

'99 추계 학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## 액체 방사성물질의 연안해역 흡착특성

### Radionuclide Adsorption Characteristics around Coastal Water

송영일 · 정양근 · 이갑복

한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

서장수

한국전력공사 원자력교육원  
울산광역시 울주구 서생면 신암리 991

#### 요 약

고리와 월성원전 주변 해수를 채수하여 환경준위보다 약간 높게 희석한 액체방사성물질을 부가하여 방사성 물질의 부유물 흡착성을 실험하였다. 해수에 부유물 농도와 입도를 각각 상이하게 조정하여 각각의 상황에서 흡착정도를 실험하였다. 방사성물질의 흡착정도는 부유물의 성분과 해수 중의 화학적 형태에 따라 차이가 있기 때문에 해당 지역 해양의 지·화학적 특성을 분석하였는데, 고리와 월성 해역은 부유물 농도는 10mg/l 이하 수준을 보이고, 입도는 미세한 세립질이며, 성분은 흡착에 유리한 점토광물이 많이 분포하여 일반적으로 방사성물질의 흡착에는 유리하나, 미세한 입자의 특성상 침전성 보다는 유동성이 강하게 나타나고 있다. 흡착실험결과에서는  $^{51}\text{Cr}$  ·  $^{139}\text{Ce}$  ·  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  이 흡착성이 높고  $^{60}\text{Co}$  ·  $^{137}\text{Cs}$  은 낮은 흡착성을 나타냈다. 특히  $^{60}\text{Co}$  는 지역 별로 편차를 보여 다양한 유동성을 띄는 것으로 나타났다.

#### Abstract

The adsorption capacity of radionuclides to suspended sediment is experimented on coastal seawater sampled around Kori and Wolsong for each. During the experiment the concentration and size fraction of suspended sediment can be adjusted and the seawater & sediment chemistry is approximated to the expected field condition. The sorption capacity depends on the specific minerals, ocean chemistry and radionuclide involved, it is necessary to analyze sediment mineralogy. Clay mineral is dominant in seabed mineral and suspended sediment in the result of X-ray diffraction. Radionuclide sorbed to silty-clay mineral predominantly can be rather transported to ocean than scavenged to seabed because of fine grained sediment around Kori, Wolsong coast. The result of adsorption experiments shows that  $^{139}\text{Ce}$  ·  $^{51}\text{Cr}$  ·  $^{110}\text{Ag}$  are strongly sorbed to suspended particle, while  $^{137}\text{Cs}$  is less sorbed and  $^{60}\text{Co}$  uptake is varied with experiment condition, which can be conferred from various biological factors.

## 1. 서론

방사성물질의 흡착성 연구는 深海 방사성 폐기물 투기지역에서 방사성물질의 유동에 의한 해양 환경의 영향을 평가하기 위해 IAEA를 포함한 국제기구에서 많은 연구가 이뤄졌고, 해양으로 방사성폐기물을 방출하는 각종 원자력시설 주변에서도 많은 조사가 이뤄졌다. 그러나 우리의 경우 방사성물질의 해양 방출량이 극히 미량이라, 이에 대한 연구가 거의 없었던 실정이다. 방사성물질은 자체적인 고유의 화학적 특성을 가지고 있고, 방사성물질이 유동하는 해양도 물리적 유동특성과 화학적 성분이 다양하기 때문에 방사성물질은 다양한 화학적 변화를 거쳐 유동한다. 특히 대기 중에 있는 방사성물질 보다 해양에 있는 방사성물질의 반응성이 뛰어나기 때문에, 해양에서 방사성물질의 유동은 이와 같은 화학적 거동특성을 반영하지 않고 해양의 방사성물질 영향평가나 해양확산을 평가할 수 없다. 다시말해 해양으로 방출된 방사성물질은 용해상태에서 유동하거나, 유리이온 상태에서 부유물이나 유기물에 흡착되기도 하고, 흡착된 방사성물질은 일부가 해저로 침전되고, 또 침전된 것 중 일부가 다시 부유되기도 한다. 그래서 방사성물질의 영향평가나 확산해석은 이와 같이 해양과 방사성물질의 물리화학적 거동특성을 반영하여 평가되어야 한다.

우리나라는 원자력발전소가 모두 해변에 위치하여 원자력발전소의 액체상 유출물은 해양으로 방출되고 있다. 액체상의 유출물에는 미량의 액체 방사성폐기물이 포함돼 방출되고 있으며, 주요 구성원은 삼중수소, 불활성기체, 핵분열 방사성물질, 계통내부 부식 생성물이 방사화됨으로서 발생한 방사화 생성물 등으로 구성돼 있다. 예상 방출 방사성물질을 發生原 별로 분류하면, 원자로 내부에서 발생한 삼중수소,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ 와 같은 불활성기체와, 우라늄의 핵분열과정에서 발생한  $\text{Ce}^{138}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , 그리고 기계나 배관 등의 계통 내 금속이 방사화되고 이들이 부식에 의해 이탈돼 액체 방사물 계통으로 유입되는  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  등과 같은 것이 있다.

이들 방사성물질과 해양의 다양한 화학적 성분과의 반응, 흡착·탈착, 해수 유동 등을 모두 체계적으로 해석하기는 너무나 방대한 작업으로 간단하지 않다. 여기서는 해수 중에서 방사성물질의 화학적 거동 양상을 해석하고, 해역에서 검출 가능한 몇가지 방사성물질에 대해 고리와 월성주변에서 채수한 해수에서 흡착실험을 통해 나타난 결과로 방사성물질의 해양유동특성을 평가하고자 한다.

## 2. 고리와 월성원전 주변해역의 지·화학 특성

해양에서 방사성물질의 화학적 거동형태를 결정하는 해양의 화학적 특성은 해수의 염분도, pH, 산화·환원전위(Eh), 수온 등을 들 수 있다. 해수의 염분도는 평형상태에서 해수 중의 주요 구성 화학원소의 양을 결정한다. 그리고 pH와 산화·환원전위는 각종원소의 화학적 형태를 결정하는 주요변수가 되며, 수온 증가는 미량의 pH 상승을 유발(10°C 증가에 0.0003증가<sup>1)</sup>)한다. 그러나 대부분의 해역에서 pH, 산화·환원전위는 거의 일정한 값을 유지하고, 그 값도 8.2 와 0.72의 값을 갖기 때문에 해양에서 대부분의 화학적 형태는 일정하다고 볼 수 있다.

