

## 득량만 표층퇴적물의 지화학적 성분의 분포특성

전상백<sup>1</sup> · 김평중<sup>1</sup> · 김상수<sup>1†</sup> · 주재식<sup>1</sup> · 이용화<sup>1</sup> · 장대수<sup>1</sup> · 이정익<sup>1</sup> · 박승윤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립수산물과학원 남서해수산연구소, <sup>2</sup>국립수산물과학원 서해수산연구소

## Characteristics of Spatial Distribution of Geochemical Components in the Surface Sediments of the Deukryang Bay

Sang-Back Jeon<sup>1</sup>, Pyoung-Joong Kim<sup>1</sup>, Sang-Su Kim<sup>1†</sup>, Jae-Sik Ju<sup>1</sup>, Young-Hwa Lee<sup>1</sup>,  
Dae-Soo Chang<sup>1</sup>, Jung-Uie Lee<sup>1</sup>, and Seoung-Yun Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea

<sup>2</sup>West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon, Korea

Received June 15, 2012/Revised September 28, 2012/Accepted September 30, 2012

We measured various geochemical parameters including texture, chemical oxygen demand (COD), ignition loss (IL), acid volatile sulfide (AVS), nonmetallics, alkali metals, alkaline earth metals, transition elements and heavy metals in order to determine the characteristics of spatial distribution in the surface sediments collected from 19 stations in the Deukryang Bay. It was observed that chemical oxygen demand (COD) and acid volatile sulfide in most stations were below the criteria proposed by Japan Fisheries Resource Conservation Association (JFRCA) to evaluate the pollution status of marine sediment. The pollution level was estimated by Enrichment factor (Ef) and Index of geoaccumulation (Igeo). For elements, the Enrichment factors (Ef) were smaller than 1 except for arsenic (As) which had highest Ef value of 1.72 and the Index of geoaccumulation (Igeo) for non-metallic and metallic elements ranged between 1 and 2, indicating that the pollution levels by these elements were not serious. However, for the sustainability of the Deukryang Bay, continuous monitoring should be necessary for with these harmful elements.

**Key words:** Deukryang Bay, Surface sediment, COD, IL, AVS, Nonmetallics, Alkali and alkaline earth elements, Transition and Heavy metals

### 1. 서 론

득량만은 우리나라 남서 연안에 위치하고 있으며, 고흥반도 서쪽 편인 전라남도 장흥군과 보성군에 인접하고 있다. 득량만의 지형적 특징은 남서-북동 방향 장축의 길이가 약 50 km이고, 동서 방향의 폭은 4.6~11 km로서 만 남쪽의 금당도, 거금도, 소록도 등의 섬들이 만드는 폭 2~5 km의 해역을 통해 외해와 연결된 반폐쇄성 만이다. 평균 수심은 7.5 m로서 만 중앙에 위치한 득량도를 중심으로 서쪽은 해저 경사가 대단히 완만하고, 동쪽은 수심이 깊어 최고 40 m에 달한다.<sup>1)</sup> 득

량만의 입구는 비교적 넓어 외해와 해수의 교환이 활발하고, 육상으로부터 오염물질의 유입이 적어 유용 수산생물인 키조개, 피조개, 새조개 등의 패류 양식장이 많이 분포하고 있는 중요한 어장이다.<sup>2,3)</sup>

이와 같이 득량만의 해양환경 보전 및 지속가능한 이용을 위해서는 현재 득량만의 표층 퇴적물에 대한 구성성분 그리고 오염물질을 포함한 지화학적 분포 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 그러나 청정해역으로 보호되어야 할 득량만의 중요성에도 불구하고 득량만의 표층 퇴적물에 대한 오염 정도의 평가는 그동안 많이 이루어지지 않았다. 본 연구의 목적은 득량만 표층

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail:

퇴적물의 지화학적 특성과 표층 퇴적물의 오염정도를 평가하고 주요원소와 미량원소 및 유기물의 공간적인 오염분포를 규명하여 득량만의 오염현황을 파악하여 이를 바탕으로 향후 득량만 해양환경보전을 위한 올바른 방향을 제시하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

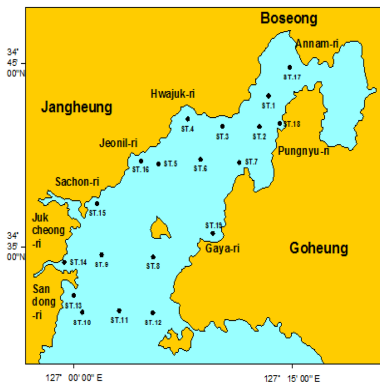
본 연구를 위한 현장 조사 정점을 Fig. 1에 나타내었다. 현장 조사는 2009년 10월에 조간대 7개 정점과 2010년 4월에 조하대 12개 정점에서 수행하였다. 시료 채취 지점은 해양환경측정망과 연안습지 기초조사 과제와 연계하여 설정하였다. 퇴적물 시료는 테프론(Teflon)으로 코팅된 Van Veen grab 샘플러를 사용하여 표층 퇴적물을 채취하였으며, 퇴적물의 교란을 최소화하기 위하여 grab 투하 시 경각을 최소화하여 퇴적물을 채취하였다. 퇴적물의 일반분석을 위하여 상등 0~3 cm 층의 퇴적물을 300 mL polyethylene 병에 담고 스크류형 뚜껑으로 밀봉한 뒤 dry ice를 채운 ice box에 담아 실험실로 옮긴 후 분석 시까지 동결시켰다. 알칼리, 알칼리 토금속 및 금속원소 분석을 위한 시료는 미리 산세척(acid cleaning)한 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 300 ml 병에 시료를 담아 ice box에 넣어 실험실로 옮겨 분석 시까지 동결 보관하였다.

시료 전처리 전까지 -76°C의 초저온 냉동고에 시료를 보관하여 동결건조기의 온도와 일치시킨 후 동결건조기를 사용하여 시료를 건조한 후 막자사발로 시료를 미세하게 갈아 미리 산세척한 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 병에 담아 분석 전까지 시료를 냉장 보관하였다. 각각의 항목을 분석하기 위하여 동결 건조하여 전

처리한 퇴적물을 초단파분해기(Microwave-oven Model, Milestone, Italy)에 0.5 g씩 정확히 달아 Teflon cell에 넣은 후 Ultrapur 진한 질산(HNO<sub>3</sub>) 5 ml, Suprapur 진한 과염소산(HClO<sub>4</sub>) 2.5 ml, Ultrapur 진한 불소산(HF) 5 ml를 더하여 250 watt에서 10분간, 500watt에서 10분간, 750 watt 에서 10분간 산분해하여 실온에서 방냉 시킨 후 미리 산세척한 50 ml Teflon 비커에 옮긴다. 시료가 완전 분해되지 않고 잔사가 남아 위의 조작을 한 번 더 수행하였다. 테프론(Teflon) 코팅된 세라믹 Hot plate 및 석영(Quartz) Hot plate의 온도를 110°C로 맞춘 후 테프론(Teflon) 비커에 담겨진 시료를 완전 건조시킨다. 완전히 건조된 시료에 Ultrapur 진한 질산(HNO<sub>3</sub>) 2 ml를 더하여 다시 완전 건조시킨 다음 위의 과정을 한번 더 수행한 후 따스한 1% 질산용액(50°C 이하)으로 미량금속 원소들을 용출시켜 낸 다음 GF/C 110 mm 여지 혹은 Whatman No. C 110 mm 여지를 사용하여 여과시켜 100 ml로 정용하여 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, PerkinElmer Elan 9000, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석의 정확도와

