

Distribution and Behavior of ^{137}Cs According to topography and nature of the soil around Yeong-Gwang NPPs,

영광 원자력발전소 주변의 지형 및 지질에 따른 ^{137}Cs 분포 및 거동에 관한 연구

Sang-Jun Han*, Goung-Jin Lee** and Hee-Geun Kim***

*Yeong Gwang N.P.P Supervisory Center for Environment Radiation & Safety,
83-44 Muryung-ri, Yeong Gwang-eup, Yeong Gwang -Kun

**Cho-Sun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju

***Korea Electric Power Research Institute, 103-16 Moonji-dong, Yusing-Gu, Daejeon

jhsj2000@hanmail.net

한상준*, 이경진**, 김희근***

*영광원전 환경·안전 감시센터, 전남 영광군 영광읍 무령리 83-44

**조선대학교, 광주시 동구 서석동 375

***한전전력연구원, 대전시 유성구 문지동 103-16

(Received July 28, 2004 / Approved October 29, 2004)

Abstract

This paper shows our experiment is performed to understand the exposure tendency of ^{137}Cs according to the height of area and also, to supplement it by considering chemical characters of ^{137}Cs exposed to the soil. The samples we use for this experiment are from the general flat area of Yeonggwang county where it has NPPs, the high places of Keumjung & Bulgap mountains, and Naejan mountain where it is quite far from the NPPs.

The data from this experiment show that the exposure of ^{137}Cs is not harmful since its range is around 252 Bq/kg-dry in most of sampled soils such as from the general flat area, the high place of Keumjung mountain where is 2 km away from the NPPs, the other high place of Bulgap mountain where is about 20 km away from the NPPs, and Naejan mountain where it is far from the NPPs. Not like the general flat area, however, the data show that the higher the area is the more ^{137}Cs is exposed. That is, at the top of mountains, the more ^{137}Cs is exposed compared to at the bottom area. It is almost 2~6 times more than the general flat area of Yeonggwang county where it has NPPs.

The data also show that the spread of ^{137}Cs is deeply related to the geographical(the height of area, rainfall, etc..) factors and chemical factors of soils.

As the geographical factors, there are far more chances to be exposed of ^{137}Cs at the high area of mountains through the air compared to at lower area and therefore, we can get more high-level readings of ^{137}Cs at the high area while it is low-level ones at the general flat area even if both of them have the same soil conditions.

Regarding the chemical factors of soil, it is clarified that the CEC is the key factor. The CEC means the capability of sticking ^{137}Cs accumulated into the soil. Hence, the more CEC it has the more high-level readings of ^{137}Cs we get under the same geographical condition.

Key Words : ^{137}Cs , soil, CEC, Activity, geographical factors

요약

본 연구에서는 국내 원전이 위치한 지역의 토양에서 ^{137}Cs 의 축적 경향을 파악하기 위하여 원전이 위치한 영광군 관내의 평지와 고산지대인 금정산, 불갑산 및 영광원전으로부터 원거리에 위치한 내장산 등을 대상으로 토양중 ^{137}Cs 의 화학적인 특성과 고도에 따른 ^{137}Cs 의 축적 경향을 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

일반적으로 국내 토양 중 ^{137}Cs 의 농도는 불검출 ~252 Bq/kg-dry의 범위 내에 있으며 본 연구에서 측정된 평지부분과 고산지대인 원전으로부터 2 km 떨어진 금정산, 약 20 km 떨어진 불갑산 및 원거리에 위치한 내장산에서도 지금까지의 ^{137}Cs 농도 범위에 들었다. 그러나 고산지대는 평지에서와는 다르게 고도가 증가함에 따라 ^{137}Cs 농도도 증가하는 경향을 보이고 있고, 정상 부분이 하부 부분보다 더 높게 나타났고 영광원전 인근 일반평지부분보다는 ^{137}Cs 의 농도는 2~6배 정도 높은 경향을 나타내었다.

연구결과 ^{137}Cs 의 분포는 지형적 요인(고도) 및 토양의 화학적 요인(양이온치환용량)과 상관성이 큰 것으로 나타났다. 지형적 요인으로는 주로 고도를 들 수 있는데 높은 고도의 산의 경우 대기중 ^{137}Cs 이 토양에 침투되는 기회가 커짐으로 동일한 토질 조건의 평지 토양에 비해 높은 ^{137}Cs 준위를 나타내었다. 토양의 화학적 요인으로는 양이온치환용량이 주요 인자임이 규명되었다. 양이온치환용량은 침적된 ^{137}Cs 을 토양에 고정시키는 능력을 나타내며 같은 지형조건에서 높은 양이온치환용량을 가진 시료가 낮은 양이온치환용량을 가진 토양에 비해 ^{137}Cs 농도는 높은 값을 보였다.