고리와 월성주변 해역에서 화학적 특성을 보면, 염분도는 계절별로 약 12°C 안팎의 수온변화에 의해 약 2.5%의 계절적 변동이 나타난다. 연안해역에서 해양의 화학적 성분의 변화를 가져올 수 있는 요소로서 수온과 염분 외에 육상으로부터 유입되는 강물이나 강우 등에 의해 연안해역에서 유기생물이 증가하는 원인 등으로 평형상태의 화학성분 조성의 평형이 깨질수 있다. 그러나 장기

적으로 해양은 평형에 도달한다. 고리와 월성 주변해역에서는 큰 강물이 유입되지 않기 때문에 염분도의 변화는 주로 수온변화에 기인한 것으로 추정되나, 요즘처럼 적조 또는 녹조현상은 영향이 광역적으로 나타나기 때문에 단정할 수는 없다.

표 1. 고리, 월성원전 주변 수온, 염분 분포<sup>2, 3</sup>

		춘계	하계	추계	동계
고리	수온(°C)	14.5	25.1	15.1	13.5
	염분(‰)	34.2	31.6	33.0	33.8
월성	수온(°C)	14.3	25.7	15.4	12.0
	염분(‰)	34.3	31.4	33.1	33.9

부유물의 성분 입도에 따라 방사성물질의 흡착성이 차이가 나는데, 입도가 미세한 점토광물이 우세할수록 흡착성은 높게 나타난다. 이를 위해 부유물 성분을 분석해야 하나, 부유물의 농도가 10mg/l 이하로 매우 낮기 때문에 해저 표층 퇴적물의 입도와 기질형을 분석하였다. 배수로 반경 3km 이내 표층 퇴적물 분석결과<sup>4, 5</sup> (그림 1 ~ 그림 4)에 따르면, 고리는 전체적으로 silt-clay가 우세하고, 월성은 sandy-silt와 sand가 우세한 것으로 나타나고 있다. 해역의 입도분포를 보면 월성은 배수로 반경 2km 이내에서는 암석과 자갈과 sand가 주요 구성성분으로, 2 km를 벗어나야 입도가 미세한 silt-clay가 나타나고 있다. 고리도 연안에서 수백 m 이내에서는 거친 모래가 주로 분포하나 500m 이상 벗어나면 silt와 silt-clay가 분포하는 것으로 나타나고 있다.

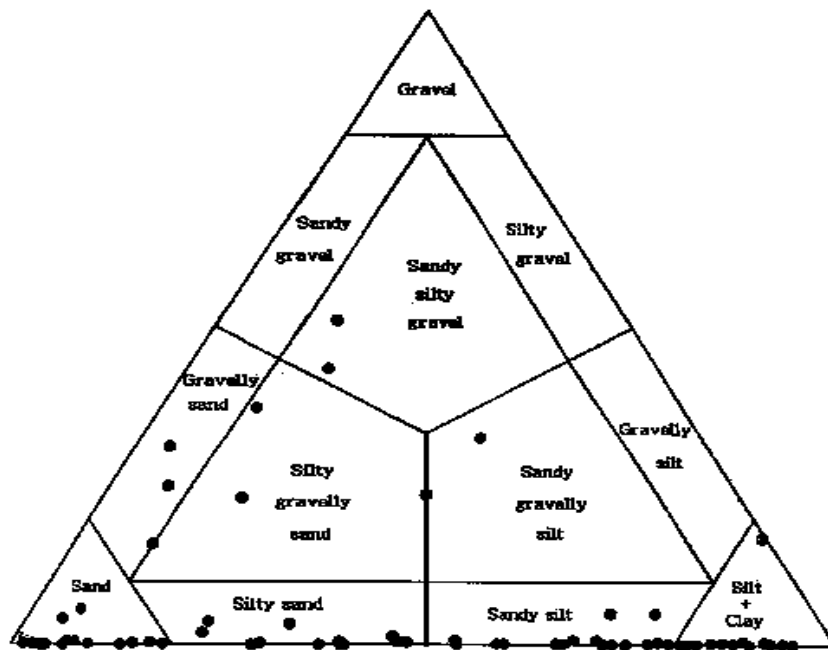


그림 1. 고리원전 주변 해저 표층 퇴적물의 기질형 삼각분포도

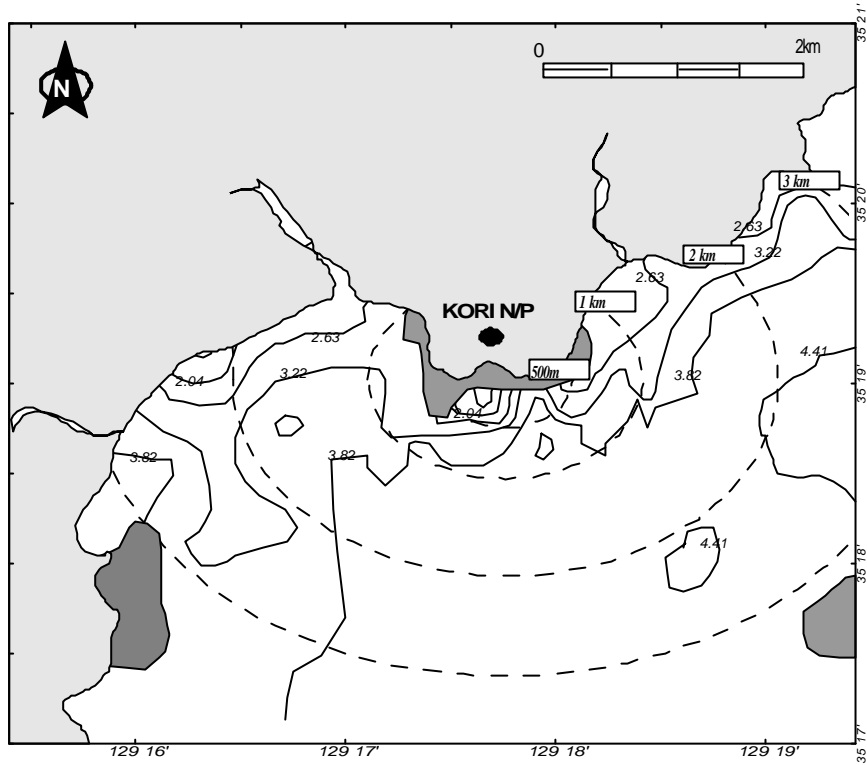


그림 2. 고리주변 해저 표층퇴적물의 입도(Md  $\phi$ )분포.