**Table 1.** Subtidal zone surface sediments analysis results with standard reference materials [Mess-3(NRC)], subtidal zone stations number 1~12

Element	Certified Value ppm, %*	Mess-3 Concentration found (Mean±SD) n=3, ppm	Recovery %
As	21.2±1.1	22.13±1.14	100±5
Pb	21.1±0.7	22.49±0.19	107±1
Cd	0.24±0.01	0.24±0.01	100±2
Cu	33.9±1.6	35.28±0.95	100±3
V	243±10	243.07±4.76	100±2
Cr	105±4	105.06±1.19	100±1
Co	14.4 ±2.0	14.45±0.35	100±2
Zn	159±8	159.33±4.28	100±3
Fe*	4.34±0.11	4.34±0.01	100±0
Ni	46.9±2.2	47.24±1.2	101±3
Al*	8.59±0.23	8.60±0.01	100±0
Mn	324±12	327.30±0.44	101±0
Li	73.6±5.2	80.79±0.55	110±1
Hg	0.091±0.009	0.088±0	97±0
U	4	3.99±0.19	100±5
Mg*	1.6	1.60±0.05	100±3
K*	2.6	2.60±0.1	100±4
Ca*	1.47±0.06	1.47±0.05	100±4
Na*	1.6	1.60±0.05	100±3
Sr	129±11	128.03±1.62	99±1
Ba	-	670.72±14.9	-



**Fig. 1.** Study area and sampling stations in the Deukryang Bay.

**Table 2.** Intertidal zone surface sediments analysis results with standard reference materials [Mess-3(NRC)], intertidal zone stations number 13~19

Element	Certified Value ppm, %*	Mess-3 Concentration found (Mean±SD) n=3, ppm	Recovery %
As	21.2±1.1	22.99±0	108±0
Pb	21.1±0.7	22.34±1.8	106±9
Cd	0.24±0.01	0.26±0.01	107±3
Cu	33.9±1.6	35.33±1.97	104±6
V	243±10	243.04±0	100±0
Cr	105±4	105.44±1.38	100±1
Co	14.4 ±2.0	14.32±0.69	99±5
Zn	159±8	160.46±4.77	101±3
Fe*	4.34±0.11	4.34±0.01	100±0
Ni	46.9±2.2	46.47±1.54	99±3
Al*	8.59±0.23	8.57±0.02	100±0
Mn	324±12	325.55±0.4	100±0
Li	73.6±5.2	74.20±4.48	101±6
Hg*	0.091±0.009	91±2.79	100±3
U	4	4.04±0.07	101±2
Mg*	1.6	1.60±0.01	100±1
K*	2.6	2.61±0.11	100±4
Ca*	1.47±0.06	1.56±0.01	106±1
Na*	1.6	1.61±0	100±0
Sr	129±11	141.05±1.78	109±1
Ba	-	748.93±32.91	-

정밀도를 구하기 위해 농도를 알고 있는 퇴적물 표준 시료 MESS-3 (Canada, NRC)를 사용하였으며 정도관리 시료의 분석결과를 각각 Table 1, 2에 나타내었다.<sup>4)</sup>

수은(Hg) 분석을 위해서는 골드아말감 수은 전용분석기(Milestone Ltd. Model; DMA-80, Italy)를 이용하여 미리 동결 건조하여 미세하게 간 퇴적물 시료 0.5 g을 니켈 Boat에 정확히 달아 분석하였으며 정도관리를 위해 MESS-3(Canada, NRC)를 사용하였다. 분석결과 및 회수율을 각각 Table 1, 2에 나타내었다. 또한, 연구시료 중 원소의 농도를 보존성 원소로 알려진 철(Fe), 알루미늄(Al) 혹은 리튬(Li)의 농도와 비를 Table 3에 나타난 기준값인 지각평균(Table 3) 혹은 퇴적물 평균값으로 나누어준 값인 부화지수를 구하였으며, 본 연구에서는 보존성 원소로서 Li를 사용하였다.<sup>5)</sup>

Enrichment factor (Ef)  

$$= (C/Li)_{\text{sediment}} / (C/Li)_{\text{mean sediment}}$$

C<sub>sediment</sub>: 시료중의 원소 C의 농도

**Table 3.** Abundance of chemical elements in continental crustal average

Element	Crustal average	Element	Crustal average
Li, ppm	20	Ni, ppm	75
Na, wt. %	2.36	Cu, ppm	55
Mg, wt. %	2.33	Zn, ppm	70
K, wt. %	2.09	As, ppm	1.8
Ca, wt. %	4.15	Sr, ppm	375
Fe, wt. %	5.36	Cd, ppb	0.2
V, ppm	135	Ba, ppm	425
Cr, ppm	100	Pb, ppm	12.5
Mn, ppm	650	U, ppm	2.7
Co, ppm	25	Hg, ppm	0.08

**Table 4.** Classification of index of geoaccumulation.

Igeo	Igeo-class	Designation of sediment quality
>5	6	Very strongly polluted
4-5	5	Strongly/very strongly polluted
3-4	4	Strongly polluted
2-3	3	Moderately/strongly polluted
1-2	2	Moderately polluted
0-1	1	Practically unpolluted/moderately polluted
0	0	Practically unpolluted

Li<sub>sediment</sub>: 시료중의 Li의 농도  
 C<sub>mean sediment</sub>: C의 지각평균농도  
 Li<sub>mean sediment</sub>: Li의 지각평균농도

부화지수와 함께 퇴적물의 오염도를 구체적으로 알아보기 위해 농집지수를 계산하였다. Table 4에 농집지수의 분류(Table 4)를 나타내었다. 농집지수의 계산식은 다음과 같으며, 원소의 배경 값은 측정된 시료 중 농도가 가장 낮은 값을 사용하였다.<sup>6)</sup>

$$I_{geo} = \log[(Element)_{\text{sediment}} / (Element)_{\text{background}}] \times 1.5$$

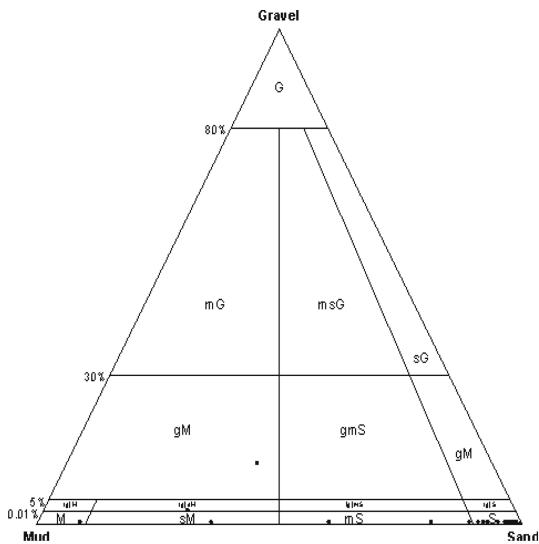
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 퇴적물의 입도 조성

특량만 표층 퇴적물의 정점별 입도 조성구분과 유형을 Table 5와 Fig. 2에 나타내었다. 입도 조성은 전일리 부근 해역인 정점 16과 평류리 부근 해역인 정점 18에서 만 자갈(gravel)이 나타나며, 모래(sand)는 전 지역에 분포하고 있으나 함량 분포는 0.2~12.38(0.71±2.84)%를 나타내었다. 상동리 부근 해역인 정점 13과 평류리

