

영광 원자력발전소 주변해역 표층퇴적물의 입도와 원소분포 특성

은고요나* · 김경웅* · 김주용* · 김인수* · 차종문* · 김동주** · 김기남***

Characteristics of Particle Size and Element Distribution in the Coastal Bottom Sediments in the Vicinity of Youngkwang Nuclear Power Plant

Go-Yeo-Na Eun*, Kyoung-Woong Kim*, Ju-Yong Kim*, In S. Kim*,
Jong-Mun Cha*, Dong-Ju Kim** and Ki-Nam Kim***

ABSTRACT : In order to investigate physical characteristics and element concentrations of sediments, coastal bottom sediments were collected at 20 stations in the vicinity of Youngkwang Nuclear Power Plant. After air drying of samples in the laboratory, particle size distribution was examined by Master sizer (X-350F), radioactivity by HPGe γ -spectrophotometer, and element concentrations by ICP-AES and AAS. According to particle size analysis, sediments are mainly composed of silt fraction with 23% of sand, 65% of silt and 12% of clay on average. Most sediments are derived from muddy environment that silt dominates with the characteristic of 5.3Φ mean particle size, poorly sorted, very fine skewed and leptokurtic. Only two sediments are well sorted with sandy silt owing to wind, wave winnowing action, tide and current and its complex reactions. Element concentrations in the coastal bottom sediments are relatively high at finer sediment and show significant relationship with grain size. Index of geoaccumulation by heavy metals at every sampling station is classified as practically unpolluted. The radioactivities of the sediments were measured for 15 isotope elements, and 2 elements of K-40 and Cs-137 were detected in most sediments. The K-40 is the natural nuclide and the artificial nuclide of Cs-137 was thought to be derived from the fallout of past nuclear weapon test. The result of correlation coefficient between grain size and radioactivity shows that the activity of Cs-137 significantly increases in finer grain.

서 론

산업화 이후, 석유와 석탄 등 화석연료의 지속적인 사용은 화석에너지자원의 고갈을 예견하며, 이들의 사용으로 인해 야기될 수 있는 지구온난화 등 환경문제 또한 국제적인 관심사항으로 대두되어 많은 국가들은 화석에너지의 대체에너지원으로 방사능물질을 이용한 원자력발전소를 건설하여 운영하고 있다. 하지만 미국

의 TMI와 구소련의 체르노빌 원전사고를 고려할 때 방사능물질의 누출은 인간을 포함한 모든 생물체에 매우 위협적인 요소가 될 수 있다는 커다란 교훈을 얻었다. 따라서 원자력발전소의 운영에 있어서 안정성 확보는 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 원전주변에 대한 체계적이고 철저한 과학적인 조사 및 연구가 필수적이다. 또한 방사능에 대한 직·간접적인 피해와 두려움으로 인해 원전측과 원전주변에 거주하는 주민사이에는 마찰이 야기되고 있으며 상호문제들이 상존되고 있어 사회적인 물의를 야기하곤 한다. 따라서 본 연구에서는 원전주변해역의 보다 정확하고 과학적인 자료를 얻고자 영광원자력발전소가 위치하고 있는 주변 해역에 해저 표층퇴적물의 특성과 더불어 퇴적물에 포함되어 있는 방사능 조사가 수행되었다.

연안의 해저표층퇴적물은 해안형태, 연안을 따라 흐

* 광주과학기술원 에너지환경연구센터 (Energy and Environment Research Center, Kwangju Institute of Science and Technology, Kwangju 500-712, Korea), E-mail: kwkim@kjist.ac.kr

** 광주·전남발전 연구원 (Kwangju-Chonnam Development Institute, Kwangju 502-202, Korea)

*** 한국전력공사 환경입지처 (Korea Electric Power Corporation, Seoul 135-791, Korea)

르는 연안류, 해저지형, 조류 등 다양한 해양학적인 요인 혹은 이들의 상호작용에 의해 퇴적물의 특성인 퇴적물 입도와 퇴적상 등이 결정된다. 연안의 해저표층 퇴적물 입도에 관한 연구는 Seymour (1989), Komar (1976), McCave (1978) 그리고 Kim and Eun (1997) 등 많은 전문가에 의해 이루어져 왔다. 이들 결과에 따르면 해안의 퇴적물 입도는 해안 파랑에너지의 변화, 세립과 조립질 퇴적물의 이동 특성, 바람이나 파도에 의한 거름작용 (winnowing action), 파랑의 서로 다른 방향의 상호작용, 퇴적물의 근원지 존재 유무에 따라 지배되고 있다.

영광원자력발전소가 위치하고 있는 지역의 자연지리적인 특성은 남해안보다 큰 조석간만의 차와 단조로운 해안선, 크고 작은 연안도서로 둘러싸여 있는 거의 폐쇄적인 서남연안에 비해 연안도서의 수가 적어 서해와 곧바로 연결되어 있다. 이러한 특성차이와 연안의 다양한 해양학적인 작용으로 인해 결과적으로 서남해안에 광활한 니질성 (muddy) 갯벌과 원전부근 해안의 사질성 (sandy) 갯벌을 형성시켰다. 지역적인 해황과 자연지리적인 특성은 조직매개변수 (Textural Parameters)인 평균입도 (Mean size), 분급도 (Sorting), 왜도 (Skewness), 첨도 (Kurtosis) 등 퇴적물의 물리적인

특성에 영향을 미친다 (Komar, 1976; McCave, 1978; Uchupi *et al*, 1996). 또한 해저 표층퇴적물에 중금속 함량은 중금속의 특성상 사질 혹은 실트성의 퇴적물보다는 점토질이 많은 퇴적물에서 보다 높은 일반적인 경향을 가지고 있기 때문에 퇴적물 입도와 중금속: 근원지의 존재 유·무는 중금속 함량과 직접적으로 밀접한 관련성을 가지고 있다. 특히 퇴적물특성 연구는: 최근 오염의 진행과정과 현상을 정확히 파악하고 진단하기 위해 물이나 생물체의 연구보다 더 오랜 시간을 대표 할 수 있는 퇴적물의 기록이 유용하다는 점에서 중요한 의미를 갖는다 (GESAMP, 1987). 해저 표층퇴적물의 조사 및 연구는 해수에 비해 중금속 함량이 높고 그 변화가 적어 과거 또는 현재에 오염원이 존재하는 해역에서 중금속 함량분포에 대한 보다 지속적인 환경영향을 평가 할 수 있다는 측면에서 보다 적절한 지구 화학적 매개체이다. 따라서 오염물질의 흔적이 집적되어진 퇴적물연구는 해양오염을 총체적으로 파악하기 위해 필수적인 부분으로 인식되어 선진국중심으로 오래 전부터 퇴적물에 대한 조사 및 연구가 활발히 진행되어 오고 있다 (Salmons and Eysink, 1981; Calmano and Forstner, 1996).