중심단어 : 양이온치환용량, 방사능 농도, ^{137}Cs , 지형적요인

I. 서론

천연방사성핵종은 인간의 의지와는 상관없이 자연적으로 생성되는 것으로서 환경측면에서 중요하게 고려되지 않는 반면, 대기 중 핵폭발실험, 원자력발전소 및 기타 방사성물질 사용기관으로부터 방출되는 인공방사성핵종의 경우 환경 문제에 대한 인식이 점차 높아짐에 따라 배출이 엄격히 제한되어 있기 때문에 이에 대한 감시 및 분석의 정확성이 요구되고

있다.

원자력발전소에 대한 환경 감시측면에서 보면 원자력발전소 주변지역에서의 방사성핵종은 주로 천연 방사성핵종과 핵폭발 실험에 의해 대기권에서 침적된 방사성핵종 및 발전소에서 배출된 핵종 등으로 구성되어 있다.

핵폭발이나 원자력발전소에서 생성되는 인공방사성핵종들은 ^3H , ^{14}C 등 몇 가지 핵종을 제외한 나머지는 대부분 핵분열생성물들이고, 그 중 ^{137}Cs 은 환경에

서 손쉽게 발견되는 핵종으로서 과거 선진국의 핵실험이나 구소련의 체르노빌 원전 사고에 의해 방출된 이후에 현재까지도 환경에 영향을 주고 있는 핵종으로서 특히 토양에 집중적으로 분포되고 있다.

현재 국내에서 토양방사능을 분석하는 기관인 한국원자력안전기술원에서는 포괄적인 분석 결과(국내 토양 ¹³⁷Cs 방사능 농도범위 : 불검출 ~ 약 252 Bq/kg-dry)만을 제시하였고, 주요 현안이 되고 있는 토양의 성질 및 고도에 따른 영향을 고려하지 않았다 [6, 7]. 지난 1994년 한국원자력안전기술원에서는 원전이 위치한 지역을 제외한 지역에 대해서 토양의 방사능 농도와 물리·화학적인 인자들을 고려하여 연구를 수행하였다[3]. 그 결과 화학적인 인자인 유기물과 양이온치환용량 사이에 상관성이 있다는 결론을 도출하였지만 원전이 위치한 지역에 대한 연구가 아니었으며, 현재까지도 원전 인근에 대한 분석결과는 방사능 농도 분석값만을 제시하였기 때문에 인근 주변지역 주민들에게는 뚜렷한 신뢰감을 심어주지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 영광원전 인근지역과 고산지대를 대상으로 한 실험을 통해 토양에서 ¹³⁷Cs의 화학적인 거동 특성 및 고도에 따른 방사능 농도를 비교적 정확하게 분석함으로써 원전 주변의 지역 주민들에게 분석 근거 및 결과를 제시하고, 분석에 따른 신뢰성을 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

원전이 위치한 지역에 대해서 특히 영광 원자력발전소 주변을 대상으로 토양중 환경방사능 분석에 대해서 영광원전 인근지역과 인근에 위치한 고산지대인 불갑산, 금정산과 영광원자력발전소로부터 원거리에 위치한 내장산의 신선봉과 서래봉을 대상으로 토양중 ¹³⁷Cs의 농도 및 ¹³⁷Cs의 농도와 화학적인 인자중 가장 관계가 깊은 유기물과 양이온치환용량과의 관계를 알아보았다. 분석방법중 시료채취는 한 지점당 3개씩의 시료를 채취하여 혼합하여 사용하였으며, 현재 방사능 분석에 가장 보편화되어 있는 감마핵종분석기를 이용하여 분석하였고 토양의 화학분석은 전문기관인 농업기반공사 농어촌연구원에 의뢰하였다.