**Table 5.** Textural parameters of surface sediments in the Deukryang Bay.

Station No.	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	Mean	Sort	Skewness	Kurtosis	Sediment type
1	0.00	3.42	57.76	38.82	7.60	2.95	0.25	1.94	M
2	0.00	4.86	59.73	35.41	7.25	3.08	-0.47	1.70	M
3	0.00	3.13	61.91	34.96	7.32	3.31	0.40	1.75	M
4	0.00	1.23	37.48	61.28	9.17	2.66	0.90	2.41	M
5	0.00	2.10	57.81	40.09	7.54	3.01	0.16	1.84	M
6	0.00	10.87	62.86	26.27	6.50	3.53	-0.70	1.43	sM
7	0.00	8.93	56.39	34.68	7.05	3.14	0.17	1.88	M
8	0.00	18.59	57.28	24.12	6.14	3.49	-0.57	1.52	sM
9	0.00	2.46	54.03	43.51	7.93	3.21	-0.06	1.58	M
10	0.00	7.93	72.08	19.99	6.30	2.91	-0.24	1.93	M
11	0.00	7.00	61.35	31.65	6.82	3.36	-0.60	1.51	M
12	0.00	39.83	36.34	23.83	5.28	4.01	-0.79	1.62	sM
13	0.00	63.95	27.70	8.35	4.08	1.87	0.74	1.46	mS
14	0.00	1.64	72.76	25.59	6.83	2.36	0.58	1.14	M
15	0.00	1.31	77.69	21.00	6.53	2.16	0.55	1.33	M
16	12.38	48.41	18.50	20.71	3.15	4.39	0.50	0.74	gmS
17	0.00	0.20	91.78	8.02	4.88	1.00	0.58	6.43	M
18	1.03	68.28	25.74	4.94	2.69	2.47	0.39	0.86	(g)mS
19	0.00	91.05	7.87	1.07	2.56	0.85	0.30	1.71	S
Max	12.38	91.05	91.78	61.28	9.17	4.39	0.90	6.43	
Min	0.00	0.20	7.87	1.07	2.56	0.85	-0.79	0.74	
Avg	0.71	20.27	52.48	26.54	6.09	2.83	0.11	1.83	
Std	2.84	27.77	21.55	14.87	1.85	0.90	0.52	1.18	



**Fig. 2.** Ternary diagram showing the grain size composition of surface sediments. Note **G**: garvel, **mG**: muddy gravel, **msG**: muddy sandy gravel, **sG**: sandy gravel, **gM**: gravelly mud, **gmS**: gravelly muddy sand, **gS**: gravelly sand, **(g)M**: slightly gravelly mud, **(g)mS**: slightly gravelly sandy mud, **(g)S**: slightly gravelly sandy, **M**: mud, **sM**: sandy mud, **mS**: muddy sandy, **S**: sand.

부근 해역인 정점 18 그리고 가야리 부근 해역인 정점 19의 경우 최대 60% 이상의 높은 모래 함량을 보였으며, 0.2~91.05(20.27±27.77)%를 나타내었다. 실트(silt)의 경우 함량 비율은 7.87~91.78(52.48±21.55)%이고, 본 연구지역의 퇴적물의 주요 구성요소임을 알 수 있었다. 반면 점토(clay)의 함량 비율은 1.07~61.28(26.54±14.87)%이다.

분석 결과에서 보는 바와 같이 득량만의 표층 퇴적물 분포를 보면 자갈(gravel)은 거의 나타나지 않으나 전일리 부근 정점 16에서 대부분의 자갈이 나타났으며, 평류리 부근 정점 18에서 자갈이 한정되어 나타났다. 모래(sand)의 분포는 상동리, 평류리와 가야리 부근 정점 13, 18, 19에서 60% 이상의 높은 함량을 나타내며, 그 외 지역은 득량도 남쪽 해역인 정점 8(18.59%)을 제외하고 10% 이하의 낮은 함량을 보였다. 실트(silt)는 전 지역에 걸쳐 50% 이상의 함량을 보이거나 특히 안남리 부근 해역인 정점 17인 경우 90% 이상의 아주 높은 실트 함량을 보이고 죽청리와 사촌리 부근 해역인 정점 14, 15의 경우 70% 이상의 높은 실트 함량을 보였다. 점토(clay)는 전 지역에 걸쳐 20% 이상의 함량을 보이며, 화죽리 부근 정점 4에서 60% 이상

의 높은 함량을 보임을 알 수 있었다.

Folk<sup>7)</sup>가 제시한 퇴적상 분류에 의한 분석결과 득량만 표층 퇴적물의 입도는 니질(M: mud), 사질니(sM: sandy mud), 니질사(mS: muddy sand), 사질(S: sand), 함력니질사((g)mS: slightly gravelly muddy sand), 역니질사(gmS: gravelly muddy sand)의 6개 퇴적상으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

만 내에서 니질 퇴적상(mud facies)이 가장 우세하게 분포하고 있으며, 만 입구 쪽 고흥반도 주변과 만 중앙부의 정점 6에서 사질 퇴적상(sandy mud facies)이 나타났다. 산동리 주변 해역에서 니사질 퇴적상(muddy sand facies), 전일리 주변 해역에서 역니사질 퇴적상(gravelly muddy sand facies), 평류리 주변 해역에서 함력니사질 퇴적상(slightly gravelly muddy sand facies)이 분포하며, 가야리 주변 해역에서 사질 퇴적상(sand facies)이 분포하고 있음을 알 수 있었다. 득량만 표층 퇴적물의 입도범위는 2.56~9.17(6.09±1.85)F이며, 거의 대부분의 정점들이 실트(silt)로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

득량만 표층 퇴적물의 분급도(sorting)는 0.85~4.39(2.83±0.9)F의 범위로 나타났으며, 가야리 부근의 정점 19와 안남리 부근 정점 17의 경우, 분급도가 1F 정도로 나타났다. Table 6에서 보면 분급도(sorting)는 전반적으로 조간대와 조하대 전 해역에 걸쳐 매우 불량한 값을 보였다. 이렇게 불량한 분급도를 보이는 것은 만 내에서 퇴적물의 분급작용이 거의 일어나질 않고, 만내로 공급되는 세립질 퇴적물과 해안침식으로 야기되는 풍화된 조립질 퇴적물의 혼합과정에서 기인하는 것으로 판단된다. 왜도(skewness)의 경우 Table 7에 나타내었으며, -0.79~0.90의 범위로 양성왜도와 음성왜도가 교차하는 특징(very negatively~very positively skewed)을 보이는 것으로 나타났지만 전체적으로 symmetrical(-0.1~0.1), very positively skewed(0.1~

**Table 6.** Inclusive graphic standard deviation for surface sediments in the Deukryang Bay

St. De. (f)	Classification
0.35>	Very well sorted
0.35~0.5	Well sorted
0.5~0.71	Moderately well sorted
<b>0.71~1.0</b>	Moderately sorted
<b>1.0~2.0</b>	Poorly sorted
<b>2.0~4.0</b>	Very Poorly sorted
4.0<	Extremely poorly sorted

**Table 7.** Inclusive graphic skewness for surface sediments in Deukryang Bay

Ske.	Classification
1~0.3	Very fine~skewed
0.3~0.1	Fine~skewed
0.1~-0.1	Near~symmetrical
-0.1~-0.3	Coarse~skewed
-0.3~-1.0	Very coarse~skewed

1)한 상태가 나타나고, 만 입구와 중앙부에서 negatively skewed(-0.1~-0.3), very negatively skewed(-0.3~-1)한 상태가 나타났다.

