

지형 및 지질에 따른 Cs-137 분포 및 거동에 관한 연구

A Study on the Distribution and Behavior of Cs-137 in the Environment According to Topography and Nature of the Soil

한상준, 이경진*, 박응섭, 이홍연, 김희근* *

영광원전 환경·안전 감시센터, 전남 영광군 영광읍 무령리 83-44

* 조선대학교, 광주광역시 동구 서석동 375

* * 전력연구원, 대전시 유성구 문지동 103-16

요 약

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

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

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

1. 서 론

환경에는 크게 천연방사성핵종과 인공방사성핵종으로 분류할 수 있다. 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 H^3 , C^{14} 등 몇 가지 핵종을 제외한 나머지는 대부분 핵분열생성물들이고, 이 중 Cs^{137} 은 선량 평가 시 특히 주목받는 핵종이다. Cs^{137} 은 환경에서 손쉽게 발견되는 핵종으로서 과거 선진국의 핵실험이나 구소련의 체르노빌 원전의 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 Cs^{137} 방사능 농도범위 : 불검출 ~ 약 252Bq/kg-dry)만을 제시하였고, 주요 현안이 되고 있는 토양의 성질 및 고도에 따른 영향을 고려하지 않았다. 지난 1994년 한국원자력안전기술원에서는 원전이 위치한 지역을 제외한 지역에 대해서 토양의 방사능 농도와 물리·화학적인 인자들을 고려하여 연구를 수행하였다. 그 결과 화학적인 인자인 유기물과 양이온 치환용량 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 Cs^{137} 의 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.

2. 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 Cs^{137} 의 농도 및 Cs^{137} 의 농도와 화학적인 인자중 가장 관계가 깊은 유기물과 양이온치환용량과의 관계를 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

먼저 영광원자력발전소가 위치한 인근 평지와 고산지대인 불갑산과 금정산에 대해서 알아보았다. 표 1에서 보여지듯이 영광원전이 위치한 평지부분에 대해서는 원전으로부터 거리에 상관없이 지금까지 분석전문기관에서 분석한 Cs^{137} 의 농도와 차이가 없음을 알 수가 있었다. 그리고 인근 고산지대인 영광원전으로부터 2km 떨어진 금정산과 약 20km 떨어진 불갑산에 대한 방사능 농도 분석 결과 또한 지금까지의 토양중 Cs^{137} 의 농도범위인 불검출 ~ 252Bq/kg-dry의 범위에는 들었지만 고산지대의 특성인 고도가 증가함에 따라 Cs^{137} 의 농도도 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 표 2 및 표 3에서 보여지듯이 Cs^{137} 의 농도에 따라 화학인자인 수소이온농도, 유기물, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성양이온과의 관계를 알아보았는데 화학인자중 유기물과 양이온치환용량이 Cs^{137} 과 상관성이 나타나는 것을 알 수가 있었다. 그림 1은 고도별 Cs^{137} 의 경향을 나타

낸 것이고 그림 2와 그림 3은 화학인자와의 관계를 도시한 것이다.

표 1. 영광원전 인근 거리별 및 고도에 따른 Cs^{137} 농도

| 구 분 | 지 점 명 | Cs^{137} 농도(Bq/kg-dry) |
|----------------------------------|---------|--------------------------|
| 평지부분 (원전으로부터 반경10km 이내) | 발전소 전시관 | 6.05 ± 0.16 |
| | 신 광 초 교 | 4.68 ± 0.13 |
| | 법 성 인의산 | 5.47 ± 0.14 |
| | 영 산 성 지 | 11.47 ± 0.29 |
| | 영 광 서초교 | 4.49 ± 0.12 |
| 평지부분 (원전으로부터 반경10~20km 이내) | 신 왕 초 교 | 1.18 ± 0.05 |
| | 사 창 초 교 | 5.37 ± 0.14 |
| | 대 산 초 교 | 4.38 ± 0.12 |
| | 군 남 초 교 | 2.24 ± 0.07 |
| | 백 수 중학교 | 1.65 ± 0.06 |
| 금정산 (원전으로부터 2km 거리) | 정 상 | 24.44 ± 0.59 |
| | 중 턱 | 22.72 ± 0.54 |
| | 입 구 | 22.16 ± 0.53 |
| 불갑산 (원전으로부터 20km 거리) | 정 상 | 75.19 ± 1.77 |
| | 중 턱 | 33.45 ± 0.80 |
| | 입 구 | 13.18 ± 0.33 |

