

濟州島周圍 및 南海沿岸 堆積物中的 重金屬含量

石 奉 出* · 朴 炳 權**

*韓國科學技術院 海洋研究所 · **陸軍士官學校

要 約

濟州島周圍 大陸棚地域과 韓半島 南海沿岸에서 總 39個의 海底堆積物中的 重金屬含量이 測定되었다. 濟州島周圍의 平均含量은 Zn 59.1ppm, Mn 362.6ppm, Cr 63.8ppm, Pb 15.7ppm, Co 10.0ppm, Ni 28.9ppm, Cu 10.5ppm, Fe 2.7%, 南海沿岸에서는 Zn 79.5ppm, Mn 384ppm, Pb 8.6ppm, Ni 17.8ppm, Cu 23.2ppm, Fe 1.59%로 나타났다.

濟州島周圍에서는 細粒質堆積物이 分布하는 北西部가 기타 地域에 比해 높다. 반면 南海沿岸에서는 地域的傾向性이 나타나지 않지만 馬山灣과 鎮海灣은 周圍隣近陸上の 産業活動에 의한 影響으로 他地域에 比해 높게 나타난다. 그러나 馬山灣과 鎮海灣에서 Zn과 Cu의 高含量을 除外하고는 全體的으로 世界沿岸堆積物の 平均値에 미치지 못하는 낮은 含量이다.

各 元素成分間의 相關性은 濟州島周圍에서 Zn—Cu, Ni—Cu, Fe—Cu, Cr—Cu, Co—Zn, Ni—Zn, Cr—Zn, Ni—Co, Fe—Co, Cr—Co, Fe—Ni, Cr—Ni, Cr—Fe間에 密接한 正의 相關性이 나타나며, Pb, Mn을 除外한 全元素成分이 粒度和 良好한 正의 相關性을 나타내어 粒子가 細粒일수록 元素의 吸着率이 크다. 南海沿岸에서는 Cu—Zn, Cu—Ni, 및 Ni—Mn을 除外하고는 相關關係가 不良하다. 이는 堆積環境이 地域別로 다르고 또한 陸上의 人爲的 活動에 따른 流入含量의 差異에서 온 것으로 생각된다.

序 論

海底堆積物中的 地化學的 元素成分은 海底堆積環境 糾明의 指標가 될 뿐만 아니라 海洋污染 糾明의 重要한 尺度가 된다. 各種 污染源이 海水에 流入되면 潮流 및 海流 등의 水動力에 의해 擴散됨과 아울러 그 流動經路를 따라 移動하게 되며 流動中 그 一部는 海底에 沈澱·堆積되기 때문이다.

本 研究에서는 海水의 流動이 微弱한 鎮海灣을 中心으로하여 南海島附近까지의 沿岸海域과 産業活動 및 人爲的인 污染이 적고 海水의 流動이 비교적 큰 濟州島周圍 海底堆積物中的 重金屬類含量을 分析하였다. 本 研究의 目的은 相異한 上記 두 地域에서의 重金屬類含量比較와 污染現況을 밝히고 元素成分相互間의 相關關係에 의한 元素成分間의 地化學的 特徵을 究明하는 데 있다. 本 調查海域을 포함한 南海一圓의 海底堆積物特性에 關한 研究는 多數(Park and Song, 1971; Kwon and Park, 1973; Park *et al.*, 1976; Chang, 1979; Kim *et al.*, 1980; Suk, 1981) 있지만 海底堆積物內 重金屬 含量에 關한 研究는 鎮海灣 및

釜山近海에 限定되었다(Lee *et al.*, 1974; Hyun, 1974; Lee and Han, 1978; Hong, 1981). 調查海域周圍 韓國沿近海底堆積物에 대해서는 東海에서 地化學元素成分(Choe, 1970)과 黃海南東海域(Chough, 1983)에서 調查되었으며 그 외는 部分的으로 調查되었다.(Kim *et al.*, 1975; Kim *et al.*, 1981; Park and Kim, 1981).