화학분석 방법 중 유기물은 황산 산성하에서 중크롬산칼륨으로 산화시키고 제일철염으로 적정하였으며, 양이온치환용량은 1N 암모늄아세테이트(pH 7.0)용액을 통과시켜 치환성 암모늄이온으로 포화시킨 후 알콜로 세척하여 캔달 정량법으로 치환된 암모늄으로 정량하여 양이온치환용량을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

영광원자력발전소가 위치한 인근 평지와 고산지대인 불갑산과 금정산에 대해서 알아보았다. 표 1에서

표 1. 영광원전 인근 거리별 및 고도에 따른 ¹³⁷Cs 농도

구 분	지 점 명	¹³⁷ Cs (Bq/kg-dry)
평지부분 (원전으로부터 반경 10 km 이내)	발전소 전시관	6.05 ± 0.16
	신광 초교	4.68 ± 0.13
	법성인의산	5.47 ± 0.14
	영산 성지	11.47 ± 0.29
	영광 서초교	4.49 ± 0.12
평지부분 (원전으로부터 반경 10~20 km 이내)	신왕 초교	1.18 ± 0.05
	사창 초교	5.37 ± 0.14
	대산 초교	4.38 ± 0.12
	군남 초교	2.24 ± 0.07
	백수 중학교	1.65 ± 0.06
금정산 (원전으로부터 2 km 거리)	정상	24.44 ± 0.59
	중턱	22.72 ± 0.54
	입구	22.16 ± 0.53
불갑산 (원전으로부터 20 km 거리)	정상	75.19 ± 1.77
	중턱	33.45 ± 0.80
	입구	13.18 ± 0.33

보여지듯이 영광원전이 위치한 평지부분에 대해서는 원전으로부터 거리에 상관없이 지금까지 분석전문기관에서 분석한 ¹³⁷Cs의 농도와 차이가 없음을 알 수 있었다. 그리고 인근 고산지대인 영광원전으로부터 2 km 떨어진 금정산과 약 20 km 떨어진 불갑산에 대한 방사능 농도 분석 결과 또한 지금까지의 토양중 ¹³⁷Cs의 농도범위인 불검출 ~ 252 Bq/kg-dry의 범위에는 들었지만 고산지대의 특성인 고도가 증가함에

따라 ¹³⁷Cs의 농도도 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 표 2 및 표 3에서 보여지듯이 ¹³⁷Cs의 농도에 따라 화학인자인 수소이온농도, 유기물, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성양이온과의 관계를 알아보았는데 화학인자 중 유기물과 양이온치환용량이 ¹³⁷Cs과 상관성이 나타나는 것을 알 수가 있는데 그림 1은 고도별 ¹³⁷Cs의 경향을 나타낸 것이고, 그림 2와 그림 3은 화학인자와의 관계를 도시한 것이다.

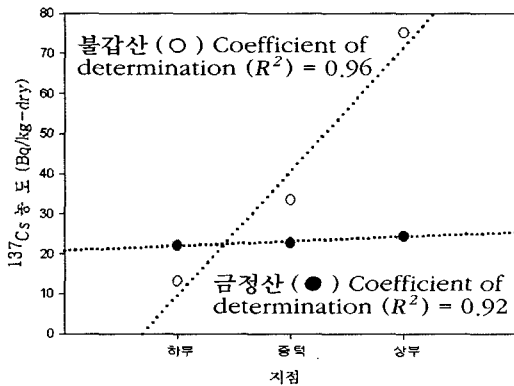


그림 1. 불갑산 및 금정산에서의 고도별 ¹³⁷Cs 농도

그리고 표 4와 같이 내장산 토양에 대해서는 신선봉은 해발 763m인 정상부근에서 ¹³⁷Cs의 농도는 90.48 Bq/kg-dry로 나타났고 정상보다 아래쪽에 위치한 해발 653m 부근에서는 103.10 Bq/kg-dry로 정상보다 약간 높게 나타난 반면, 신선봉에서 고도가 가장 낮은 해발 200m인 내장사 방향과 해발 356m인 백양사 방향에서는 각각 36.43 Bq/kg-dry, 15.91 Bq/kg-dry로 정상보다 적게 나타남을 알 수 있었다. 표 5의 해발 622m인 서래봉은 정상에서 가장 높은 값인 58.94 Bq/kg-dry로 나타났고, 서래봉에서 고도가 가장 낮은 해발 252m인 임시매표소 방향과 해발