\* Md  $\phi$ 와 부유물 입도 관계, fine sand(2 ~ 3) : 0.25 mm ~ 0.125mm, very fine sand(3 ~ 4) : 0.125 ~ 0.062mm, silt (4 ~ 8 : 0.062mm ~ 0.004mm

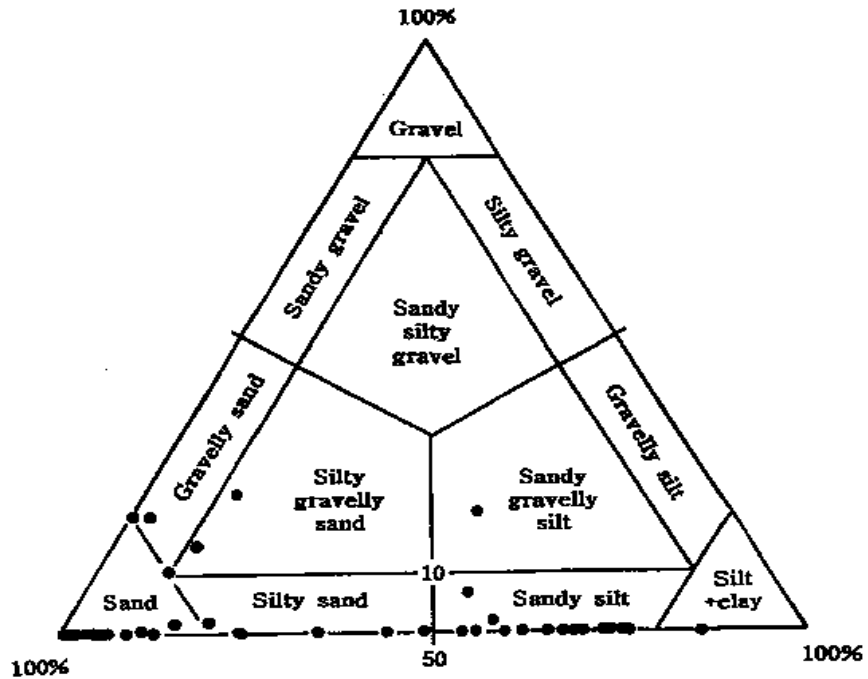


그림 3. 월성원전 주변 해저 표층 퇴적물의 기질형 삼각분포도

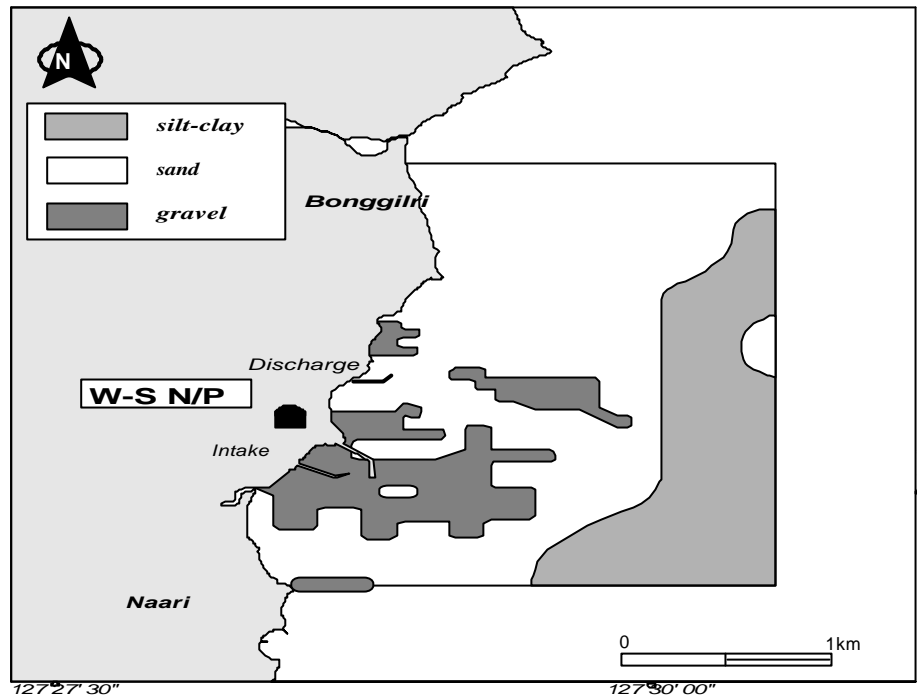


그림 4. 월성원전 주변 해저 표층 퇴적물의 입도 분포

방사성물질은 부유물 성분에 따라 흡착특성이 상이하기 때문에 부유물의 성분을 평가할 필요가 있다. 고리주변 해역의 현탁 부유물에 대한 입도 분포와 기질형을 분석한 결과<sup>6</sup>는 silt-clay가 90%이상인 세립질로 구성되어 있는 것으로 평가되었다. 표층 퇴적물의 성분을 분석하여 부유물의 성분을 추정하였다. 그러나 부유물은 더욱 미세하고 유기물이 더욱 많기 때문에 부유물과 표층 퇴적물의 성분이 같다고 볼 수는 없다. 고리와 월성해역의 표층 퇴적물을 채취하여 X-선 회절분석을 실시하여 퇴적물의 성분과 조성을 분석하였다. 고리 지역에서는 500mm 이내에서 2개(A-12, A-87), 1km이내에서 2개(B-38, B-84), 2km이내에서 2개(C-59, C-73) 모두 6개의 시료를 분석하였다. 월성지역에서는 배수로에서 2Km 이내는 모래나 자갈이 대부분이기 때문에 2km이상 떨어진 외해의 해저 표층 퇴적물에 대해 분석하였다. 총 7개의 시료 중 배수로 부근에서 1개시료(R-1), 2km에서 3km 이내에서 3개(S-2, S-3, S-4) 3km에서 5km 이내에서 2개 (T-3, T-5, T-5는 연안에서 채취) 그리고 약 6km지점에서 1개(U-3)를 채취하여 퇴적물 성분을 분석하였다. 고리 및 월성지역 시료의 X-선 회절결과를 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 가로축은  $2\theta$ , 세로축은 회절강도를 나타낸다. 석영은  $26.6^\circ 2\theta$  부근에서 가장 큰 회절강도를 보이며 대부분의 시료에서 가장 많은 양을 차지하는 구성광물이다. 다음은 장석으로  $27.9^\circ 2\theta$ 에서 최대 회절선이 나타나며 대부분 사장석으로 동정되었다. 해저퇴적물에서 흔히 타나나는 방해석은 전 시료에 걸쳐 산출되며  $29.4^\circ 2\theta$ 에서 최대 회절선이 관찰된다. 점토광물은 상대적으로 약한 회절강도 때문에 잘 관찰되지 않으나 R-1시료를 제외한 모든 시료에서 일라이트( $8.8^\circ 2\theta$ )의 산출이 확인되며 일부 시료에서 카올리나이트의 피크( $12.5^\circ 2\theta$ )도 나타난다. 구성광물 중 석영( $26.6^\circ 2\theta$ )이 가장 우세한 피크를 보이나 C-59시료의 경우 예외적으로 방해석( $29.4^\circ 2\theta$ )이 가장 큰 강도의 피크를 보인다.  $27.9^\circ 2\theta$ 에서 가장 최대 크기의 피크를 보이는 장석은 A-12, B-38시료의 경우 다른시료에 비해 상대적으로 높은 함량을 가지고 있는 것이 관찰된다. 일라이트는 전 시료에 걸쳐 산출되며 카올리나이트

의 경우 C-59시료를 제외한 모든 시료에서 피크가 확인된다. 그밖의 점토광물은 입도분리를 하지 않은 상태에서 석영이나 장석등 다른광물에 비해 상대적으로 낮은 회절 강도를 나타내기 때문에 피크를 관찰하기 어렵다.