표 2. 영광원전 인근지역 토양 중 화학분석 결과

| 지 점 | Cs^{137} 농도 (Bq/kg-dry) | pH(수소 이온농도) | 유기물(%) | 유효인산 (P, ppm) | 양이온 치환용량 (cmol/kg) | 치환성 양이온 | | |
|---------|------------------------------|----------------|--------|------------------|--------------------------|---------|-------|------|
| | | | | | | K | Ca | Mg |
| 발전소 전시관 | 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 |

과표 3. 영광원전 인근 고산지대 토양 중 화학분석 결과

| 지 점 | Cs^{137} 농도 (Bq/kg-dry) | pH(수소 이온농도) | 유기물 (%) | 유효인산 (P, ppm) | 양이온 치환용량 (cmol/kg) | 치환성 양이온 | | | |
|-------------|------------------------------|----------------|------------|------------------|--------------------------|---------|------|-------|------|
| | | | | | | K | Ca | Mg | |
| 금 정 산 | 정 상 | 24.44±0.59 | 6.4 | 14.37 | 94.74 | 30.55 | 0.45 | 20.71 | 3.38 |
| | 중 턱 | 22.72±0.54 | 4.6 | 8.47 | 31.00 | 24.75 | 0.48 | 7.95 | 2.47 |
| | 하 부 | 22.16±0.54 | 5.1 | 8.47 | 15.15 | 22.50 | 0.33 | 9.07 | 2.52 |
| 불 갑 산 | 정 상 | 75.19±1.77 | 4.6 | 22.28 | 210.56 | 39.05 | 1.00 | 9.86 | 1.84 |
| | 중 턱 | 33.45±0.80 | 4.4 | 11.03 | 37.18 | 16.15 | 0.41 | 2.11 | 0.86 |
| | 하 부 | 13.18±0.33 | 3.9 | 4.28 | 141.65 | 14.00 | 0.46 | 3.17 | 0.66 |