표 2. 영광원전 인근지역 토양 중 화학분석 결과

지 점	¹³⁷ Cs (Bq/kg-dry)	pH	유기물 (%)	유효인산 (P, ppm)	양이온 치환용량 (cmol/kg)	치환성 양이온		
						K	Ca	Mg
발전소전시관	6.05±0.16	4.4	3.54	7.97	14.95	0.30	2.05	0.91
영산성지	11.47±0.29	4.9	8.13	77.20	22.05	1.11	10.32	1.64
백수 초교	6.31±0.16	7.2	2.17	67.27	6.50	0.22	11.39	0.35
불교대학교	9.18±0.23	5.3	5.35	6.57	12.50	0.37	5.03	1.00
인의산	5.47±0.14	5.0	3.61	1.99	17.65	0.54	3.98	0.73
새생명마을	5.64±0.15	7.2	0.84	15.84	5.85	0.28	5.29	0.56
사창 초교	5.37±0.14	4.6	2.14	150.43	12.20	0.46	4.74	0.94

표 3. 영광원전 인근 고산지대 토양 중 화학분석 결과

지 점	¹³⁷ Cs (Bq/kg-dry)	pH	유기물 (%)	유효인산 (P, ppm)	양이온 치환용량 (cmol/kg)	치환성 양이온			
						K	Ca	Mg	
금정산	정상	24.44±0.59	6.4	14.37	94.74	30.55	0.45	20.71	3.38
	중턱	22.72±0.54	4.6	8.47	31.00	24.75	0.48	7.95	2.47
	하부	22.16±0.54	5.1	8.47	15.15	22.50	0.33	9.07	2.52
불갑산	정상	75.19±1.77	4.6	22.28	210.56	39.05	1.00	9.86	1.84
	중턱	33.45±0.80	4.4	11.03	37.18	16.15	0.41	2.11	0.86
	하부	13.18±0.33	3.9	4.28	141.65	14.00	0.46	3.17	0.66

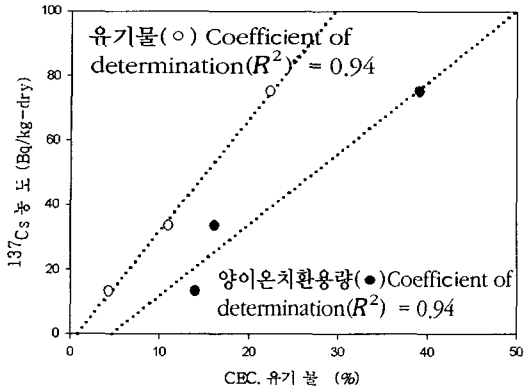


그림 2. 불갑산에서의 ¹³⁷Cs 농도와 유기물, CEC와의 관계

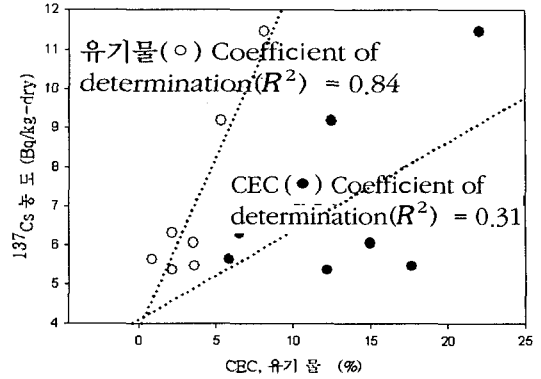


그림 3. 일반평지에서의 ¹³⁷Cs 농도와 유기물, CEC와의 관계

표 4. 내장산 신선봉의 ¹³⁷Cs 농도와 화학분석결과

지 점	고도 (m)	¹³⁷ Cs (Bq/kg-dry)	pH	유기물 (%)	유효인산 (P, ppm)	양이온 치환용량 (cmol/kg)	치환성 양이온		
							K	Ca	Mg
내장사방향	200	36.43 ± 0.99	4.81	8.07	17.0	11.1	0.32	2.6	1.2
	321	45.15 ± 1.23	5.70	13.82	18.0	27.6	0.54	20.2	2.3
	411	24.11 ± 0.68	5.42	8.42	8.0	12.8	0.64	4.6	1.4
	509	34.33 ± 0.95	5.19	9.23	19.0	12.2	0.54	4.3	1.2
	620	85.58 ± 2.28	4.79	20.15	13.0	19.7	0.43	6.4	1.2
정상	763	90.48 ± 2.43	4.72	19.49	13.0	15.0	0.43	2.0	0.5
백양사방향	653	103.10 ± 2.76	4.80	13.92	31.0	16.0	0.21	1.9	0.5
	583	59.86 ± 1.62	4.64	18.12	11.0	15.0	0.38	2.5	0.7
	502	69.53 ± 1.86	5.19	11.98	9.0	13.5	0.32	2.6	0.7
	433	55.34 ± 1.50	5.15	10.72	8.0	14.0	0.43	4.1	1.4
	356	15.91 ± 4.55	4.54	10.01	13.0	10.5	0.32	1.4	0.7