Folk and Manson은 일반적으로 퇴적물 입자들이 중앙값보다 입자의 평균값 주변에 몰려있기 때문에 최빈값이나 중앙값보다는 평균값이 입도를 대표할 수 있는 값을 더 타당한 것으로 보고하였다.<sup>8)</sup> 본 연구지역인 득량만 표층 퇴적물의 평균입도는 6.09F로써 실트(silt)로 구성되어 있으며, 퇴적물 분급도는 2.83F로써 Folk의 분류에 의하면 매우 불량하게 나타났으며, 만의 대부분에서 니질 퇴적상(mud facies)이 분포하고 있음을 알 수 있다. 왜도는 입자의 입도 곡선의 대칭으로부터 만곡의 정도를 말하는데 세립질 쪽으로 만곡하면 양의 왜도(positive skewness)라 하고, 조립질 쪽으로 만곡하면 음의 왜도(negative skewness)라 한다. 왜도는 퇴적물의 환경을 구분하는 데 중요하고 민감한 parameter로 알려져 있으며, 퇴적 환경 구분에 중요한 의미를 가진다. Folk and Word<sup>9)</sup>, Duane<sup>10)</sup>에 의하면 대칭 왜도를 보이는 퇴적물 분포지역은 유체의 흐름이 있는 지역을 나타낸다고 하였다. Duane<sup>10)</sup>은 양의 왜도(positive skewness)가 고립된 환경에서의 퇴적 작용을 나타내며, 음의 왜도(negative skewness)는 재동작용(winning action)에 의한 퇴적물의 유동을 나타내는 것으로 해석한 바 있다. 그리고 Cronan<sup>11)</sup>은 양의 왜도(positive skewness)가 퇴적물의 퇴적을 의미하며, 음의 왜도(negative skewness)는 무퇴적 내지 침식 작용을 의미한다고 하였다. 따라서 본 조사해역의 왜도는 -0.79~0.90로 very negatively~very positively skewed에 다양하게 분포하며, 왜도는 평균 0.11로서 very positively skewed에 해당한다고 볼 수 있다.

**3.2. 상관관계 분석 및 퇴적물의 표준화**

일반적으로 두 원소 혹은 여러 원소 사이의 통계분석에서 상관계수가 높은 원소들의 지화학적 성분 특성과 퇴적 환경 내에서 거동방식 등에 유의한 관련성을

보인다.<sup>12)</sup> 그러므로 상관계수 분석은 원소들의 함량과 분포를 조절하는 일차적 요인을 해석하는데 유용하다. 본 연구해역의 퇴적물 조성과 성분들을 상호, 비교하고 각각의 성분들 상호간의 상관성으로부터 일차적인 분포 조절요인을 파악 할 수 있는 표준화 성분을 찾을 필요가 있다고 판단된다. 퇴적물 내 원소의 농도는 자연적 혹은 인위적인 요인에 의해서 영향을 받으며, 사질 퇴적물에 의한 희석작용으로 세립한 퇴적물에서 농도가 높고 조립한 퇴적물에서 농도가 낮다. 그러므로 이러한 원소들의 농축정도를 평가하기 위해서 퇴적물 입도와 퇴적물 조성에 영향을 미치는 광물학적인 효과에 대한 표준화가 필요하다.<sup>13)</sup> 표준화 성분은 연구 대상해역의 특성을 고려하고 지질학적 분포 특성을 검토하여 가장 적합한 보전성 원소를 선택해야 한다. 대부분의 지화학 원소들은 일반적으로 세립한 크기의 알루미늄 실리케이트로 구성 되어 있기 때문에 표준화 성분으로 Al이 사용되었다.<sup>14)</sup> 하지만 다양한 크기의 장석과 같이 물리적으로 미성숙한 풍화산물로 조성된 퇴적물에서 Al을 이용한 표준화는 유용하지 못하며, Al은 일반적으로 조립한 입자에서도 세립한 입자와 같은 양을 나타내기 때문에 이로 인해 미량금속과 Al의 상관관계가 없거나 유의하지 않은 상관관계를 나타나게 한다.<sup>13)</sup> 이에 비해 Li은 운모, 철, 마그네슘 광물 및 점토

로 이루어진 퇴적물에서는 장석과는 화학조성이 다르기 때문에 Li이 보다 좋은 상관성을 가지고 있어 표준화 성분으로서 보다 더 유용하다.<sup>15,16)</sup> 그러므로 본 연구에서는 Table 8에서 높은 상관관계를 보이는 Li을 표준화 물질로 사용하였다.

### 3.3. 퇴적물 일반 분석

특량만 표층 퇴적물 중 COD, AVS 및 IL의 분포도를 Fig. 3에 나타내었다. 해양 퇴적물 중 유기물량은 퇴적물의 환경을 평가하는 데 중요한 척도 중의 하나이다. 일반적으로 유기물량의 측정은 강열감량법(IL)이나 유기탄소량 측정법 등을 이용하여 직접 정량하는 방법이 주로 사용된다. 반면 유기물이 산화될 때 환경에 미치는 영향과 소비되는 산소량을 측정하는 화학적 산소요구량(COD)은 유기물량과 상관관계가 좋은 것으로 알려져 있으며, 퇴적물의 오염의 지표로 많이 사용된다.<sup>7)</sup> COD의 범위(평균±표준편차)는 4.07~15.09(9.58±2.7) mg/g-dry이었으며, 만의 북쪽으로 올라 갈수록 농도가 높아지는 것을 볼 수가 있다. 정점 17인 안남리와 평류리 사이의 해역에서 가장 높은 농도인 15.09 mg/g-dry를 나타내었다. 특량만의 중간 지점인 특량도를 기준으로 북쪽으로는 평균농도와 비슷하거나 높은 농도를 보이며, 만의 하부로 갈수록 낮은 농도를 보인다.

**Table 8.** The correlation matrix of element concentration and textural characteristics for surface sediments in the Deukryang Bay

	Li	As	Pb	Cd	Cu	V	Cr	Co	Zn	Fe	Ni	Mn	Hg	U	Mg	K	Ca	Na	Sr	Ba
Li	1																			
As	0.64	1																		
Pb	0.73	0.32	1																	
Cd	-0.08	-0.49	0.28	1																
Cu	0.72	0.14	0.61	0.37	1															
V	0.67	0.95	0.26	-0.56	0.09	1														
Cr	0.85	0.24	0.63	0.25	0.95	0.25	1													
Co	0.88	0.3	0.73	0.26	0.92	0.31	0.95	1												
Zn	0.82	0.2	0.82	0.4	0.93	0.16	0.93	0.94	1											
Fe	0.93	0.52	0.8	0.13	0.85	0.49	0.89	0.93	0.9	1										
Ni	0.83	0.19	0.67	0.3	0.96	0.2	0.98	0.98	0.95	0.89	1									
Mn	0.88	0.52	0.61	-0.01	0.62	0.57	0.74	0.83	0.72	0.76	0.76	1								
Hg	0.66	0.05	0.63	0.27	0.6	0.14	0.7	0.75	0.71	0.59	0.74	0.71	1							
U	0.47	-0.14	0.48	0.35	0.8	-0.12	0.75	0.69	0.72	0.58	0.78	0.38	0.6	1						
Mg	0.92	0.46	0.62	0.08	0.73	0.53	0.85	0.89	0.79	0.86	0.84	0.85	0.77	0.54	1					
K	0.02	0.23	0.52	0.04	-0.12	0.05	-0.2	-0.12	0.1	0.1	-0.18	-0.08	-0.2	-0.18	-0.19	1				
Ca	0.15	0.31	0.14	-0.34	-0.14	0.37	-0.11	0.04	-0.1	0.2	-0.08	-0.01	-0.04	-0.05	0.13	0.05	1			
Na	0.62	0.45	0.47	-0.07	0.18	0.6	0.36	0.53	0.34	0.49	0.4	0.7	0.65	0.15	0.67	-0.15	0.38	1		
Sr	0.12	0.26	0.16	-0.3	-0.27	0.38	-0.19	0.01	-0.16	0.1	-0.14	0.09	0.09	-0.12	0.14	0.02	0.92	0.6	1	
Ba	-0.61	-0.3	-0.1	0.12	-0.4	-0.48	-0.57	-0.6	-0.36	-0.48	-0.56	-0.66	-0.63	-0.31	-0.78	0.69	-0.2	-0.72	-0.29	1