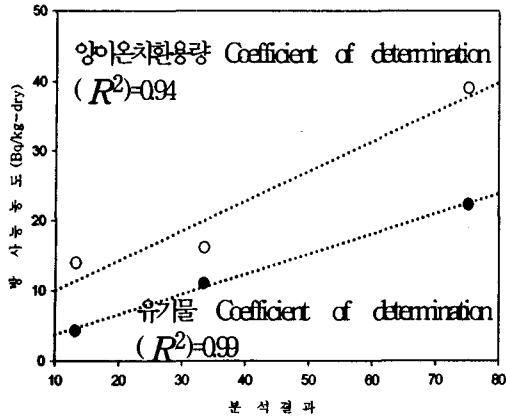


그림 1. 불갑산에서의 Cs^{137} 농도와 유기물, CEC와의 관계

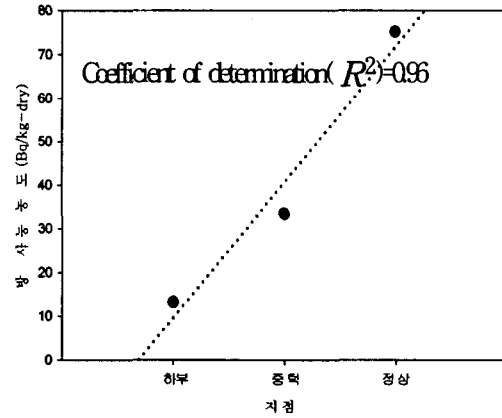


그림 2. 불갑산에서의 고도별 Cs^{137} 농도

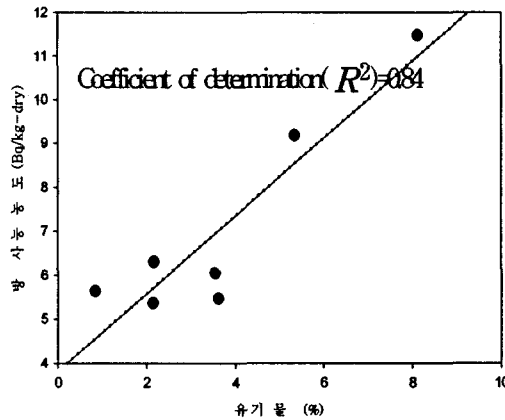


그림 3. 일반평지에서의 Cs^{137} 농도와 유기물과의 관계

두 번째는 표 4와 같이 내장산 토양에 대해서는 신선봉은 해발 763m인 정상부근에서 Cs^{137} 의 농도는 90.48Bq/kg-dry로 나타났고 정상보다 아래쪽에 위치한 해발 653m 부근에서는 103.10Bq/kg-dry로 정상보다 약간 높게 나타난 반면, 신선봉에서 고도가 가장 낮은 해발 200m인 내장사 방향과 해발 356m인 백양사 방향에서는 각각 36.43Bq/kg-dry, 15.91Bq/kg-dry로 정상보다 적게 나타남을 알 수가 있었다. 해발 622m인 서래봉은 정상에서 가장 높은 값인 58.94Bq/kg-dry로 나타났고, 서래봉에서 고도가 가장 낮은 해발 252m인 임시대표소 방향과 해발 200m인 내장사 방향에서는 각각 18.79Bq/kg-dry, 20.54Bq/kg-dry의 농도 값을 나타내었다. 또한 그림 4와 그림 5에 도시한것과 같이 신선봉과 마찬가지로 서래봉 또한 정상보다 고도가 낮을수록 Cs^{137} 의 농도는 적게 검출되었으며 신선봉과 서래봉에 대한 고도별 상관계수는 각각 0.62, 0.76로 나타났다. 그리고 표5의 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 분포 되었고, 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 6의 서래봉의 화학분석 결과중 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), 칼슘은 1.9~8.8(ppm), 마그네슘

은 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 Cs^{137} 의 농도와 화학인자별 상관성을 도출한 결과는 수소이온농도, 유효인산 및 치환성양이온과 방사능 농도와는 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, 치환성양이온과 방사능 농도와는 0.16, 0.05의 상관관계를 가지고 있으며 양이온치환용량은 임시매표소 방향과 내장사 방향이 각각 0.87, 0.80을 나타내었다. 이러한 토양중 Cs^{137} 농도와 화학인자와의 관계를 그림 6, 그림7 및 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

표 4. 내장산 토양 Cs^{137} 농도 분석결과

| 지 점 | 고도(m) | Cs^{137} 농도(Bq/kg-dry) | 비고 |
|--------|--------------|--------------------------|------------------------|
| 신선봉 토양 | 200 | 36.43 ± 0.99 | 신선봉에서 동쪽으로 내장사 방향 |
| | 321 | 45.15 ± 1.23 | |
| | 411 | 24.11 ± 0.68 | |
| | 509 | 34.33 ± 0.95 | |
| | 620 | 85.58 ± 2.28 | |
| | 763 | 90.48 ± 2.43 | 신선봉 정상 |
| | 653 | 103.10 ± 2.76 | 신선봉에서 서쪽으로 백양사 방향 |
| | 583 | 59.86 ± 1.62 | |
| | 502 | 69.53 ± 1.86 | |
| | 433 | 55.34 ± 1.50 | |
| 356 | 15.91 ± 4.55 | | |
| 서래봉 토양 | 252 | 18.79 ± 0.53 | 서래봉에서 동쪽으로 임시매표소 방향 |
| | 356 | 40.60 ± 1.25 | |
| | 420 | 31.83 ± 0.87 | |
| | 518 | 39.60 ± 1.08 | |
| | 622 | 58.94 ± 1.59 | 서래봉 정상 |
| | 500 | 48.21 ± 1.31 | 서래봉에서 서쪽으로 내장사 방향 |
| | 421 | 30.67 ± 0.85 | |
| | 318 | 36.88 ± 1.01 | |
| 200 | 20.54 ± 0.58 | | |

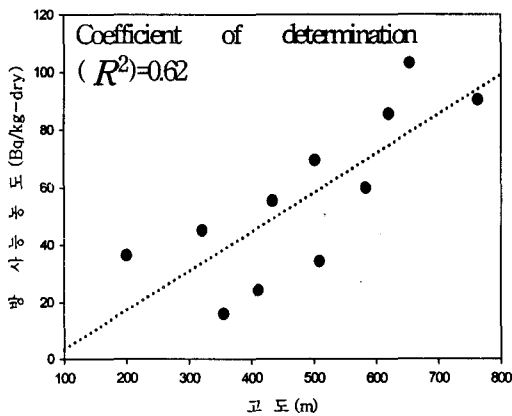


그림 4. 신선봉에서 고도별 Cs^{137} 농도

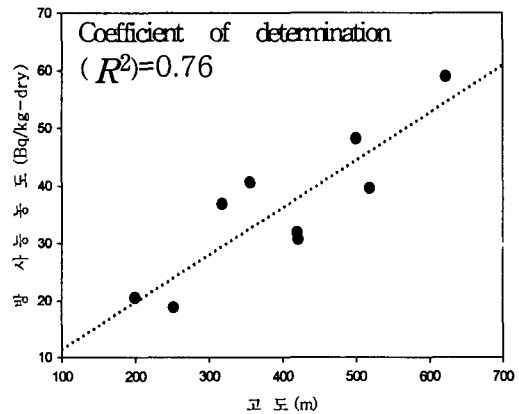


그림 5. 서래봉에서 고도별 Cs^{137} 농도

표 5. 내장산 신선봉의 화학분석결과

| 지점 | 고도 (m) | Cs^{137} 농도 (Bq/kg-dry) | pH(수소 이온농도) | 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 |