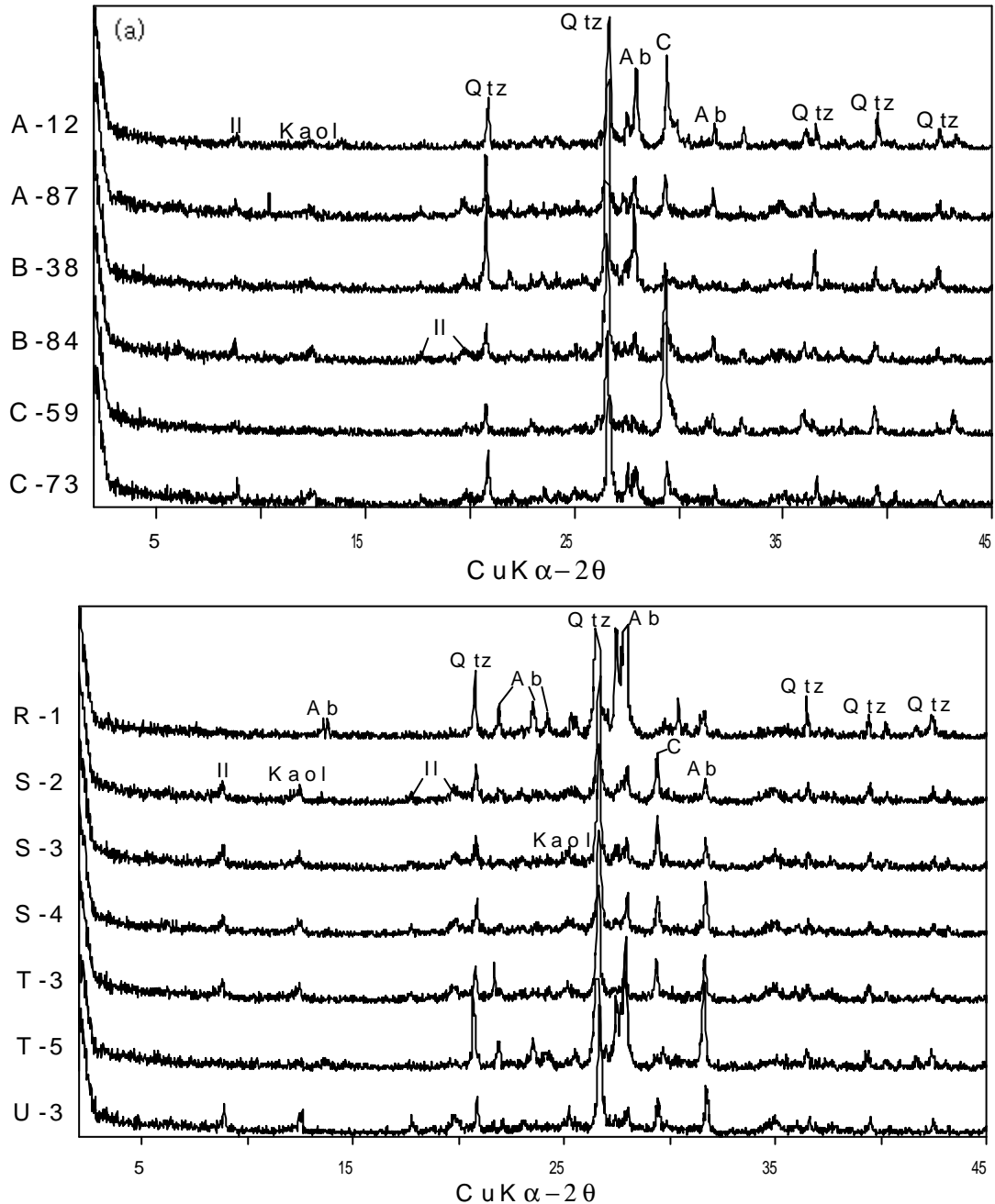


그림 5. 고리지역(a) 및 월성지역(b) 시료의 X-선 회절도형  
(범례 : II; 일라이트, Kaol; 카올리나이트, Qtz; 석영, Ab; 알바이트, C; 방해석)

점토성 광물의 피크를 보다 정밀하게 보기 위해, 퇴적물의 입도가  $2\mu\text{m}$ 이하인 퇴적물을 분리하여 X선 회절분석을 실시하였다. 그림 5에서는 강도가 매우 낮아 확인이 어려우나 X-선 회절도형을 확대하여 조사할 경우  $5.0\sim 6.5^\circ 2\theta$ 에서 스�멕타이트로 사료되는 광물의 피크가 관찰된다. 이

의 정확한 동정을 위해서 비교적 점토광물의 함량이 높은 8개 시료(고리지역 2개, 월성지역 6개)를 선택하여 2 $\mu\text{m}$ 이하로 입도분리를 실시하였다. 2 $\mu\text{m}$ 이하 입도의 시료에 대한 X-선 회절분석 결과는 그림 6에 나와있다. 8개 시료 모두 일라이트와 카올리나이트가 주 구성광물이며 석영과 방해석도 함께 관찰된다. 입도분리 전 시료에서는 잘 관찰되지 않던 �멕타이트가 상대적인 함량의 증가로 인하여 뚜렷한 피크를 보이고 있다. �멕타이트는 일반적으로 방사성물질에 흡착성이 높은 몬모리-올라이트 등의 광물등으로 구성되어있다.