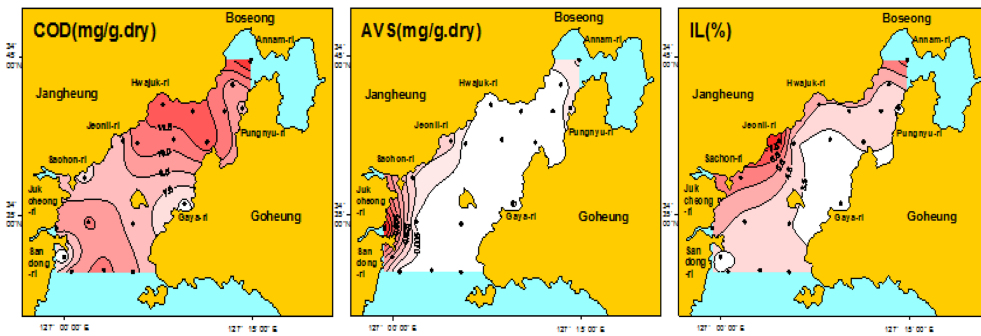


Fig. 3. Horizontal distribution of COD, AVS and IL for surface sediments in the Deukryang Bay.

만의 북쪽에 인접해 있는 마을이 있기 때문에 농도가 높아지는 경향이 생긴 것으로 판단된다. 하지만 가장 높은 농도인 15.09 mg/g·dry는 일본수산자원보호협회 기준(COD, 20 mg/g·dry 이하)과 비교하면 기준이하의 양호한 상태이다.

해양 퇴적물 내 산 휘발성 황화물이 높다는 것은 퇴적물 내에 산소의 고갈 및 결핍을 의미하며, 이는 저층 수질 및 저서 생태계에 나쁜 영향을 줄 뿐 아니라 환경을 평가하는데 있어서 중요한 의미를 지닌다. 산 휘발성 황화물은 화학적 산소요구량(COD)과 함께 저서 환경을 평가하는 중요한 지표이다. 특히 수심이 얇은 지역이나 어장환경에서는 퇴적물 중 산 휘발성 황화물 함량이 저서생물이나 어장환경에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 지화학적 지시자로 간주된다.<sup>17)</sup> 특량만의 표층 퇴적물에 대한 산 휘발성 황화물(AVS)의 함량을 조사한 결과 0.000~0.103(0.11±0.024) mg/g·dry의 범위를 나타내었다. 정점 14인 죽청리 앞 해역에서 조사한 정점 중 가장 높은 함량인 0.103 mg/g·dry를 보이고 만의 서남쪽 즉 죽청리 와 상도리 앞 해역에서 높은 함량을 나타내고 전일리 앞 해역인 정점 16과 만의 상부인 안남리 앞 해역 그리고 만의 동쪽인 가야리 앞

해역에서 평균 함량보다 약간 높거나 비슷한 함량을 보인다. 본 연구에서 조사된 19개 정점에서 일본수산자원보호협회(AVS, 0.2 mg/g·dry 이하)의 기준을 넘어서는 함량을 보이는 정점은 없었으며, 위에서 언급한 정점 이외에 대부분의 정점에서는 검출한계이하의 함량을 보였다. 강열감량은 해양 퇴적물 중 총유기물의 함량을 나타내는 직접적인 지표이다. 2.68~8.32(4.36±1.42)% 범위로 나타나며, 정점 16 전일리 앞 해역에서 가장 높은 함량인 8.3%를 보이며, 전일리 앞 해역을 중심을 만의 동쪽인 가야리 앞 해역에서 가장 낮은 함량인 2.7%이며, 만의 북쪽이나 남쪽으로 갈수록 함량이 낮아지는 경향을 보인다.

### 3.4. 성분 및 원소분석

#### 3.4.1. 알칼리와 알칼리 토금속의 분석

특량만 표층 퇴적물 중 알칼리와 알칼리 토금속 분포 특성을 살펴보기 위하여 수평농도분포를 Fig. 4에 나타내었다. Li은 본 연구에 표준화 원소 및 물질로 사용하였으며 Li의 농도는 32.62~96.4(67.69±15) ppm 범위로 학죽리 앞 해역인 정점 4에서 가장 높은 농도를 보였다.

Na은 해양 퇴적물 중에서 농도변화가 비교적 많으며

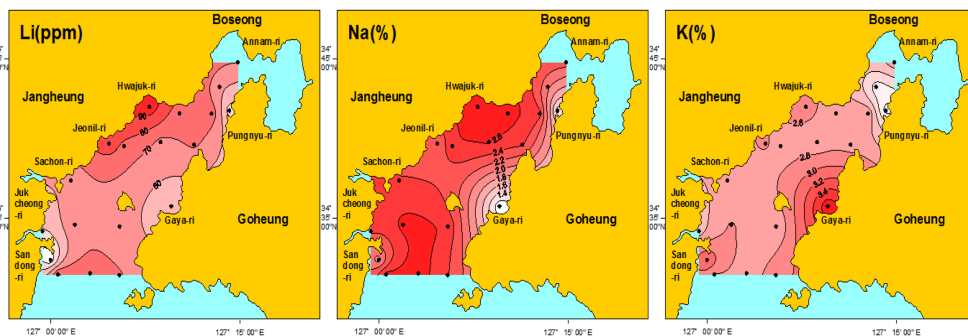


Fig. 4. Horizontal distribution of Li, Na and K for surface sediments in the Deukryang Bay.

하천을 통하여 총량의 50~90%가 용존 상태로 유입된다.<sup>18)</sup> 고체상으로는 주로 쇄설성 광물인 장석과 각섬석, 휘석 등이 포함되어 유입되는 것으로 알려져 있다.<sup>19)</sup> 득량만 표층 퇴적물 중 Na의 농도는 1.06~2.76(2.32±0.46)%의 범위로 나타났다. 만의 상부인 평류리 앞 해역과 득량도 동쪽편인 가야리 앞 해역을 제외한 대부분의 정점에서는 유사한 농도를 나타내었으며, 정점 4인 학죽리 앞 해역에서는 가장 높은 농도인 2.76%를 나타내었다. K는 일라이트와 장석 및 운모, 그 밖의 타 알루미늄 규산염 광물에 존재하는 전형적인 지각 구성 원소로 알려져 있다.<sup>19)</sup> 하천을 통하여 해양으로 유입되는 K는 전체 이동량의 50~90%가 고체상의 형태로 이루어져 있다.<sup>18)</sup> 득량만 표층 퇴적물 중 K의 농도는 1.92~3.74(2.73±0.37)%의 범위이며 농도분포는 만의 상부인 정점 1과 바로 동쪽에 위치한 평류리 앞 해역을 제외한 대부분의 정점에서는 평균농도와 비슷하거나 평균농도를 상회하는 분포를 보였다.