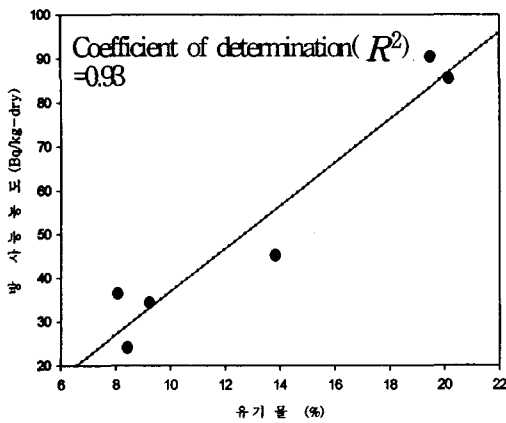


그림 6. 신선봉에서 Cs^{137} 농도와 유기물과의 관계

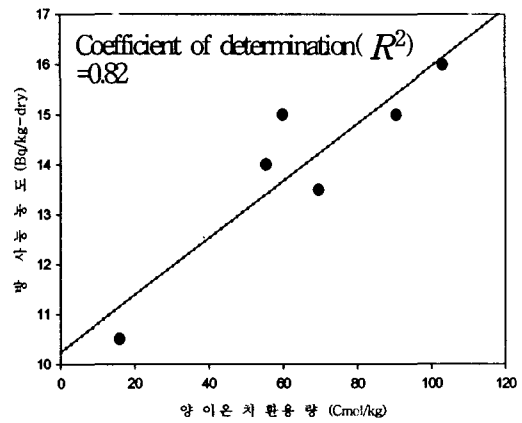


그림 7. 신선봉에서의 Cs^{137} 농도와 CEC와의 관계

표 6. 내장산 서래봉의 화학분석결과

| 지점 | 고도 (m) | Cs^{137} 농도 (Bq/kg-dry) | pH (수소 이온 농도) | 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 |

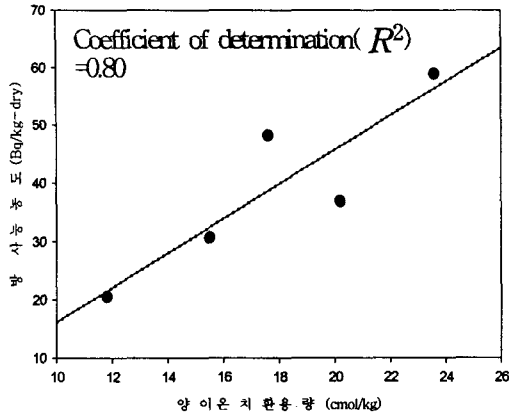


그림 8. 서래봉(임시매표소)에서의 Cs^{137} 농도와 CEC와의 관계

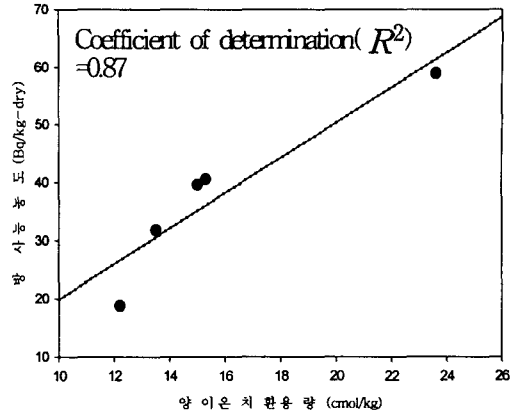


그림 9. 서래봉(내장사)에서의 Cs^{137} 농도와 CEC와의 관계

4. 결과 및 결론

가. 결과

지금까지의 연구에서 일반평지에서의 토양방사능 농도는 전국토 Cs^{137} 의 농도범위인 불검출 ~ 252Bq/kg-dry 범위에 들었다. 그러나 고산지대에서는 고도가 증가함에 따라 방사능 농도도 증가하는 경향을 나타냈으며, 또한 토양의 화학적인 특성인 유기물과 양이온치환용량이 밀접한 관계가 있음을 알 수가 있었다. 그리고 어느 지점에서나 방사능 농도와 화학적인 인자와의 관계가 일정한 것은 아니며 그림 10과 그림 11에서와 같이 그 지역의 지형과 기후 특성에 따라 다르게 나오는 것임을 판단할 수가 있었다.