본 연구의 목적은 국내 · 외적으로 큰 관심을 모으

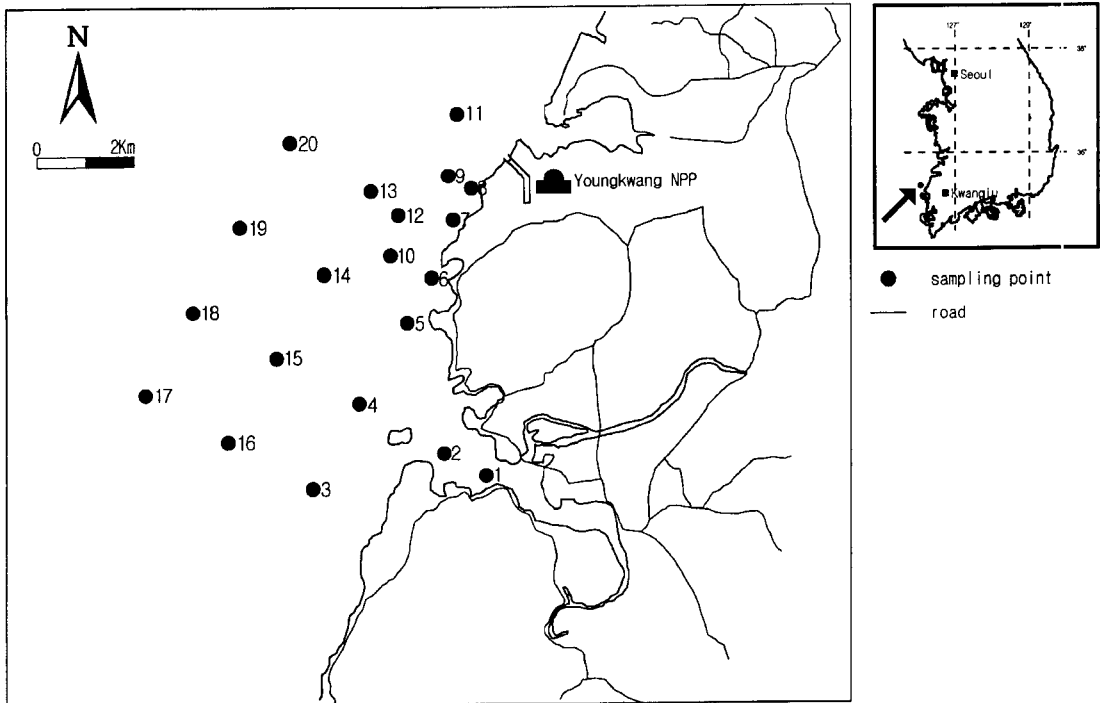


Fig. 1. Sampling locations of bottom sediments in the vicinity of Youngkwang, Korea.

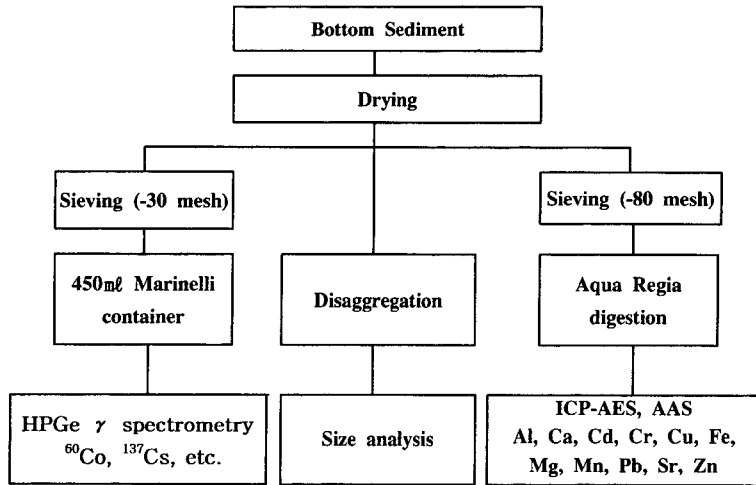


Fig. 2. Experimental procedure for sample preparation and chemical analysis of bottom sediment samples.

고 있는 영광 원자력발전소가 위치하고 있는 인근해역의 1) 해저 표층퇴적물의 특성연구, 2) 퇴적물의 중금속 분석을 통한 오염지수 평가, 3) 퇴적물 내에 존재하는 방사능원소의 분포와 특성에 대한 조사이다. 특히 원자력발전소가 위치하고 있는 특정환경을 고려하여 해저 표층퇴적물 특성, 퇴적물의 중금속 분석, 그리고 방사능 물질의 분석을 토대로 주변 해황과 종합적으로 비교·분석함으로써, 원전 가동이 발전소 주변 연안환경에 미치는 영향이 보다 과학적으로 조사되어질 수 있을 것이다.