알칼리 토금속인 Mg, Ca, Sr 및 Ba의 분포도를 Fig. 5에 나타내었다. Mg은 하천을 통하여 고체상의 형태로 50~90% 정도가 해양으로 유입된다.<sup>18)</sup> 득량만 표층 퇴적물의 Mg 농도는 0.55~1.63(1.21±0.26)%의 범위이고 대체적으로 만의 상부와 만의 서북쪽 조간대 지역으로 갈수록 높아지지만, 대부분 비슷하며, 산동리 앞 해역인 정점 13에서 가장 낮은 농도인 0.55%를 보였다. Ca, Ba, Sr은 해양생물 및 해수 기원 물질 등의

이차적인 요인에 의해서 조절 될 수 있다.<sup>19)</sup> 이외에도 광물학적으로 탄산염 광물 및 장석이 있을 경우 높은 함량을 나타낼 수 있으며, 이것은 탄산칼슘에 의한 Mg의 희석 때문이다. Ca은 탄산염의 분포에 따라 그 함량이 지배되는 원소이며 쇄설성광물 중 사장석과 각섬석의 영향을 받는다. Na과 마찬가지로 해양으로는 하천을 통해 총량의 50~90%가 용존 상태로 유입된다.<sup>18)</sup> 득량만 표층 퇴적물 중 Ca의 농도는 0.39~7.13(1.98±1.45)%의 범위로 분포하였으며, 만의 동쪽 입구인 정점 12에서 가장 높은 농도인 7.13%이고, 정점 12를 제외한 나머지 정점에서는 유사한 농도를 보였다. Sr은 용존 상의 양이온 원소 가운데 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>에 이어 다섯 번째로 중요한 원소로, 해양으로는 하천을 통하여 전체 이동량의 50~90%가 용존 상의 형태로 유입이 된다.<sup>18)</sup> Sr은 99.69~297.22(177.66±42.85) ppm 범위로 분포하였으며, 만의 서쪽 입구이고 산동리 앞 해역인 정점 13과 만의 동쪽인 가야리 앞 해역인 정점 19에서 높았고, 이 두 정점을 제외한 나머지 정점에서는 비슷한 농도를 보인다. Ba의 농도는 346.23~721.9(426.66±94.24) ppm 범위로 나타났으며, 가야리 앞 해역인 정점 19에서 가장 높은 농도를 보인다.

#### 3.4.2. 금속 원소 및 악티늄족 원소 분석

득량만 표층 퇴적물 중의 금속 원소의 분포 특성을 파악하기 위해서 V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, 및 As 등을 분석하여 그 결과를 Fig. 6에 수평농도분포로 도시하였다. V은 단독으로 존재하기 보다는 주로 광상에서 다른 금속 원소와 결합된 특정 광물의 형태로 존재하는 것이 특징적이다.<sup>26)</sup> 하천을 통하여 해양으로 유입되는 이동형태는 전체 이동량의 90%가 고체상으로 이루어지며, 용존 상의 이동량은 상대적으로 미약하다고 보고되었다.<sup>18)</sup> V의 농도는 8.65~124.97(70.1±42.41) ppm의 범위로 만의 서쪽 죽청리 앞 해역인 정점 14과 사촌리 앞 해역인 정점 15에서 낮았으며, 그 외의 정점에서는 유사한 농도를 보였다. Cr, Ni, Co, Mn은 모두 철 그룹에 속하며 조암 광물 격자 내에서 Fe, Mg과 치환하는 것으로 알려졌으며, 일반적으로 화성암보다는 초염기성암에서 100~1,000배 정도 농축되어 있는 원소이지만 Mn은 Fe에 이어 두 번째로 함량이 높으며 쇄설성 광물 중 점토 광물을 비롯하여 각섬석, 휘석, 운모 등에서 비교적 높은 함량을 나타낸다.<sup>20)</sup> 하천을 통하여 해양으로 유입되는 Cr, Ni, Co의 이동은 전체의 90% 이상이 고체상의 형태로

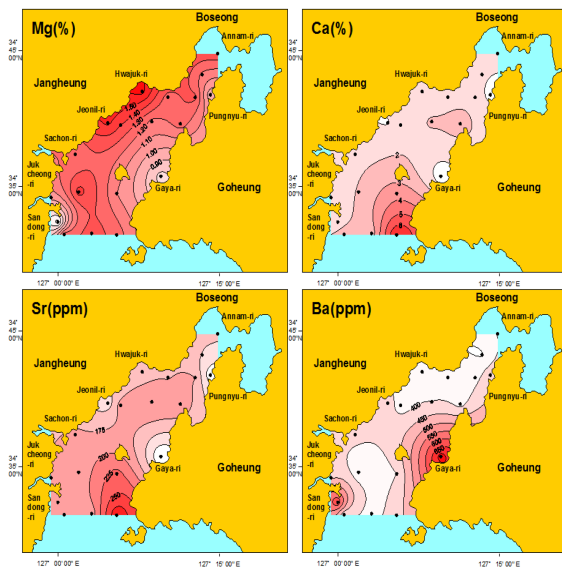


Fig. 5. Horizontal distribution of Mg, Ca, Sr and Ba for surface sediments in the Deukryang Bay.

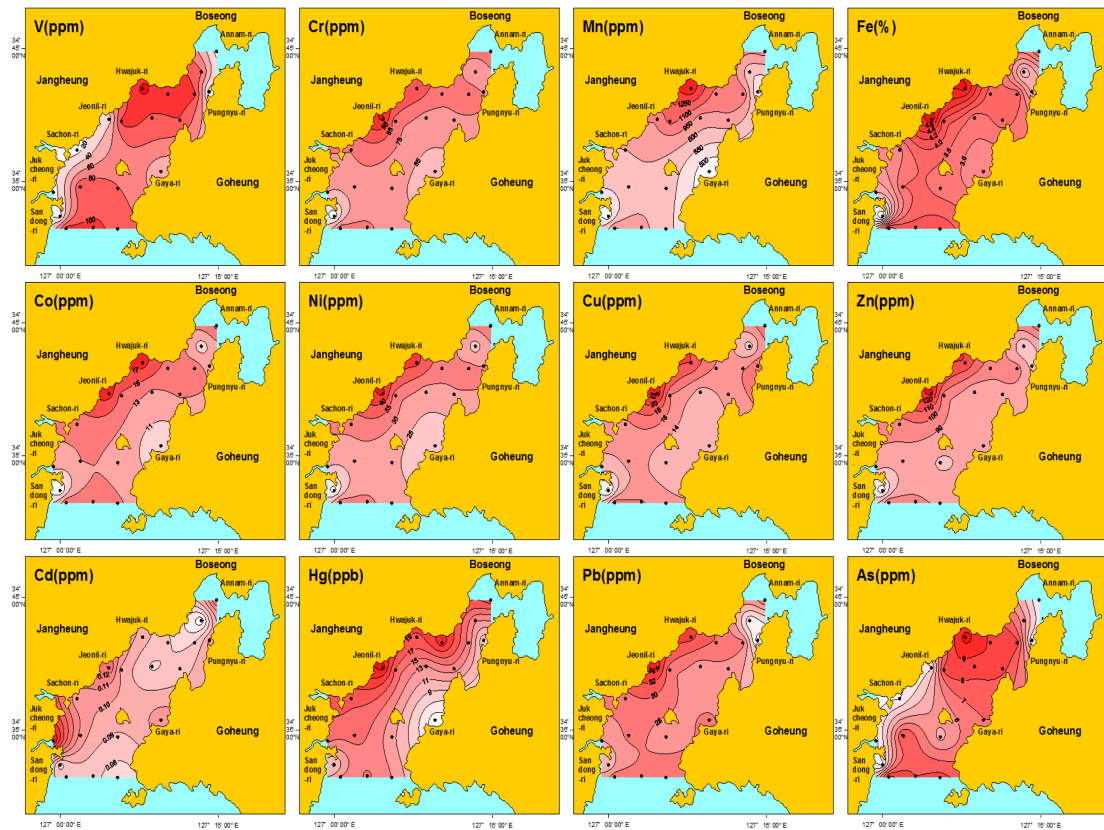


Fig. 6. Horizontal distribution of V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb and As for surface sediments in the Deukryang Bay.