표 5. 내장산 서래봉의 ¹³⁷Cs 농도와 화학분석결과

지 점	고도 (m)	¹³⁷ Cs (Bq/kg-dry)	pH	유기물 (%)	유효인산 (P, ppm)	양이온 치환용량 (cmol/kg)	치환성 양이온		
							K	Ca	Mg
임시대표소 방향	252	18.79 ± 0.53	5.24	18.05	39.0	12.2	0.54	4.8	1.4
	356	40.60 ± 1.25	4.78	12.00	16.0	15.3	0.59	4.3	1.2
	420	31.83 ± 0.87	5.21	7.20	23.0	13.5	0.64	4.2	1.0
	518	39.60 ± 1.08	5.10	17.92	15.0	15.0	0.32	2.2	0.8
정상	622	58.94 ± 1.59	4.91	18.39	14.0	23.6	0.80	8.8	1.9
내장사 방향	500	48.21 ± 1.31	5.54	21.27	15.0	17.6	0.54	4.4	1.0
	421	30.67 ± 0.85	5.35	15.45	13.0	15.5	1.02	6.5	1.4
	318	36.88 ± 1.01	4.41	9.62	23.0	20.2	0.54	2.9	1.0
	200	20.54 ± 0.58	4.63	21.62	9.0	11.8	0.38	1.9	0.7

200m인 내장사 방향에서는 각각 18.79 Bq/kg-dry, 20.54 Bq/kg-dry의 농도 값을 나타내었다. 또한 그림 4에 도시한 것과 같이 신선봉과 마찬가지로 서래봉 또한 정상보다 고도가 낮을수록 ¹³⁷Cs이 적게 검출되었으며 신선봉과 서래봉에 대한 고도별 상관계수는 각각 0.62, 0.76로 나타났다. 그리고 표4의 신선봉 토양에 대한 화학분석결과는 수소이온농도는 4.54~5.70, 유기물함량은 8.07~20.15(%), 유효인산은 8.0~31.0(ppm), 양이온치환용량은 10.5~27.6(cmol/kg)로 분포되었고, 치환성양이온 중 칼륨은 0.21~0.64(ppm), 칼슘은 1.4~20.2(ppm), 마그네슘은 0.7~2.3(ppm)의 분포를 보였다.

그리고 표 5의 서래봉의 화학분석 결과 중 수소이온농도는 4.41~5.54, 유기물함량은 7.20~21.62(%), 유효인산은 9.0~39.0(ppm), 양이온치환용량은 11.8~23.6(cmol/kg)로 각각 분포되어 있음을 알 수 있고, 치환성양이온 중 칼륨은 0.32~1.02(ppm), 칼슘

은 1.9~8.8(ppm), 마그네슘은 0.7~1.9(ppm)의 범위로 분포하고 있음을 확인 할 수 있다. 신선봉과 서래봉 두 지점에 대해 치환성양이온을 제외한 각 화학인자별 분석 값을 비교 분석한 결과 적게는 2.8%에서 크게는 20% 정도의 차이를 보였다. 신선봉에서 ¹³⁷Cs의 화학인자별 상관성을 도출한 결과는 수소이온농도, 유효인산 및 치환성양이온과 방사능과 0.07, 0.13, 0.20의 상관관계를 가지고 있으며, 유기물과 양이온치환용량은 내장사 방향과 백양사 방향에 대해서 각각 분석한 결과는 유기물은 0.93, 0.30을 나타냈고 양이온치환용량은 0.03, 0.82의 상관성을 나타냈다. 서래봉에서는 유효인산, 치환성양이온이 0.16, 0.05의 상관관계를 가지고 있으며 양이온치환용량은 임시대표소 방향과 내장사 방향이 각각 0.87, 0.80을 나타내었다. 이러한 토양중 ¹³⁷Cs 방사능과 화학인자와의 관계를 그림 5, 그림 6 및 그림 7에 나타내었다.