시료 채취 및 분석 방법

영광 원자력발전소는 한반도의 서남 해안의 전남 영광군 홍농읍 계마리에 위치하고 있다. 퇴적물 시료는 1999년 1월 위도 126.25°~126.20°, 경도 35.21°~35.25° 사이의 총 20개 지점에서 Smith-McIntyre grab을 이용하여 약 1 kg씩 채취하였다 (Fig. 1). 시료 채취 위치는 발전소로부터의 거리에 따라 발전소 주변 반경 1 km내 5지점, 1~2 km에서 4지점, 2 km 이상에서 11지점으로 구분된다. 채취된 시료는 실험실로 옮겨와 55°C 오븐에서 건조시킨 후 입도 분석, 원소 분석, 그리고 γ -분석을 위해 분류하였다.

방사능 측정을 위해 직경 1 mm 이하의 퇴적물 시료를 450 ml Marinelli beaker에 충전될 때까지 넣은 후 중량을 측정하고 고순도 게르마늄 (γ -HPGe) 검출기 (Oxford CPVDS 30-30185-D)를 이용한 분광시스

템으로 분석하였으며, 핵종 분석은 상대 검출 효율이 45%인 HPGe Gamma-ray spectroscope와 분석용 프로그램 Interwinner (EURISYS MEASURES)를 이용하였다. 스펙트럼은 16384채널로 최대 감마선 에너지를 2MeV까지로 측정시간은 80,000초였으며 검출 핵종은 인공 핵종 및 자연 핵종을 계속하였다 (Fig. 2).

입도 분석을 위한 시료는 10% H_2O_2 와 0.1N HCl을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 제거한 후 습식체질에 의하여 조립질 (62.5 μ m이상)과 세립질 (62.5 μ m이하)로 분리하였다. 조립질은 건조 후 진탕기로 15분간 체질하여 입도별 무게를 산출하였고, 세립질은 침전시킨 후 마그네틱 자동교반기에 의해 대표성을 띌 수 있도록 교란시켜 적당량 (5 g이하)을 취하여 입도 분석기 (Master-size: X-350F)를 사용하였다. 1 Φ 간격으로 선별된 시료들은 각 시료마다 중량비로 환산하여 Folk (1968)와 McBride (1971)의 방법에 따라 통계처리 및 누적분포 곡선을 그린 후 Folk and Ward (1957)의 방식을 이용하여 조직매개변수를 산출하였다.

원소 함량 분석을 위한 시료는 건조 후 막자와 유발을 사용하여 분리시킨 후 -80 mesh의 입도로 체질하였다. -80 mesh 입도의 시료 2 g에 왕수를 넣어 분해시킨 후 70°C에서 1시간 동안 가열하였으며, 탈이온수를 가한 최종 용액에 대해 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Thermo Jarrell Ash Co. IRIS/AP)로 Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Sr, Cr, Cu, Pb, Zn의 함량을 측정하였고, AAS (Atomic Absorption Spectrometer)를 이용하여 Cd의 함량을 측정하였다 (Fig. 2).

결과 및 고찰

표층퇴적물의 입도분석 결과

원자력발전소 주변해역의 20개 지점에서 채취한 표층퇴적물의 입도분석 결과에 따르면 퇴적물의 모래, 실트, 그리고 점토성분 평균 함량은 각각 23%, 65%, 12%이다. 전체적으로 평균입도 (mean size)는 5.3 Φ 로서 실트이고, 평균분급도 (mean sorting)는 1.48, 평균왜도 (mean skewness)는 0.32, 그리고 평균첨도 (mean kurtosis)는 1.22로 poorly sorted, very fine skewed, leptokurtic 환경이다 (Table 1). 그러나, 정점 1은 모래 83.1%와 실트 16.9%, 정점 7은 모래 97.8%와 실트 2.2%로 구성되어 있고, 평균입도는 각각 3.0과 2.9로서 세립질 모래이며, 분급이 상대적으로 양호하고 점토질이 없는 모래가 현저하게 많은 환경이다. 나머지 정점들은 모래 3.2%~37.3%, 실트 56.9%~82.3, 점토 5.1%~27.1%로 함량이 다소 차이는 있지만 다양한 입도를 고루 포함하고 있다. 평균입도는 4.5 Φ ~7.2 Φ 로 coarse silt, medium silt, very fine silt에 해당된다. 분급도에 영향을 미칠 수 있는 연구해역의 수심은 1~11 m로 평균수심은 7.2 m이며, 조

석은 반일주조가 우세하고 평균조차는 397 cm이다 (국립지리원, 1983). 해저퇴적물의 온도는 4.0~8.0°C이며, 평균온도는 5.4°C이다. 수리 물리학적 특성인 수온, 염분, 조류, 해류파도 등의 상호작용으로 인한 입자 크기의 형태를 보여주는 분급도의 영향을 고려할 때 (Folk, 1968), 이들 정점의 평균분급도는 매우 불량한 상태를 보여주나 조립질인 정점에서는 상대적으로 양호한 분급도를 보여준다. 왜도는 입자의 누적분포곡선이 대칭으로부터 만곡된 정도를 말하며 입자가 큰 쪽으로 만곡하면 positive skewness, 작은 쪽으로 만곡하면 negative skewness라고 규정지음으로써 환경이 에너지와 관련이 있음을 보여준다. 이 정점들의 평균왜도는 very fine skewness로서 negative 양상을 나타내며, 이는 연구지역이 저에너지 연안환경 상태를 보여준다. 첨도는 한 곡선에서 중앙부에 비교한 가장자리 부분의 상대적 길이에 민감한 매개변수로서 본 연구지역의 평균첨도는 정상부분보다 더 높은 leptokurtic에 해당된다. 퇴적상에 따른 퇴적환경은 Folk (1954)의 삼각 다이어그램 분포에 의하면 sand가 1개, silty sand가 1개, sandy silt가 13개, silt가 3개, mud가 2개로서 총 5개의 다양한 퇴적상을 보여준다. 이 중 대부분이 sandy silt에 해당된다 (Fig. 3).

Table 1. Textural parameter and particle size distribution of bottom sediments in the Youngkwang area, Korea.