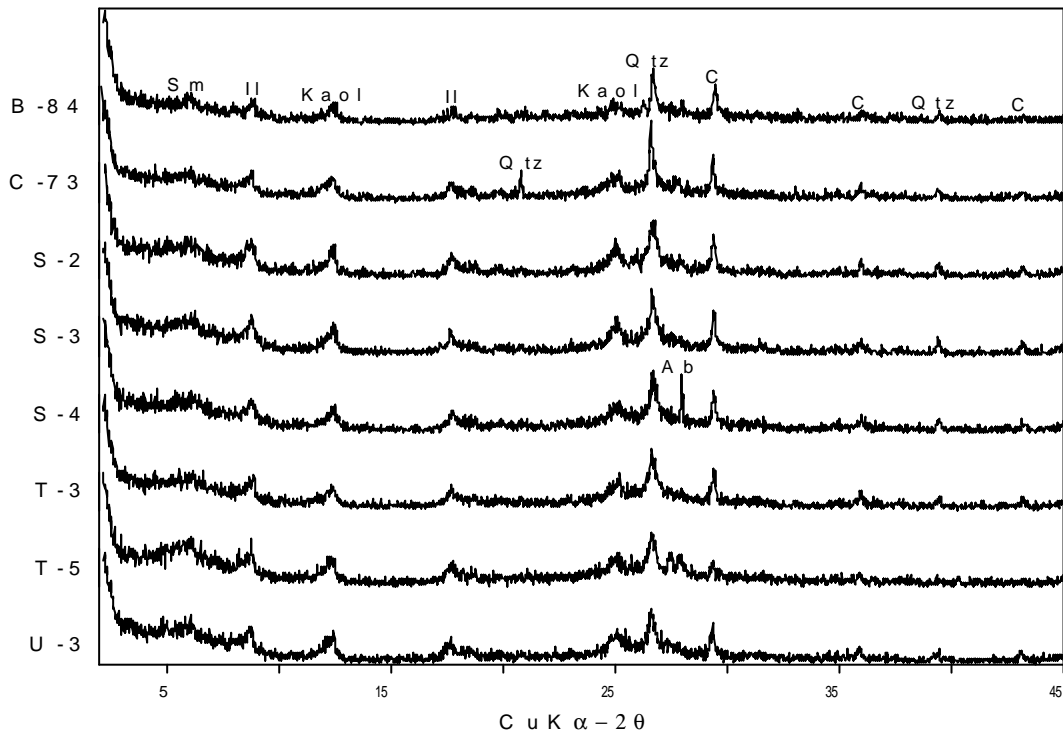


그림 6. 2 $\mu\text{m}$ 이하 입도 시료의 X-선 회절도형

(범례 : Sm; �멕타이트, Il; 일라이트, Kaol; 카올리나이트, Qtz; 석영, Ab; 알바이트, C; 방해석)

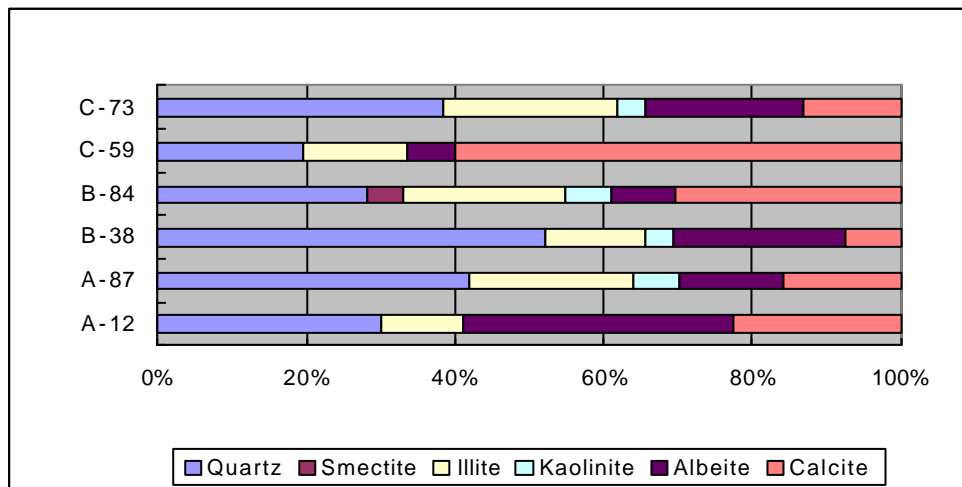


그림 7. 고리 주변 해저 표층 퇴적물 광물별 정량분석 결과

퇴적물의 광물별 조성비는 반정량법 (Chung, 1974)을 이용하여 각 광물의 함량을 계산하였다. 평가결과는 그림 7, 8, 9에 표시하였으며, 그림 9는 입도를  $2\mu\text{m}$ 이하에 대한 퇴적물을 분석한 결과로서, 전체적으로 석영이 가장 많은 함량을 차지하고 있고, 장석과 방해석 등이 나타나고 있다. 방사성물질에 흡착성이 좋은 일라이트가 고리는 10%에서 20 % 안팎에서 나타나지만 월성에서는 연안지역을 제외하고 원거리에서 채취한 시료는 모두 20%이상 높게는 34% 수준 까지 나타나고 있다.  $2\mu\text{m}$ 이하 입도 분석결과에서도 스�멕타이트, 일라이트, 카올리나이트 등이 50%에서 70% 까지 나타나, 점토광물에서 방사성물질의 흡착특성이 매우 높게 나타날 수 있다

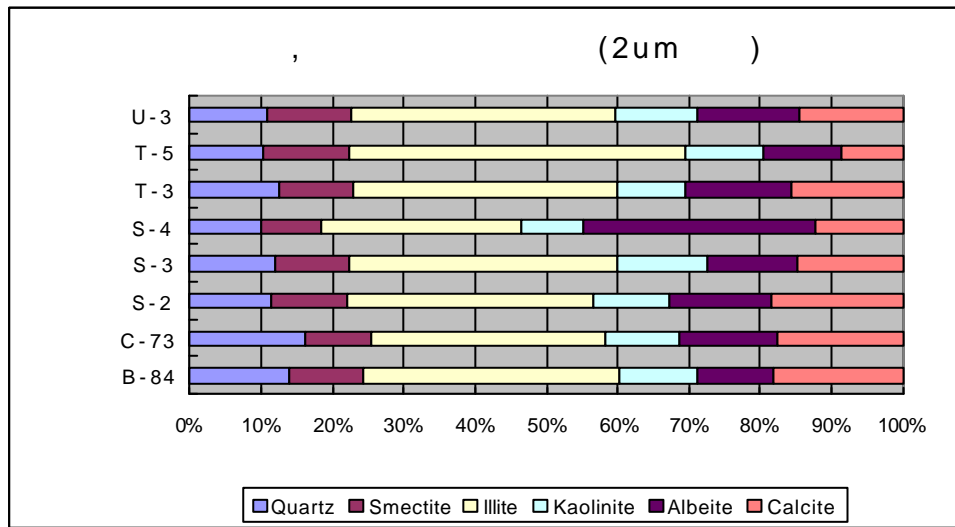
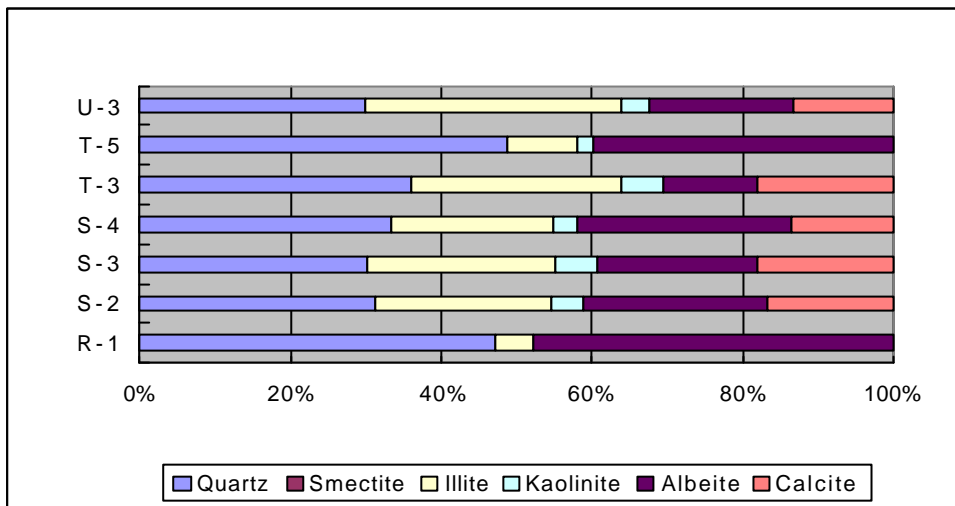