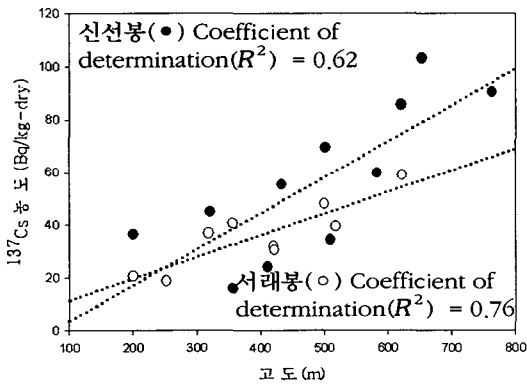


그림 4. 신선봉 및 서래봉에서 고도별 ¹³⁷Cs 농도

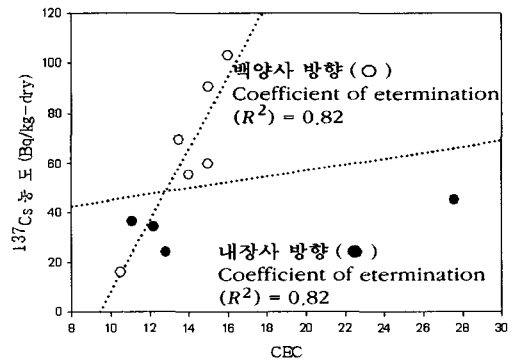


그림 6. 신선봉에서의 ¹³⁷Cs 농도와 CEC와의 관계

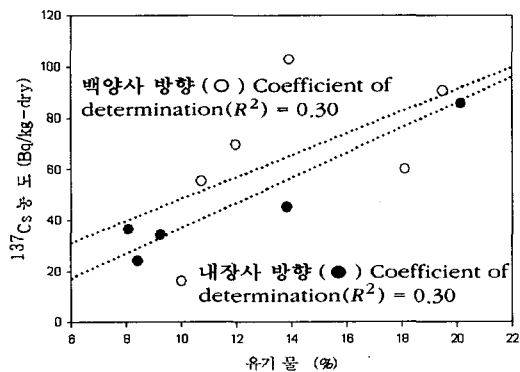


그림 5. 신선봉에서 ¹³⁷Cs 농도와 유기물과의 관계

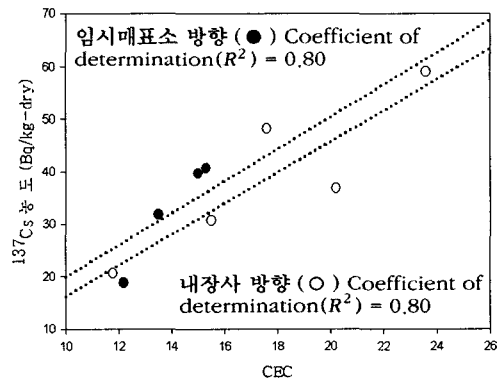


그림 7. 서래봉에서 ¹³⁷Cs 농도와 CEC와의 관계

VI. 결론

지금까지의 연구에서 ¹³⁷Cs의 분석결과에 의하면 영광 원전 주변지역의 농도는 시료채취 지역에 상관 없이 일정한 분포를 보였으며, 이는 1992~2002년 한국원자력안전기술원에서 분석한 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고 ¹³⁷Cs의 분포는 지형적 요인(고도)과 토양의 화학적 요인(양이온치환용량, 유기물 함량)과 상관성이 큰 것으로 나타났다. 지형적 요인으로는 주로 고도를 들 수가 있는데 높은 고도의 산의 경우 대기 중 ¹³⁷Cs이 토양에 침투되는 기회가 커짐으로 동일한 토질 조건의 평지 토양에 비해 높은 ¹³⁷Cs 준위를 나타내는 것으로 보여지고, 토양의 화

학적 요인으로는 그림 8과 그림 9에서 보여지듯이 양이온치환용량과 유기물이 주요 인자임이 규명되었지만 어느 지점에서나 방사능 농도와 화학적인 인자와의 관계가 일정한 것은 아니며 그 지역의 지형에 따라 다르게 나오는 것임을 판단할 수가 있었다. 특히 양이온치환용량은 침적된 ¹³⁷Cs을 토양에 고정시키는 능력을 나타내며 같은 지형조건에서 높은 양이온치환용량을 가진 시료가 낮은 양이온치환용량을 가진 토양에 비해 ¹³⁷Cs 농도가 높은 값을 보였다. 이는 향후 원전이 위치한 지역의 토양에 대해서 정확한 ¹³⁷Cs의 축적경향을 파악하고 기초 자료를 마련하기 위해서는 고도에 대한 특성과 함께 화학적인 거동특성도 같이 병행해서 자료를 축적해야 좀 더 정확한 데이터로 활용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