Station No.	Depth (m)	Temp. (°C)	Mz	So	Sk	Kg	sediment type	particle size distribution (%)		
								sand	silt	clay
1	1.0	5.2	3.0	0.93	0.33	1.02	fine sand	83.1	16.9	0.0
2	3.0	5.8	7.2	2.11	-0.04	1.02	very fine silt	9.9	56.9	33.2
3	5.0	5.9	7.2	2.08	0.11	0.84	very fine silt	2.3	61.2	36.5
4	5.8	5.2	4.8	1.50	0.44	1.77	coarse silt	27.0	64.7	8.3
5	6.1	6.2	5.1	1.55	0.53	1.48	medium silt	17.4	71.3	11.3
6	8.5	6.5	5.2	1.28	0.41	1.50	medium silt	10.9	82.3	6.8
7	6.8	8.0	2.9	0.47	0.11	1.09	fine sand	97.8	2.2	0.0
8	8.9	5.8	5.1	1.59	0.35	1.35	medium silt	23.8	68.7	7.5
9	9.0	5.8	4.9	1.00	0.37	1.35	coarse silt	13.9	79.0	7.1
10	8.1	4.8	5.7	1.88	0.28	1.01	medium silt	15.5	71.0	13.5
11	8.5	5.8	6.0	1.92	0.39	0.96	medium silt	10.3	72.0	17.7
12	7.5	4.8	5.6	1.52	0.32	1.13	medium silt	11.8	78.0	10.2
13	9.0	5.0	4.9	1.02	0.37	1.63	coarse silt	8.7	85.8	5.5
14	7.8	4.0	4.8	1.03	0.41	1.36	coarse silt	17.8	77.1	5.1
15	6.7	4.9	6.8	1.84	0.19	0.72	fine silt	3.2	69.8	27.0
16	6.1	5.2	6.0	1.69	0.31	0.94	medium silt	9.2	76.1	14.7
17	8.6	5.0	5.3	1.88	0.37	1.07	medium silt	24.7	64.1	11.2
18	7.4	4.0	4.5	1.28	0.32	1.51	coarse silt	37.3	57.5	5.2
19	9.5	5.6	5.2	1.59	0.27	1.29	medium silt	19.1	72.6	8.3
20	11.0	5.2	5.1	1.38	0.46	1.24	medium silt	18.0	73.6	8.4

Mz : Mean Φ , So : Sorting, Sk : Skewness, Kg : Kurtosis

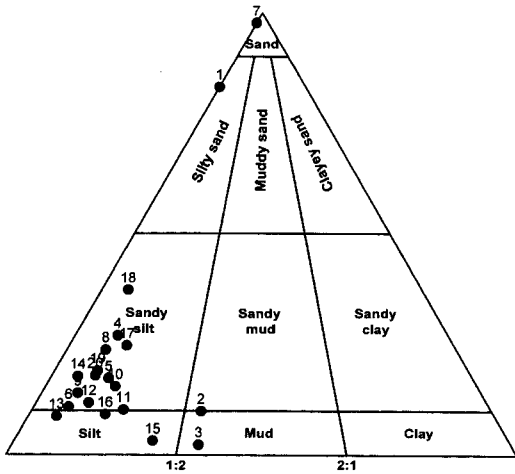


Fig. 3. Three sediment nomenclature schemes for sand-silt-clay mixtures (Folk, 1954).

황해의 표층퇴적물은 전반적으로 세립질이 우세하지만 조립질 사질퇴적물은 황해의 동부해역에 집중적으로 분포하고 있다 (Lee *et al.*, 1988). 이는 겨울동안 강한 북서계절풍의 영향과 조류에너지가 황해의 동부에서 강하게 작용하는 것을 고려할 때 파랑과 조류에 의한 영향이 큰 것으로 보여진다 (이창복 등, 1992). 또한 Wells (1988)의 연구 결과에 따르면 초겨울 동안 북서계절풍의 영향에 의해 형성되는 연안 수괴는 한반도 서남해안을 따라 발달하여 남해로 유입되고 있다. 이외에 연안의 퇴적물에 관한 기존의 많은 연구에 의하면 해안을 따라 형성된 퇴적물의 입도 구성은 해안에 파랑에너지의 변화, 세립과 조립질 퇴적물의 이동 특성, 바람이나 파도에 의한 거름작용 (winnowing action), 파랑의 서로 다른 방향의 상호작용, 퇴적물의 근원지 존재 유무에 따라 지배되고 있다. 연구해역에서 채취된 20개 시료의 퇴적물 입도는 정점 1과 7에서 점토가 전혀 포함되어 있지 않고 약간의 실트 (각각 16.9%와 2.2%)가 포함되어 평균입도가 각각 3.0Φ와 2.9Φ로 퇴적상은 세립질 모래 (fine sand)이다. 반면 나머지 정점들은 실트가 상대적으로 가장 많으며 (85.8%~56.9%), 점토는 5.1%~36.5%, 그리고 모래는 2.3%~37.3%로 점토와 모래성분은 정점에 따라 구성비가 다르게 나타나며 평균입도는 7.2Φ~4.5Φ이고 퇴적상은 very fine silt~coarse silt이다. 따라서 연구해역의 정점별 퇴적물 구성비의 가장 현저한 차이는 세립사질이 9.9%와 2.3%, 점토가 56.9%와 61.2%, 그리고 점토가 33.2%와 36.5%를 각각 차지하고 있는 정점 2와 3, 그리고 점토를 포함하고 있지 않은 정점 1

과 7이며 나머지 정점들은 약간의 수리학적인 에너지 변동은 보여주고 있지만 주변의 조류와 파랑 및 지형과 수심 등 자연적인 해황이 거의 비슷하다고 볼 수 있다. 점토를 포함하고 있지 않고 거의 모래로 구성된 정점 1은 퇴적물의 입도별 구성비와 주변의 자연환경을 고려할 때 해안으로 유입되고 있는 와탄천 수로지점이며, 해안과 가장 가깝게 인접하여 있는 정점 7은 주변의 정점 6, 8, 10, 12 모두 실트가 가장 많은 medium silt인데도 거의 사질로 구성되어 있다는 사실을 고려할 때 조류수로일 가능성이 높다. 정점 2는 수로를 벗어난 육지부근으로 세립질 퇴적물이 집적되는 해역이며, 정점 3은 연구지역의 가장 하부에 위치하고 있어 상부와의 해황차이로 여겨진다. 즉 하부해역의 퇴적물 입도는 상부해역보다 세립질 퇴적물이 형성되어 있다. 연안의 해저퇴적물은 거의 대부분 해안형태, 해저지형, 파랑, 조류 혹은 이들의 복합적인 상호작용의 결과로 특정 지워지기 때문에 퇴적물 입도의 전체적인 경향은 해안에서 수심이 깊은 외해쪽으로 멀어질수록 감소하고 있는데 이것은 해안지역으로 접근할수록 에너지가 증가하고 있음을 암시하지만 연구해역에서 이러한 경향은 나타나지 않고 지역특성인 수로와 하천의 존재 유무가 퇴적물 입도에 보다 큰 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다.