그림 9(상), 월성 해저 표층 퇴적물 정량분석 결과, 그림 10(하),  $2\mu\text{m}$ 이하 광물 정량분석 결과

### 3. 방사성물질의 흡착실험 결과

방사성물질이 해양에서 용해되고 흡착되는 반응 mechanism을 정확히 규명하기란 어렵다. 해수와 부유물, 유기 생물체 중의 수많은 극미량 화학물질과의 반응과 흡착을 고려해야 하고, 해양의 물리적 유동특성도 매우 다양하게 나타나기 때문이다. 따라서 방사성물질은 수계에 극미량으로



존재하는 안정동위원소가 평형상태에서 어떤 화학적 형태로 존재하는 지를 평가하여 방사성물질도 이에 준하는 화학적 거동형태를 보일 것으로 가정하여 방사성물질의 화학적 거동을 평가하고 있다. 방사성물질의 흡착성 역시 여러 원소들과 부유물, 유기물의 전기·화학적인 특성과 광물학적 특성 등을 고려하여 흡착량을 정량할 수 있다. 여기서는 다양한 반응 mechanism을 모두 규명할 수 없기 때문에 고리와 월성원전 주변에서 채수한 해수에 부유물의 농도와 입도를 조정하여 방사성물질의 흡착정도를 실험하였다.

자연환경에서 검출되는 방사성물질에 대해서는 자연상태에서 채수한 해수에서 방사성물질의 용해성과 흡착성 분석이 가능하나, 발전소에서 방출 가능하나 준위가 워낙 낮아 검출되지 않는 방사성물질은 환경에서 검출 가능한 수준의 농도를 채수한 해수에 투입하여 용해 흡착 특성을 실험하였다. 방사성물질의 흡착특성은 부유물 농도, 부유물 입도, 부유물 성분에 따라 상이한 결과를 보이고 있으며, 방사성물질 별로 흡착 후 평형에 도달한 시간이 달리 나타나고 있는 성질을 고려하여 실험에 반영하였다<sup>7</sup>. 방사성물질의 부유물 농도에 따른 흡착특성을 보기 위해 부유물의 농도를 점차 증가시켜가면서 방사성물질이 부유물에 흡착된 정도를 실험하였다. 방사성물질은 발전소의 폐기물처리계통에서 채취하여 희석한 Co-58, Co-60, Ag-110m과 표준연구원에서 환경 준위로 조제한 Cr-51, Ce-139 등의 방사성물질이 사용되었다.

실험결과 대부분의 방사성물질에서 부유물의 농도가 증가할수록 부유물 단위 중량에 흡착된 방사성물질의 양은 현저히 감소함을 알 수 있었다. 그러나 K-40은 대부분 유기물에서 나오는 방사능이기 때문에 부유물의 농도가 증가하더라도 단위 중량에 흡착된 방사성물질의 농도는 크게 변함이 없었다. Cs의 부유물 흡착 농도도 부유물의 농도와 상관관계가 특이할 만하게 나타나지 않고 있는데, 농도가 낮은 원인도 있으나, Cs 방사성물질의 특징상 용해성이 흡착성 보다 높기 때문으로 추정된다. Cr과 Ce는 방사성물질의 흡착성이 매우 높게 나타나고, 부유물 농도와 단위 중량 당 방사성물질의 흡착성과의 관계도 매우 뚜렷하게 나타났다.

방사성물질의 입도별 흡착실험 결과에서는 부유물의 입도가 미세할수록 방사성물질의 부유물 흡착특성이 높은 것으로 나타나고 있다. 부유물의 입도가 미세할수록 방사성물질의 흡착량은 증가하고 있음을 보여준다. Wentworth의 대분류에 의하면 2mm이상은 자갈, 1/16mm ~ 2mm 는 모래, 1/16mm 이하는 펄로 구분하고 있다. 본 실험에서는 26 $\mu$ m ~ 75 $\mu$ m의 입도를 갖는 부유물을 펄로 간주할 수 있으며, 나머지 입도의 부유물은 미세한 모래질로 간주할 수 있다. 실험결과 모래질에서 보다 펄에서 흡착특성이 높게 나타나고 있으며, 부유물의 입도가 미세할수록 흡착특성이 높게 나타나고 있고, 0.5mm 정도의 입도에서도 더 낮은 입도의 부유물에 비해 흡착정도는 매우 낮지만 여전히 흡착력을 띄고 있었다. 이와 같은 실험결과를 응용하여 부유물의 입도 별 침전속도알면 방사성물질의 유동성과 침전정도를 구할 수 있다. 그리고 26 $\mu$ m 이하의 부유물은 해류에 의한 유동이 활발한 해역에서는 거의 유동성으로 볼 수 있기 때문에 침전정도는 매우 낮은 수준으로 추정할 수 있다. 고리 주변의 해저 표층 퇴적물의 기질형 조사결과에 의하면 silt-clay가 가장 우세하고, 월성에서는 전반적으로 sand가 우세하며, 고리는 연안에서 수백 m이상, 월성은 2km이상 벗어난 해역에서 입도가 미세한 점토광물이 나타나 이 지역에서는 방사성물질의 흡착가능성이 크게 나타날 수 있다. 그러나 월성의 경우 거친 모래들이 광범위하게 분포하고 있어 고리에 비해 상대적으로 방사성물질의 흡착 가능성은 낮다고 볼 수 있다.

