)
3. M.H. Lee, Y.H. Choi, H.S. Shin, S.B. Kim and C.W. Lee, "Cumulative deposition of ¹³⁷Cs in the soil of Korea." J. Korean Asso. Radiat. Prot. 23(2): 97-102(1998)
4. M.H. Lee, and C.W. Lee, "Determination of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and fallout Pu in the volcanic soil of Korea. J. Radioanal. Nucl. Chem. 239(3): 471-476(1999)
5. M.H. Lee, C.W. Lee and B.H. Boo, "Distribution and characteristics of ^{239,240}Pu and ¹³⁷Cs in the soil of Korea. J. Environ. Radioactivity 37(1): 1-16(1997)
6. I. Nikolova, K.J. Johanson and S. Clegg, "The accumulation of ¹³⁷Cs in the biological compartment of forest soils." J. Environ. Radioactivity 47: 319-326(2000)
7. G. Barci-Funel, J. Dalmaso, V.L. Barci and G. Ardisson, "Study of the transfer of radionuclides in trees at a forest site." Sci. Total Env. 173/174: 369-373(1995)
8. K. Bunzl, W. Kracke, W. Schimmack and L. Zelles "Forms of fallout ¹³⁷Cs and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu in successive horizons of a forest soil." J. Env. Radioactivity 39(1), 55-68(1998)
9. D.W. Oscarson, R.L. Watson and H.G. Miller, "The interaction of trace levels of cesium with montmorillonitic and illitic clays." Applied Clay Science 2, 29-39(1987)
10. C.S. Kim, M.H. Lee, C.K. Kim and K.H. Kim, "⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²³⁸Pu

- concentrations in surface soils of Korea." *J. Environ. Radioactivity* 40(1), 75-88(1998)
11. Q., He and D.E. Walling, "Interpreting particle size effects in the adsorption of ^{137}Cs and unsupported ^{210}Pb by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radioactivity* 30(2): 117-137(1996)
12. J.K. Cochran, M. Frignanim M. Salamanca, L.G. Bellucci and S. Guerzoni, " ^{210}Pb as a tracer of atmospheric input of heavy metals in the northern Venice Lagoon. *Mar. Chem.* 62: 15-29 (1998)