표층퇴적물내 중금속 함량 및 분포특성과 축적지수

각 정점별 주요 원소 및 중금속 원소들의 함량 분포를 입도분포와 함께 Fig. 4에 나타내었다. 정점별 원소의 함량 분포는 fine sand로 구성된 조립질인 정점 7에서 가장 낮게 나타나고 very fine silt인 정점 2에서 대부분 원소들의 함량이 높게 나타난다. 그러나 정점 2와 입자 크기가 거의 유사한 정점 3에서 원소들의 함량이 정점 2에 비해 다소 낮게 나타나고 있는데 이러한 원인은 정점 2가 내해 쪽에 위치하여 인근 주변의 영향을 많이 받은 것으로 생각된다. Cu는 배수구 아래 지점인 정점 9에서 높게 나타나고 Pb는 다른 금속들이 낮은 값을 보이고 있는 16 정점에서 유독 높은 값을 보여준다. Cu, Pb와 Zn등 중금속의 공간적 분포형태는 Fig. 4에 나타내어진 바와 같이 입도 분포와 거의 일치하는 경향을 보여주고 있다.

퇴적물내의 중금속 함량은 일반적으로 입도에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 (Förstner and Wittman, 1981; Salomons and Förstner, 1984) 이러한 현상은 국내의 여러 연구에서도 보고되었다 (조영

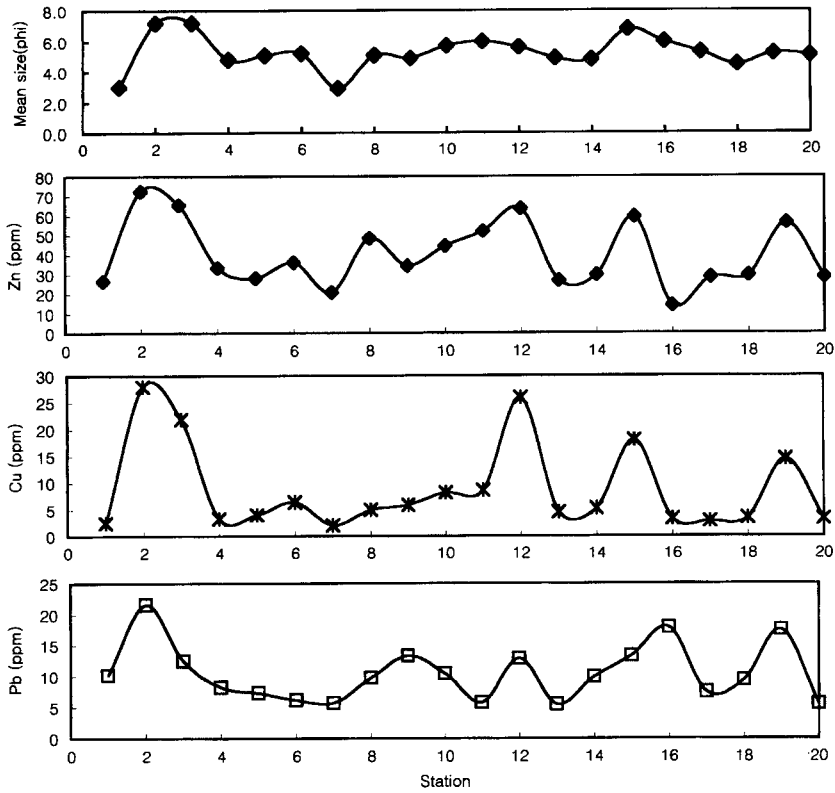


Fig. 4. Relationship between mean size and heavy metal concentrations of bottom sediments in the Youngkwang area.

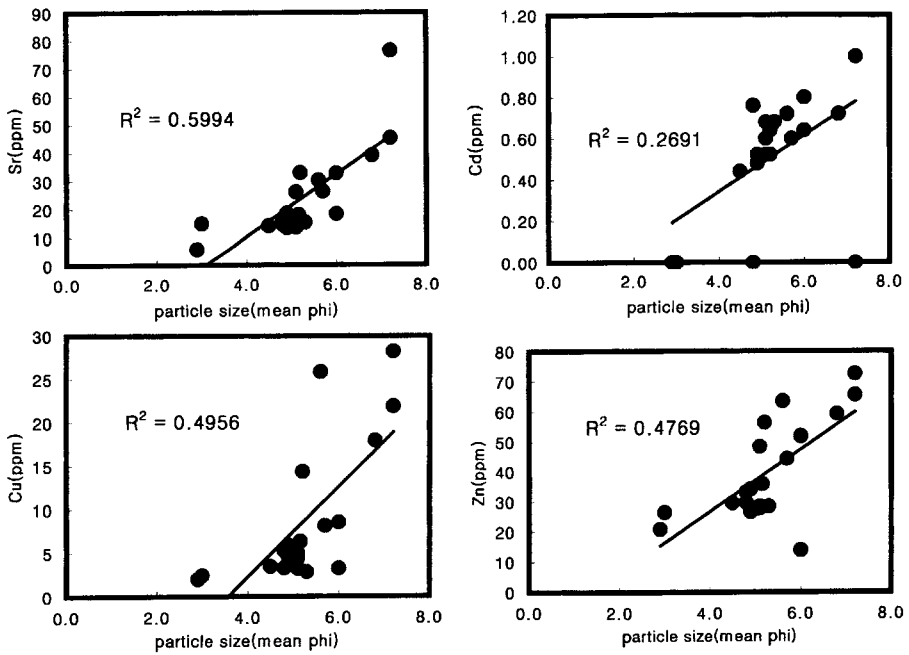


Fig. 5. Relationship between mean phi and element concentrations in the sediments.