방사성물질의 부유물 흡착성은 방사성물질이 부유물에 흡착된 방사능의 농도 대비 용해된 상태의 방사성물질의 농도의 비를 정량화한 분배계수로 나타낸다. 해양에서 방사성물질의 거동도 각 방사성물질의 분배계수 값으로 유동량을 정량화할 수 있다. 즉 방사성물질의 해양확산 평가시 분배계수 값으로 방사성물질이 부유물과 함께 침전되는 량 또는 재부유 량을 정량화하여 방사성물

질의 해양확산을 평가할 수 있다.

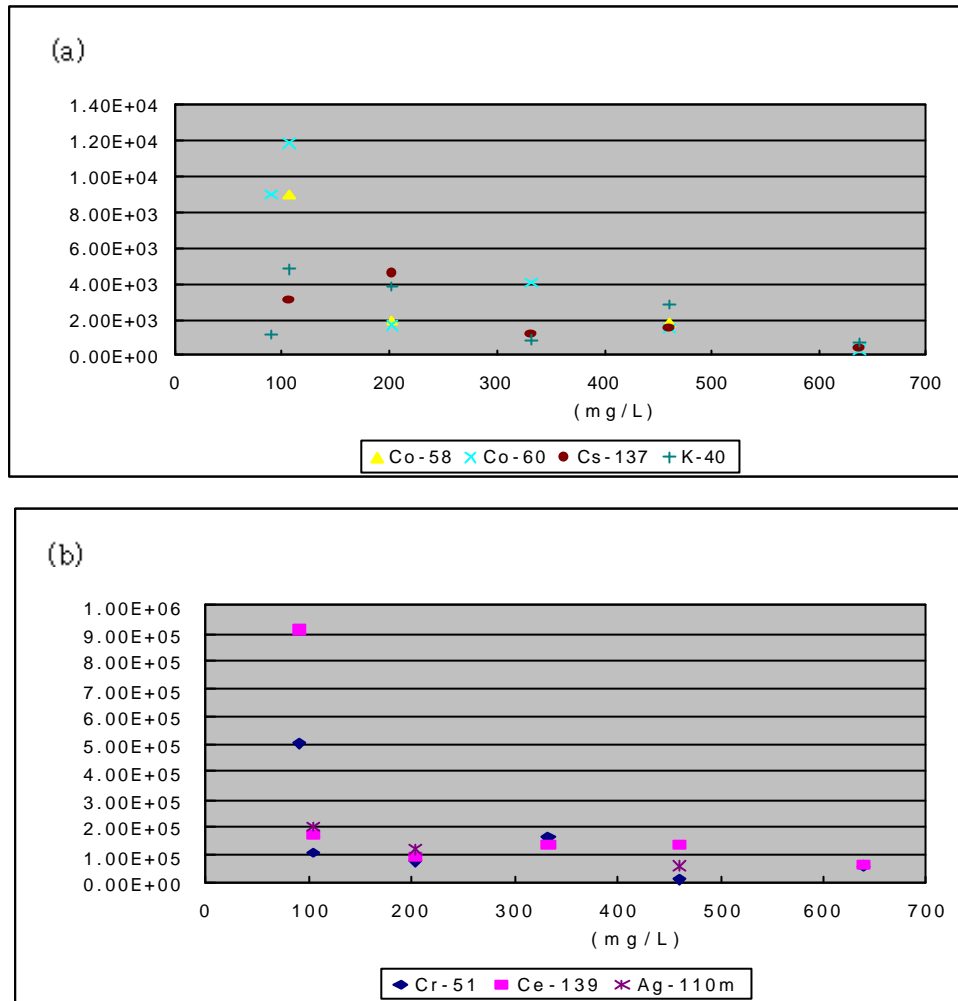


그림10 .부유물 농도 별 분배계수(a: Co-58,Co-60,Cs-137,K-40),( b: Ce-139,Ag-110m,Cr-59)

실험을 통해 분배계수 값을 평가한 결과에 의하면 부유물 농도와 입도에 의해 변화가 나타나며, 각 방사성물질 별로도 상이한 흡착특성에 의해 각각 상이한 분배계수 값을 띄고 있다. 대체적으로 Ce와 Cr의 분배계수가 높게 나타나고 있으며, Ag도 높은 분배계수 값을 갖는다. 반면 Cs는 매우 낮은 값을 가지며, Co는 Ag 보다는 낮으나 Cs 보다는 높은 값을 갖는다. 특기할 사항은 Co의 분배계수가 문헌에 제시된 값보다 비교적 낮게 나타나고 있으나 Co는 유기물 흡착 특성이(약 70%) 뛰어나 유기물에 의한 변동특성이 높게 나타나는 것으로 추정된다. 고리와 월성원전 주변 해역에서 유동 중인 부유물은 입도가 세립질로 26 $\mu$ m 안팎의 입도분포를 보일 것으로 추정된다. 입도분포 26 $\mu$ m에서의 분배계수와 IAEA Safety Series 247의 연안부유물에서 방사성물질의 분배계수 값과 비교하였다<sup>8</sup>. Cs는 실험오차와 해양의 가변성을 고려하면 거의 유사한 흡착특성을 보이고, Cr과 Ce은 고리주변 해역, IAEA 권고치, 월성해역 순으로 높게 나타나고, Co는 고리가 조금 낮은 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 연안역에서는 육상에서 유입되는 강물이나 토사 등의 영향을 많이 받는 곳이고, 유기물의 변동이 심한 곳이기 때문에 유기물 흡착특성이 높은 Co나 Ag 같은 방사성물질은 유기물 량에 의해 변동특성이 높게 나타난다.