이동되며, 용존 상의 이동 비율은 1~10%이고 Mn은 전체의 90% 이상이 고체상으로 이동되며, 용존 상의 이동량은 상대적으로 적다.<sup>18)</sup> Cr 37.95~106.96(74.36±13.75) ppm, Ni 12.6~46.37(29.72±7.33) ppm, Co 6.84~18.14(13.26±2.71) ppm, Mn 351.71~1507.55(838.2±277.53) ppm의 범위로 농도 분포는 Cr, Ni, CO는 전일리 앞 해역인 정점 16에서 가장 높았고 Mn은 학죽리 앞 해역에서 가장 높은 농도이며, 만의 북서쪽부터 만의 상부까지 대부분의 정정보다 높다. Fe은 1.95~4.95(3.75±0.7)% 범위로만 전 해역에 대해서 유사한 분포를 나타내었다. Cu, Zn, Pb, Cd과 Hg은 대표적인 오염형 중금속 원소로서 규산염 광물 가운데 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모 등에서 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 이들 원소는 특히 규산염 광물의 격자구조에 편입될 경우 특정 격자구조에 대한 선택성이 서로 달라서 Cu는 감람석과 휘석에서, 그리고 Zn는 각섬석과 흑운모에서 농축을 보이는 것이 특징적이다.<sup>21)</sup> 하천으로부터 공급되는 Cu 및 Zn은 전체 이동량의

50~90%가 고체상으로 이루어지며, 용존 상의 이동량은 10~50%를 차지한다.<sup>18)</sup> 득량만 표층 퇴적물의 중금속 농도는 각각 Cu 7.32~23.37(15.25±3.44) ppm, Zn 52.97~133.18(90.46±17.49) ppm, Pb 19.09~35.12(27.38±5.03) ppm, Hg 3.69~23.6(14.55±4.88) ppb의 범위로 농도는 V, Cr, Ni, Co 등과 마찬가지로 전일리 앞 해역인 정점 16에서 가장 높았다. Cd의 농도는 0.05~0.17(0.1±0.03) ppm의 범위로 만의 하부의 서쪽에 위치한 죽청리 앞 해역인 정점 14에서 높은 농도를 보이며 만의 상부로 올라갈수록 낮은 농도를 보인다. 악티늄족 원소인 U은 1.72~3.78(2.38±0.41) ppm의 범위이며, 분포도를 Fig. 7에 나타내었다. 만의 서쪽에 위치한 전일리 앞 해역인 정점 16에서 Cr, Ni, CO와 마찬가지로 가장 높았다.

### 3.5. 부화지수(Ef) 및 농집지수(Igeo)

#### 3.5.1. 부화지수(Ef)

퇴적물 중의 원소는 표준물질에서 나타난 값을 비교

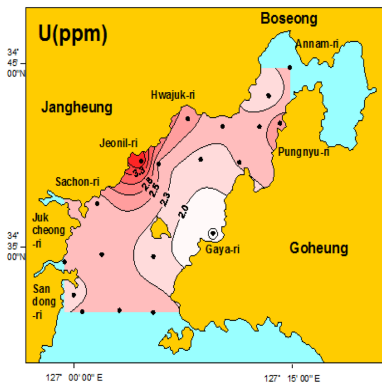


Fig. 7. Horizontal distribution of U for surface sediments in the Deukryang Bay.

함으로서 농축의 정도를 추정할 수 있으며, 이러한 표준물질로는 흔히 지각물질이나 셰일을 이용해 왔다.<sup>22)</sup> 퇴적물의 원소나 중금속 그리고 유기물의 함량은 퇴적물 입자와 유의한 상관관계를 가지고 있으며 또한 유기물이나 무기물은 침강하는 과정에서 강한 상관성을 가진다고 보고되었다.<sup>23,24)</sup> 따라서 어떤 원소나 중금속이 농축되었다 하더라도 유기물과 함께 거동하기 때문에 보존성 원소인 Fe 또는 Li와 유의한 상관성을 가지는 다른 원소로 표준화하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 앞에서 상관관계 분석한 결과 Li이 다른 원소들과 가장 많은 상관성을 가지기 때문에 표준물질로 사용하고 퇴적물 중의 평균함량을 기준으로 해서 부화지수를 구하였다. 또한 어떤 원소나 중금속이 농축되었다고 하는 것은 퇴적물중의 자연적인 농도 이상으로 높다는 것을 의미한다. 부화지수 1은 오염이 되지 않았다

고 생각되는 자연적인 배경농도와 같기 때문에 자연적인 농도로 볼 수가 있다. 반면에 부화지수가 1 이상인 것은 자연적인 배경농도를 초과하는 원소 및 중금속이 농축되어 있음을 시사하며 외부의 유입이나 인위적인 오염의 원인으로 판단할 수 있다. 하지만 본 연구해역인 득량만의 경우 외부로부터 유입이 없으므로 유입으로 인한 오염은 없다고 판단된다.

본 연구에서는 20개의 원소 및 중금속에 대해서 계산한 부화지수를 정점 별로 각각 Fig. 8에 나타냈으며 자연적인 배경농도 값인 1을 점선으로 표기하였다. 계산된 부화지수는 Pb과 K이 정점 13인 산동리 앞 해역에서 각각 1.18, 1.05의 값을 보였으며, As를 제외한 모든 원소 및 중금속은 1이하를 밀도는 값을 나타냈다. As의 경우 조하대의 정점 1~12에서 득량도 남쪽 해역인 정점 8을 제외한 모든 정점에서 1을 상회하는 값을 나타냈지만 조간대의 정점 13~19에서는 1보다 다소 낮은 값으로 계산됐다. 가야리 앞 해역인 정점 19에서는 가장 높은 값인 1.72로 나타났지만, 2배 이상의 농축이 아니기 때문에 심한 축적의 정도를 보여주고 있는 것이 아니라고 판단이 된다.

3.5.2. 농집지수(Igeo)

농집지수는 부화 지수와 비슷하게 퇴적물에 함유된 원소 및 중금속 함량을 오염되지 않은 원소 및 중금속 함량과 비교하여 정량하는 방법으로 주로 퇴적물 오염 평가에 사용되며 그 값에 따라 7등급으로 구분된다.<sup>6)</sup> 부화지수와는 달리 농집지수는 Table 9에 나타난 것과 같이 직접적으로 농집정도를 등급화 하여 쉽고 빠르게

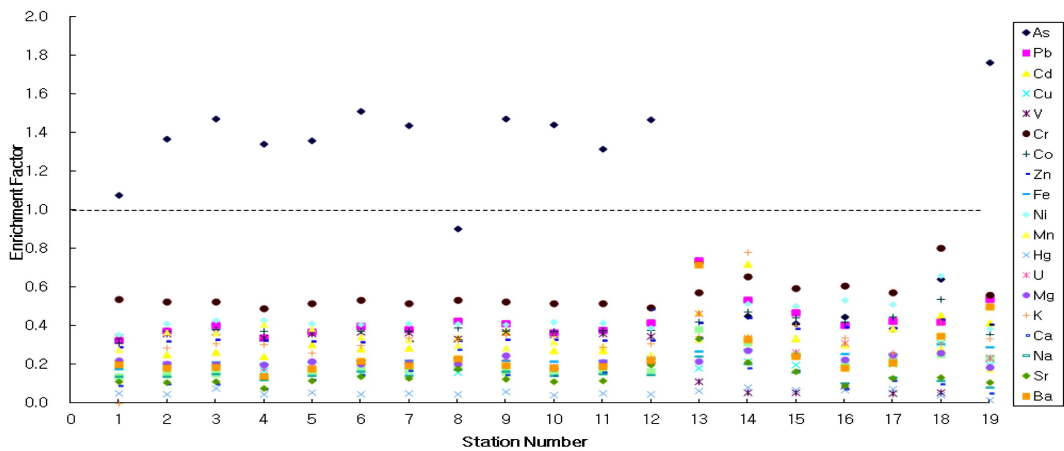


Fig. 8. Distribution of enrichment factor for surface sediments in the Deukryang Bay.