길 등, 1994; 최만식 등, 1996). 본 연구 지역에서도 중금속 함량과 평균 입도의 상관관계를 체계적으로 분석하기 위해 상호 관련성 도스와 더불어 상관관계도 R²를 구하였다 (Fig. 5). 그림에 나타나 바와 같이 Sr 이 상관계수 0.5994로 가장 큰 값을 가져 평균 입도 조성과 가장 좋은 관련성을 보여주고 있으며, Cu 및 Zn은 0.5에 가까운 상관계수 값을 나타내 비교적 양호한 관련성을 보여준다. Cd의 경우 분포 패턴에서 벗어난 평균 입도 2.0 부근의 점을 제외하면 상관계수 0.5637로 평균 입도와 좋은 관련성을 보여주고 있다.

Persaud 등 (1989)은 수서 생물에 악영향을 미칠 수 있는 퇴적물 내 중금속 허용 한계값으로 Fe 4%, Mn 1,110 mg/kg, Cu 114 mg/kg, Pb 250 mg/kg, Zn 400 mg/kg, Cd 10 mg/kg을 제시한 바 있으며, Förstner와 Wittman (1988)은 자연적인 퇴적물에서의 중금속 함량으로 Fe 4.3% Mn 760 mg/kg, Cu 45 mg/kg, Pb 34 mg/kg, Zn 75 mg/kg, Cd 0.4 mg/kg을 제시하였다. 본 연구에서는 원전의 영향으로 인한 퇴적물의 중금속 오염 여부를 평가하기 위해 상기의 자료들과 비교하기보다는 퇴적물에서의 중금속 “축적지수 (Index of Geoaccumulation, I_{geo})”를 계산하였다. 축적지수의 계산은 다음과 같다 (Müller, 1979).

$$I_{geo} = \text{Log}_2 C_n / (1.5 \times B_n)$$

여기서 C_n은 측정된 원소 n의 함량이며, B_n은 퇴적물에서의 각 원소의 배경값, 즉 자연상태의 퇴적물내의 함량 (Fe 17,000; Mn 300; Cu 25; Pb 90; Zn 90; Cd 2; Ni 20; Cr 25; Co 20 (mg/kg))을 의미한다. 1.5는 배경값에 대해 지질학적 영향을 고려한 변수이다. 축적지수의 값이 갖는 의미를 설명하기 위해 축적지수를 ‘IAWR (International Association of Waterworks in the Rhine Catchment) Water Quality Index’ (Baudo *et al.*, 1990)와 비교해 보면, 축적지수가 0 이하이면 ‘practically unpolluted’, 0~1 이면 ‘unpolluted to moderate pollution’, 1~2이면 ‘moderately polluted’ 수준이며 오염강도가 심해지면 축적지수 값이 커진다.

본 연구 지역의 퇴적물시료에 대한 축적지수 계산 결과를 Table 2에 제시하였다. 중금속 원소들의 축적지수는 대부분 시료에서 0 이하의 값을 보여 ‘Practically unpolluted’로서 원전에 의한 중금속오염 영향이 없는 것을 알 수 있다. 다만 Mn의 경우 0.06~1.03 범위가 여섯 정점에서 나와 ‘unpolluted to moderate pollution’에 해당되는 양상을 보여주고 있어 이에 대한 좀 더 자세한 연구가 필요하다.

해저퇴적물의 방사능

방사능 (radioactivity)이란 방사성 동위원소의 원자

Table 2. Index of geoaccumulation of bottom sediments in the Youngkwang area.

Station No.	Fe	Mn	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd
1	-0.84	-0.21	-2.21	-2.73	-2.58	-1.63	-1.92
2	-0.67	1.03	-1.31	-0.28	-1.84	-0.62	-1.27
3	-1.14	-0.73	-0.87	-0.54	-2.38	-0.72	-1.48
4	-1.02	-0.39	-2.14	-2.43	-2.79	-1.40	-1.92
5	-1.07	-0.53	-1.83	-2.14	-2.92	-1.58	-1.75
6	-0.87	-0.40	-1.67	-1.77	-3.09	-1.32	-1.75
7	-1.00	-1.07	-2.03	-2.93	-3.16	-1.87	-1.92
8	-0.83	0.27	-1.31	-2.01	-2.63	-1.03	-1.61
9	-0.88	-0.28	-1.63	-1.86	-2.31	-1.37	-1.75
10	-0.80	0.06	-1.16	-1.52	-2.56	-1.11	-1.61
11	-0.85	-0.17	-2.42	-1.47	-3.14	-0.95	-1.32
12	-0.77	0.38	-0.95	-0.37	-2.35	-0.75	-1.43
13	-1.06	-0.51	-2.09	-2.11	-3.20	-1.62	-1.83
14	-0.80	-0.33	-1.94	-1.96	-2.61	-1.51	-1.37
15	-0.76	0.35	-1.02	-0.73	-2.31	-0.82	-1.43
16	-0.80	-0.03	-0.75	-2.44	-2.02	-2.26	-1.54
17	-0.98	-0.36	-2.13	-2.58	-2.89	-1.55	-1.48
18	-1.01	-0.42	-2.11	-2.38	-2.66	-1.52	-1.92
19	-0.75	0.27	-1.09	-0.96	-2.04	-0.87	-1.54
20	-1.17	-0.73	-1.53	-2.44	-3.19	-1.55	-1.54