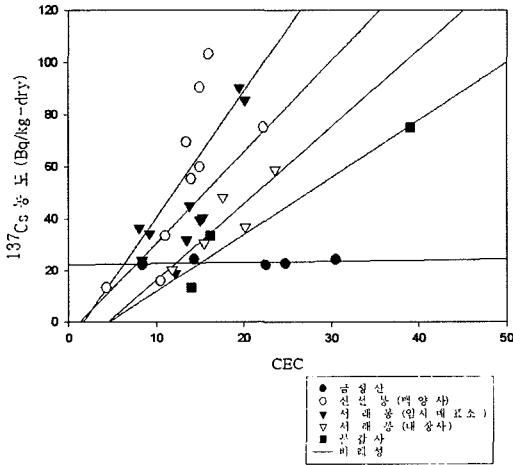


그림 8. 각 지형별 ¹³⁷Cs 농도와 CEC와의 관계

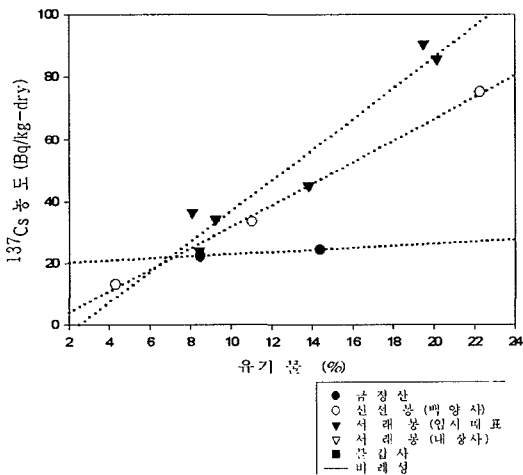


그림 9. 각 지형별 ¹³⁷Cs 농도와 유기물과의 관계

참고문헌

1. 방사선안전성능 및 환경방사선 감시기술 개발 - 한국원자력연구소, KAERI/RR-2245/2001, pp.54-89 (2002 최종본)
2. 원자력발전소 주변 환경방사선 조사보고서 - 한국수력원자력주식회사(1996-2003)
3. 우리나라 토양중 감마핵종의 분포에 관한 연구 - 한국원자력안전기술원, pp.12-53(1993. 12)
4. 국내 원자력발전소 주변 토양 휴믹산의 추출 및 특성연구-방사선방어학회지, (2003.9), 제28권 제3호
5. 토양 폴빅산의 형광 특성연구 : 토양내 방사성핵종 거동 예측 연구 - 대한방사선방어학회(2002)
6. 전국환경방사능 조사 - 한국원자력안전기술원, KINS/ER-28 Vol.34 pp.92, pp.199 (2002. 12)
7. 전국환경방사능 조사 - Vol.29 한국원자력안전기술원(1997)
8. 원자력발전소 주변 환경에서 방사성물질의 핵종·화학형·경로별 중요도 평가-대한방사선방어학회 (2002)
9. 환경방사능 분석법 연구 - 한국전력공사 기술연구원(1992), pp.37, pp.111
10. 해저토중의 ¹³⁷Cs의 분포 특성 - 방사선안전 평가 기술 심포지움 (2002), KINS/PR-034, pp.347-356

11. 영광원전 주변의 토양내 ^{137}Cs 농도 분포 조사 - 방사선안전 평가기술 심포지움 (2002), KINS/PR-034, pp.409-412
12. 토양내 오염물 이동 수치모델 검증 - 대한방사선방어학회(2002. 3), 제27권 제1호 pp67-75
13. 고산지대 토양 중 방사성핵종의 고농도 축적 특성 - 2004 대한방사선방어학회 논문집, pp.167-171, 한국원자력안전기술원
14. 고리원전주변의 토양내 ^{137}Cs 농도 - 한국원자력학회(2002) (^{137}Cs concentration in soil around Kori Nuclear Power Plant)
15. 고리원전 민간 환경 감시기구 회보(제10호, 제15호)
16. 고리원전민간환경감시기구 업무연감(2003)