**Table 9.** Level of Igeo-class of nonmetallic and metallic element in 19 stations of the Deukryang Bay.

Igeo-class	Igeo (As)	Igeo (Pb)	Igeo (Cd)	Igeo (Cu)	Igeo (V)	Igeo (Cr)	Igeo (Co)	Igeo (Zn)	Igeo (Fe)	Igeo (Ni)
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
1	19	19	19	19	7	19	19	19	19	19
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Igeo-class	Igeo (Mn)	Igeo (Li)	Igeo (Hg)	Igeo (U)	Igeo (Mg)	Igeo (K)	Igeo (Ca)	Igeo (Na)	Igeo (Sr)	Igeo (Ba)
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0
1	19	19	19	19	19	19	17	19	19	19
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

간접적 오염정도를 평가 할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 계산된 농집지수의 결과 개수를 Table 9에 표시하였다. 대부분의 원소 및 중금속의 농집지수는 Igeo-class 1에 집중되어 있는 것을 볼 수가 있다. 다른 원소나 중금속에 비해 V, Ca은 Igeo-class 1 또는 2에 집중 된다. 하지만 농집지수를 나타낸 것을 보면 Igeo-class 2가 약간오염이 (Moderately polluted) 있다는 것으로 아직까지는 득량만 내에 전 정점에 대해 표층 퇴적물이 오염이 없는 깨끗한 상태라고 판단된다.

#### 4. 결 론

득량만 표층 퇴적물의 유기물 함량과 화학적 특성을 파악하기 위해서 조하대와 조간대 19개 정점에서 채취한 시료를 대상으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 득량만 표층 퇴적물의 평균입도는 6.09F로 거의 대부분의 정점들이 실트(silt)이며 니질 퇴적물로 되어 있지만 화학적 산소요구량(COD), 산 휘발성 황화물(AVS), 강열감량(IL) 등 유기물의 함량은 다소 낮게 분석됐으며 특히 산 휘발성 황화물(AVS)의 경우 대부분의 정점에서 검출한계 이하로 나타났다.

2. As는 만의 동쪽보다는 서쪽 그리고 만의 상부와 하부보다는 중간 해역에서 높은 농도를 보였다. 알칼리 및 알칼리토금속 원소인 Na과 Mg는 만의 입구인 남서

쪽과 득량도를 중심으로 동쪽으로 낮은 농도지만, K, Sr, Ba의 경우 득량도를 중심으로 동쪽에서 높은 농도를 보이고 대부분의 정점에서는 유사한 농도를 보인다. Fe은 전 해역에 걸쳐서 유사한 농도의 분포를 보였다. Ba은 Sr보다 약 2배가량 높은 농도를 보였다.

3. 부화지수 1을 넘어서는 원소로는 비금속 원소인 As이며 최고 1.72이지만, 2배 이하의 농축이기 때문에 우려할 만한 수준은 아니라고 판단되며 농집지수는 1 또는 2에 집중이 되지만 오염이 없다고 판단 할 수 있다.

본 연구를 통해서 득량만의 표층 퇴적물에 대한 유기물과 화학성분의 농도분포는 기준농도(지각평균농도)보다 낮거나 유사한 농도를 보이는 청정해역으로 생각이 된다. 하지만 아직까지 우리나라의 기준이 없어 외국의 기준을 도입해서 쓰는 실정이며, 득량만 뿐만 아니라 우리나라 전 해역에 걸쳐 기준을 만드는 것이 필요하다. 득량만 주변에는 인구밀도가 높은 대도시나 대규모 산업시설이 없어 육상으로부터의 오염물질 유입이 거의 없는 청정해역으로 1982년 1월부터 주변해역 464.23가 수산자원보호구역으로 지정 관리되고 있다. 그러나 낙후된 해조류 양식장과 패류 양식장으로 인한 오염부하가 증가할 것으로 예상되어, 득량만의 해양환경을 보전하고 지속가능한 이용을 위해서는 득량만의 표층 퇴적물에 대한 지화학적 성분의 오염도의 평가가 필요한 실정이다. 그리고 득량만이 아직까지는 청정해역이지만 급격한 환경변화에 대응할 수 있게 지속적이고

장기적인 모니터링을 하여 보존 및 관리를 해야 한다.

### 감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 남해 해양환경연구 과제의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조해 주신 시험조사선 탐구 11호 직원께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 최우정, 전영열, 박정흠, 박영철, *한국수산학회지*, **2006**, 30, 794-803.
2. 최규정, *한국수산학회지*, **1974**, 7, 204-214.
3. 조규대, *한국수산학회 추계공동 학술 심포지움*, **1994**, pp73.
4. 해양수산부, 2006, 해양환경공정시험법.
5. S. R. Taylor, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **1964**, 28, 1273-1285.
6. Muller. G, *Schwemetalle in den Sedimenten des Rhrins-Ver-derngen Seit*, Umxchau., **1979**, 79, 778~783.
7. Folk. R.L, Petrology of the sedimentary rocks, Hemp-hills., Austin Texas, **1968**, 170.
8. Folk. R.L. and C.C. Manson, *Journal of Sedimentary Petrology*, **1958**, 28, 211-226.
9. Folk. R.L. and W.C. Ward, *Journal of Sedimentary Petrology*, **1957**, 27, 3-26.
10. Duane. D. B, *Journal of Sedimentary Petrology*, **1964**, 34, 864-874.
11. Cronan, P. S, *Journal of Sedimentary Petrology*, **1972**, 42, 102-106.
12. Summerhayes. C. P, *Chemical Geology*, **1972**, 10, 137~156.
13. 김평중, 황해 표층퇴적물중 금속 및 친생물원소의 지구 화학적 특성, 부경대학교 박사학 위논문 **2010**
14. Windom. H, Schropp. S, Chalder. F, Ryan. J, Smith Jr., R. Burney, L. Lewis. F and Rawlinson. C, *Environmental science and technology*, **1989**, 23, 314~320.
15. Loring. D. H and R. T. T. Rantala, *Earth-science review*, **1992**, 235, 83.
16. Loring. D. H, ICES WG/MS nantes, France, **1993**.
17. Yokoyama. H, *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult*, **1995**, 24, 43-53.
18. Martin. J. M and M. Meybeck, *Marine Chemistry*, **1979**, 7, 173-206.
19. Hounslow. Mark W and Andrew C. Morton, *Sedi-mentary Geology*, 2004, 171, 13~36.
20. Bowen. H. J. M, *Environmental Chemistry of the Ele-ments*, **1979**, 333, Academic Press, U.S.A .
21. Wedepohl. K. H, *Handbook of Geochemistry*, **1969**, Springer-Verlag, Berlin.
22. Turekian. K. K, *Geochim et Cosmochimica Acta*, **1964**, 28, 1479-1496.
23. 조영길, 이창복, 최만식, *한국해양학회지*, **1994**, 29, 338-356.
24. 조영길, 이창복, 고철환, *한국해양학회지-바다*, **2000**, 5, 131-140.