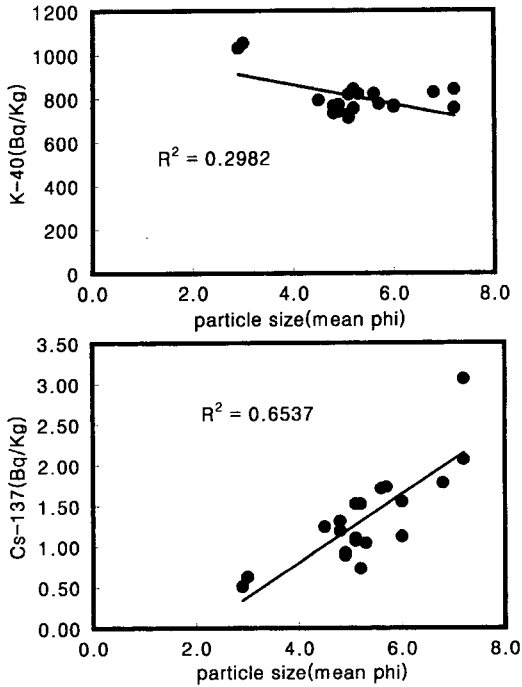


Fig. 6. Relationship between mean phi and radioactivities of K-40 & Cs-137 in the sediments.

가 붕괴하는 과정에서 원자 또는 원자핵으로부터 방출되는 고에너지의 입자 (particle) 또는 광자 (photon)로서 Ci (큐리)와 Bq (벵퀸) 단위로 나타내어진다. 본 연구에서는 영광 원자력발전소 주변 배수구를 중심으로 해양 환경의 방사능 측정을 시도하였다. 해저토의 비 방사능은 해저토 표면으로부터 5 cm의 해저토 1 kg당의 방사능 (Bq/Kg-dry), 표면 방사능 오염도는 해저면적 1 m³ 당의 방사능으로 나타낸다 (광주과학기술원, 1998).

20개의 정점에서 자연핵종인 K-40이 709~1053 Bq/Kg (평균 804 Bq/Kg)으로 검출되었으며, 인공핵종인 Cs-137이 0.51~3.06 Bq/Kg (평균 1.33 Bq/Kg)으로서 검출되었다. Cs-137의 방사능이 원자력 발전소와 관계없는 비교 지역 시료의 Cs-137 (0.50~3.10 Bq/Kg)의 범위에 속하고, 또 현재까지 발표되어진 여러 논문에서와 같이 과거 미국, 소련, 중국 등에서 수행한 대기권 핵실험에 의한 영향이라 판단된다. 천연핵종인 K-40과 인공핵종인 Cs-137을 제외하고는 그 외의 분석대상 원소들이 MDA (minimum detectable activity) 이하를 보여주고 있어 방사능 오염이 진행되어지지 않은 상태라 보여진다. 입도와의 상관 관계는 Fig. 6에서 도시된 바와 같이 자연핵종인 K-40은 상관

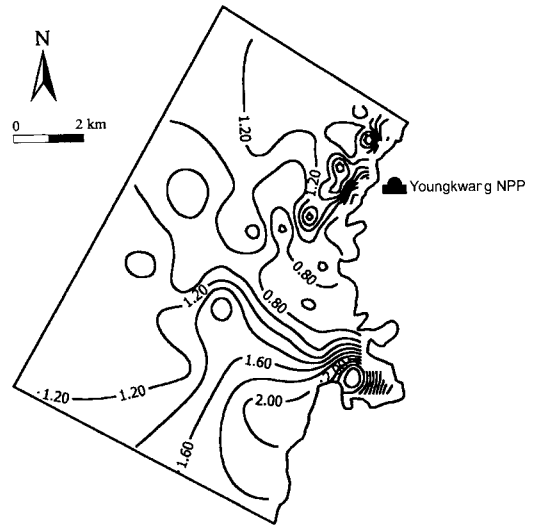


Fig. 7. Contouring map showing the distribution of Cs-137 radioactivity in the sediments.

관계 R²가 0.29로서 입자와는 거의 무관한 듯 보인 반면 인공 핵종인 Cs-137는 R²가 0.65로서 세립질일수록 높은 함량을 갖고 있는 것으로 보아 세립질일수록 입자의 표면적이 크기때문에 흡착율이 좋은 것으로 보여진다. 이는 인공핵종인 Cs-137이 입도 분포와 밀접한 관련이 있다는 연구 결과와 일치하고 있다 (Alexander *et al.*, 1998). 반면에 K-40의 경우 자연핵종으로 퇴적물 내 함량은 Cs-137과는 달리 도체인 근원암에 의해 지배되기 때문에 입도 분포와는 무관한 것으로 판단된다. 인공핵종인 Cs-137 방사능 분포 특성을 동함량곡선으로 도시해 본 결과 세립질인 정점 2에서 가장 높은 값을 보이고 상대적으로 조립질인 1과 7정점에서 낮은 값을 보여주고 있어 외해로 갈수록 세립질 퇴적물이 양호한 흡착율에 기인한 입도의 영향을 지배적으로 받을 뿐 원전의 영향과는 무관한 것으로 생각된다 (Fig. 7).

결론

본 연구는 영광 원자력 발전소 부근의 해저퇴적물을 대상으로 입도분포와 중금속 및 방사능 분포 특성을 조사하기 위해 수행되었다. 해저 퇴적물의 퇴적상을 기초로 입자별 조직매개변수를 산출하였으며 중금속원소들의 분포양상과 오염의 특성을 파악하기 위하여 퇴적물내의 중금속 함량, γ 선 방출 핵종으로 천연핵종인 Be-7, K-40과 인공핵종인 Cr-51, Mn-54, Fe-59, Co-

60, Zn-65, Ag-110 m, Sb-125, Sr-85, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Cs-137, Ba-140, Ce-141, Ce-144 분석 결과에 의한 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 퇴적물을 구성하는 모래, 실트, 점토에 대한 전정점의 평균함량은 각각 23.0%, 65.1%, 12.0%이다. 평균입도는 5.3Φ로서 실트이며, 분급도는 1.48, 왜도는 0.32, 그리고 첨도는 1.22로서 각각 poorly sorted, very fine skewed, leptokurtic에 해당된 실트가 우세한 나질환경이다.