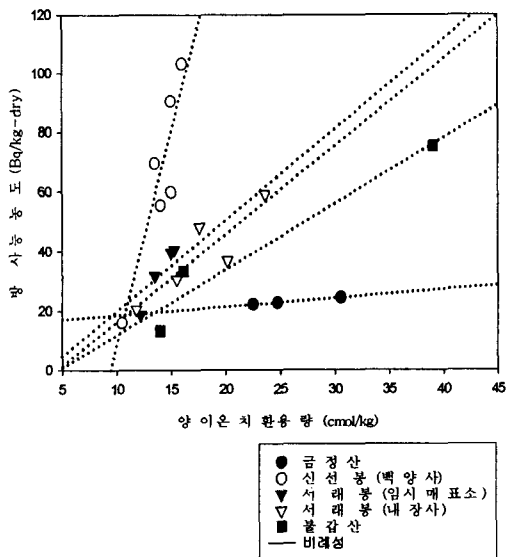


그림 10. 각 지형별 Cs^{137} 농도와 CEC와의 관계

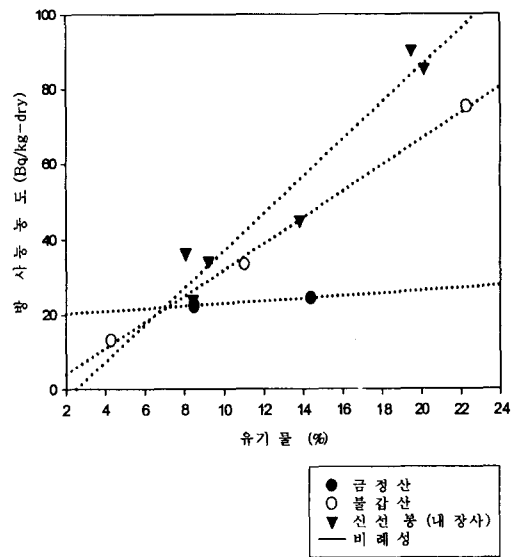


그림 11. 각 지형별 Cs^{137} 농도와 유기물과의 관계

나. 결 론

영광원전이 위치한 주변지역의 토양과 원거리에 위치한 내장산 토양, 고산지대인 금정산 및 불갑산 토양을 채취하여 시료 내의 Cs^{137} 농도와 화학적인 특성 분석을 수행하였다.

Cs^{137} 의 농도 분석결과에 의하면 영광 원전 주변지역의 농도는 시료채취 지역에 상관없이 일정한 분포를 보였으며 이는 1992~2002년 한국원자력안전기술원에서 분석한 결과와 유사한 경향을 보였다.

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

이는 향후 원전이 위치한 지역의 토양에 대해서 정확한 Cs^{137} 의 축적경향을 파악하고 기초자료를 마련하기 위해서는 고도에 대한 특성과 함께 화학적인 거동특성도 같이 병행해서 자료를 축적해야 좀 더 정확한 데이터로 활용을 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 고리원전주변의 토양내 Cs-137 농도 - 한국원자력학회(2002)
(Cs-137 concentration in soil around Kori Nuclear Power Plant)
2. 한국수력원자력주식회사, 원자력방사선 관리연보
3. 한국수력원자력주식회사, 원자력발전소 주변 환경방사선 조사보고서, 1996-2003
4. 원자력발전소 주변토양에 존재하는 휴믹산의 물리·화학적 특성 규명
- 대한방사선방어학회(2002)
5. 토양 풀빅산의 형광 특성연구 : 토양내 방사성핵종 거동 예측 연구
- 대한방사선방어학회(2002)
6. 한국원자력안전기술원, 전국환경방사능 조사
7. 원자력발전소 주변 환경에서 방사성물질의 핵종·화학적·경로별 중요도 평가
- 대한방사선방어학회 (2002)
8. 환경방사능 분석법 연구 - 한국전력공사 기술연구원
9. 환경시료의 화학분석
10. 고산지대 토양 중 방사성핵종의 고농도 축적 특성 - 한국원자력안전기술원(2004)
11. 방사선안전성능 및 환경방사선 감시기술 개발 - 한국원자력연구소 (2002)
12. 고리원전 민간 환경 감시기구 회보
13. 영광원전 민간 환경 감시기구 연보