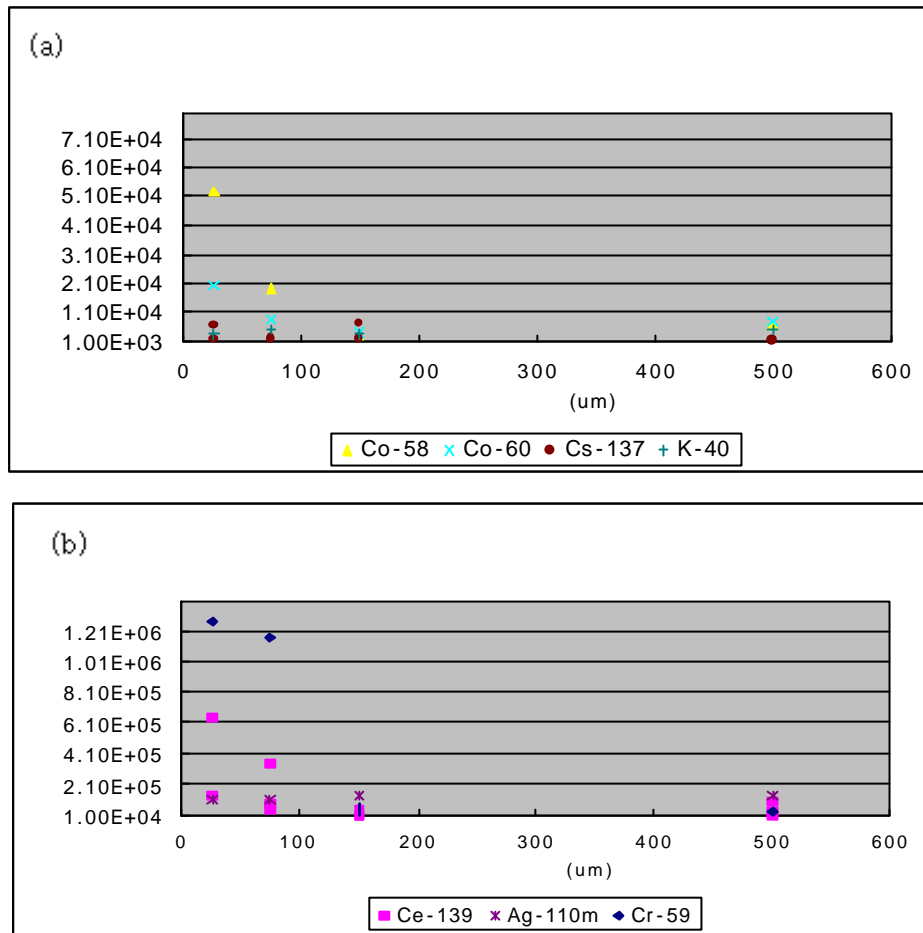


그림 11. 부유물입도별 분배계수(a: Co-58, Co-60, K-40),(b: Ce-139, Ag-110m, Cr-59)

#### 4. 결과 및 토의

이상의 실험결과를 토대로 고리와 월성원전 주변 해역에서 주요 방사성물질의 거동특성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 고리와 월성원전 주변의 부유물과 해저퇴적층의 기질형을 분석한 결과에 의하면 두 해역 모두 부유물의 농도가 매우 낮고, 해저표층의 기질형이 고리는 수백 m, 월성은 약 2km 까지가 자갈 및 암반층으로 연안에서 방사성물질이 흡착에 의한 침전 및 퇴적 현상은 매우 낮을 것으로 추정된다.
2. Ag-110m에 대한 흡착실험 결과 다른 방사성물질에 비해 흡착성이 매우 높게 나타나고 있으며, Ce-139나 Cr-51과 거의 유사한 흡착성능을 보이고 있다. 이는 결국 해수로 배출된 방사성물질은 연안에서 입도가 미세한 부유물에 흡착돼 유동하며, 수계의 교란이 없으면 방사성물질이 해저 표면에 침전될 수 있다. 그러나 해류흐름이 강할 경우는 침전되지 않고 원거리 까지 유동될 수 있다.
3. Co-58과 Co-60 두가지 방사성물질의 흡착결과는 오차 범위 내에서 거의 비슷한 흡착성을 갖는 것으로 나타나고 있어 화학적으로 동일한 거동특성을 갖는 것을 알 수 있다. 그러나 고리주변 해양에서 Co방사성물질은 흡착성이 낮게 나타나고 있으나, 유기물 흡착성이 높기 때문에 유기물의

존재유무에 따라 흡착정도가 차이날 수 있다. 유기물이 낮은 경우는 Co방사성물질은 상당 부분이 유리된 이온 상태로 원거리까지 확산될 수 있다.

4. Cs-137과 Sr-90의 경우 발전소에서 방출은 없지만 과거에 방출된 방사성물질이 해양에 골고루 퍼져 해수, 해저토, 생물 등에 평형을 이루고 있다. 특히 해수에서는 Cs은 95%이상 Sr은 98%이상 이 용해상태로 존재하기 때문에 해수 분석시 부유물과 유기물은 여과하여 걸러내고 해수에 있는 방사성물질의 농도를 분석하면 일관성있는 자료를 구할 수 있다.

5. H-3는 해수에서 HTO(H<sub>2</sub>O의 H가 H-3로 치환된 형태)로 존재하기 때문에 해수와 유동을 함께 하고 이동특성이 매우 높고 금방 희석된다. 부유물이나 퇴적물에는 거의 존재하지 않으며, 해수에서는 이동 희석정도가 높기 때문에 원거리까지 이동하고 방사성물질 검출시에는 배수구나 원거리에서나 농도는 거의 비슷한 수준으로 존재한다.

그러나 연안역에서는 화학적으로 다양하게 변하기 때문에 방사성물질의 흡착성은 일정하다고 볼 수 없다. 따라서 향후 방사성물질의 흡착성 실험결과를 해역별로 많이 확보하고, 부유물과 유기물에 대한 성분을 분석하고 정량화하면 더욱 체계적인 거동해석을 할 수 있을 것이다.

표 2. IAEA Safety Series 247제시분배계수와 실험결과 비교

방사성물질	IAEA <sup>a</sup>		실험결과	
	IAEA-TECDOC	연안 부유물	고리	월성
Sr	5E2	1E3		
Cs	1E2	3E3	2.50E3	6.58E3
Cr	1E4	2E5	1.91E6	3.55E4
Ce	1E4	2E6	2.06E5	6.42E5
Co	1E4	2E5	7.17E2	3.65E4
Ag	1E4	1E3		1.12E5

## 참고문헌

1. 서촌추길 외, 해양화학, 대한교과서 (주), 1984.
2. 전력연구원, 원자력발전소 주변 일반환경조사 및 평가보고서, TR.C97TS01.98.52, 1998
3. 전력연구원, 원자력발전소 주변 일반환경조사 및 평가보고서, TR.C97TS01.97.56, 1997
4. 한국전력공사, 고리성원전주변 해양방사능 종합조사, 1995
5. 한국전력공사, 월성원전주변 해양방사능 종합조사, 1995
6. 김대철, 김정무, 고리부근 현탁물 중 점토광물 분포에 관한 연구, 한수산지 23, 145~154, 1990
8. Onishi, Y. et.al., Critical review Radionuclide Transport, Sediment Transport, and Water Quality Mathematical Modelling; and Radionuclide Adsorption/Desorption Mechanism, 1982
9. Sediment Kds and concentration factors for radionuclides in thw marine environment, IAEA tech. report No.247, 1985
10. National Academy of Sciences, Radioactivity in the Marine Environment, 1971
11. P. Mcdonald, et. al., The distribution coefficient of <sup>60</sup>Co in sediments from the Solway Firth, UK, 1997