2. 퇴적물 중 중금속의 지역적인 분포 경향은 다소 조립질인 지역에서 낮은 함량을 보여 주고 상대적으로 세립질인 지역에서 대체적으로 높은 함량을 보여준다. 배수구를 중심으로 위쪽 지역에서 다른 지역에 비해 다소 낮은 값을 보이는데 배수구 아래 지점에서 높은 공간적 분포 형태의 특성은 입도의 양상과 금속 분포 형태가 거의 일치하는 경향이며 대부분이 기준치 이하의 값을 보여준다.

3. 본 연구해역의 표층해저퇴적물을 하상 퇴적물에 대한 축적지수로 계산한 결과 중금속 원소들의 축적지수는 대부분 시료에서 0 이하의 값을 보여 "Practically unpolluted"로서 오염되어 있지 않음을 알 수 있다.

4. 방사능 수치는 천연핵종인 K-40과 인공핵종인 Cs-137을 제외하고는 분석대상 원소 모두가 MDA이하를 보여주고 있다. 자연핵종인 K-40의 함량은 퇴적물의 평균입도와 거의 무관한 것으로 나타난 반면에 방사능 낙진에 기인한 인공핵종인 Cs-137은 퇴적물이 세립화 될수록 높은 함량을 보여줌으로써 평균입도와 좋은 상관관계를 보여주고 있는데 이는 조립질 퇴적물보다는 세립질에서 흡착율이 좋은 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 1998년 한국과학재단의 Post-doc. 과제의 일환으로 수행되어진 "영광원자력 발전소 부근의 해저 퇴적물 및 지화학적 연구"로서 이를 지원해 주신 한국과학재단에 감사드리며, 연구 수행동안 물심양면으로 도와 주신 광주과학기술원 환경공학과 교수님들과 대학원생들, 한국전력공사 환경입지처 관계자여러분, 그리고 에너지환경연구센터 연구원들에게도 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

광주과학기술원 에너지 환경연구센터 (1999) 영광 원자력

부지외부 환경방사능 조사 보고서. 91p.
 국립지리원 (1983) 연안해역 기본조사보고서 (법성포역), 60p.
 이창복, 정희수, 정갑식 (1992) 황해 남동해역 표층퇴적물 중 수중 금속원소의 분포 특성에 관한 연구. 한국해양학회지, 27권, p. 57-58.
 조영길, 이창복, 최만식 (1994) 남해 대륙붕 표층 퇴적물 중 중금속 원소의 분포 특성. 한국해양학회지, 29권, p. 338-356.
 최만식, 이석훈, 이창복, 조영길 (1996) 금강 퇴적물 중 미량 금속의 분포 특성. 한국제4기학회지, 10권, p. 27-52.
 Alexander, S., Milko, M., Plamen, M. and Tatiana, S. (1998) Radionuclide Accumulation in Near-shore Sediments along the Bulgarian Black Sea Coast. Appl. Radiat. Isot., v. 49, p. 1721-1728.
 B³Æ÷, R., Giesy, J. P., and Muntau, H. (1990) Sediments: Chemistry and toxicity of In-place pollutants. Lewis Publishers, INC., 405p.
 Calmano, W. and U. Frstner (1996) Sediments and Toxic Substances: Environmental Effects and Ecotoxicity. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 335p.
 Folk, R.L. (1968) Petrology of sedimentary rocks. Hemp-hill's. Austin, Texas. 170p.
 Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos river Bar: a study in the significance grain size parameters. J. Sed. Petrol., v. 27, p. 3-26.
 Frstner, U. and G.T.W. Wittmann (1981) Metal pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 486p.
 Frstner, U. and G.T.W. Wittmann (1988) Metal pollution in the Aquatic Environment (2nd ed.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 644p.
 Gale, S.J. and P.G. Hoare (1991) Quaternary Sediments; Petrographic Methods for the Study of Lithified Rocks. Belhaven Press, 327p.
 GESAMP (1987) Land/sea Boundary Flux of Contaminants from Rivers, Paris: Unesco.
 Kim D.J. and Eun G.Y.N. (1997) A sediment transport of Cape Cod Coast, MA, USA. J. of Korean Env. Sci. Soc., v. 6, p. 589-594.
 Komar, P.D. (1976) Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall Inc., p.35, 1-355.
 Lee, H.J., K.S. Jeong, S.J. Han and K.S. Park (1988) Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southeastern Yellow Sea. Cont.Shelf Res., v. 8, p. 255-266.
 McBride, E.F. (1971) Mathematical treatment of size distribution data. In : Procedures in Sedimentary Petrology, edited by R. E. Carver, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 109-127.
 McCave, I.N. (1978) Grain-Size trends and transport along beaches: Example from eastern England., Marine Geology, v. 28, M43-M51.
 Mller, G. (1979) Schwermetalle in den sedimenten des Rheines-Veränderungen seit 1971, Umschau Wiss Technik 79, p. 778-783.
 Persaud, D., Jaagumagi, R. and Hayton, A. (1989) Development of provincial sediment quality guidelines, Ontario Ministry of the Environment, 364p.
 Salomons, W. and U. Frstner (1984) Metals in the hydro-cycle. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York,

- 349p.
- Salomons, W. and W.D. Eysink (1981) Pathways of mud and particulate trace metals from rivers to the southern North Sea. *Int. Assoc. Sediment Spec.*, v. 5, p. 429-450.
- Seymour, R.J. (1989) *Nearshore Sediment Transport*. Plenum Press, New York, 418p.
- Uchupi, E., Giese, G.S., Aubrey, D.F. and Kim, D. J. (1996) The Late Quarternary Construction of Cape Cod, Massachusetts; A Reconsideration of the W. M. Davis Model. *Geological Society of America Special Paper* 306, 69p.
- Wells, J.T. (1988) Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, v. 83, p.273-284.

2000년 3월 6일 원고접수, 2000년 5월 25일 게재승인.