本 研究를 위하여 많은 助言을 주신 海洋研究所 韓相俊博士, 서울대학교 李昌馥博士, 本 論文을 檢討해 주신 서울대 趙成權博士, 重金屬分析을 도와준 海洋研究所 李東洙研究員과 製圖를 한 權秀才氏, 李鍾凡君께 感謝드린다.

研究地域 概況

濟州島周圍 調查海域은 北緯 33°00'~33°50'과 東經 126°00'~127°00' 사이의 大陸棚發達이 良好한 水深 70~120m의 海域이다. 本 調查地域內에 位置한 濟州島는 第三紀末 플라리오세에서 第四紀에 이르는 火山活動에 의해서 生成된 阿斯피테型 火山島로써 玄武岩, 粗面安山岩, 粗面岩의 火山岩類와 火山碎屑物 및 堆積岩類가 分布한다(Won, 1976; 大韓地質圖, 1981). 南海沿岸 調查海域은 北緯 34°40'~35°10', 東經 128°00'~

128°50' 사이의水深 10~30m 海域이다. 南海調查地域周圍는 海岸線이 매우 複雜한 Ria 型海岸으로 크고 작은 半島와 灣의 연속으로 되어 있다. 또한 巨濟島, 南海島, 加德島를 비롯하여 수많은 島嶼가 있어 多島海를 이루며 이들 島嶼의 海岸線 역시 複雑한 양상을 띤다. 陸上地質은 上部 侏羅紀~백악紀에 이르는 慶尙系堆積岩類가 主分布를 이루고 있으며 신라統末期의 火山活動과 關聯을 갖는 安山岩質岩과 崩국사花崗岩類, 馬山岩類가 分布한다(大韓地質圖, 1981).

調查海域附近 여수, 제주, 서귀포의 年平均水溫은 15.4°C, 17.7°C, 18.8°C이고, 年平均降雨量은 各各 1,383.4mm, 1368mm, 1680mm, 年平均風速은 4.1m/sec, 4.3m/sec, 3.7m/sec이다 (Suk, 1981). 濟州島周圍海域의 鹽分은 季節에 따라 甚한 차이를 나타내어 冬季에 33~34%, 夏季에 31.5~32%로 나타난다(Kim et al., 1980). 1977年 6월에 觀測한 南海沿岸調查海域의 鹽分은 鎭海外灣에서 33% 以上이고 기타 全地點에서 表層 및 底層을 通하여 33% 以下이다. 一般적으로 韓國沿近海에서의 6月中 鹽分이 33% 以上임을 감안할때 本 調查地域은 陸水流入에 의한 影響이 있음을 알 수 있다. 濟州海峽에서의 海潮流는 半日週潮에 起因된 潮流의 影響이 크며 대체로 동-서의 방향성을 가진다. 濟州島周圍 東岸의 유도水道에서는 3노트의 流速을 갖는 潮流가 漲潮時에는 北北西로, 落潮時에는 南南東으로 흐른다. 濟州灣의 潮流는 漲潮時 西쪽으로, 落潮時에는 東쪽으로 海岸을 따라 흐르며 流速은 1.3노트이다(韓國海洋地理, 1953) 南海沿岸 調查地域內 海流의 流動은 主로 潮汐에 隨伴되는 往復性 潮流로서 半日週潮流가 優勢하며 表層, 中層, 底層에서 유사한 樣相이다(Lee et al., 1974). 漲潮流時 流速이 1노트이상인 곳은 加德島西岸, 巨濟島東端 및 南端, 속지도 및 南海西端水路附近等이며 그외는 1노트미만으로 미약하다. 落潮流는 漲潮流에 비해 약간 弱세하다. 潮汐은 馬山에서 半日週潮로 形成되어있는 반면에 다른 지점에서는 半日週潮가 強한 混合潮의 성격을 띠며 大潮와 小潮의 出現이 모든 地點에서 存在한다. 大潮差는 여수 3.0m, 충무 2.4m, 제주 2.0m이며 小潮差는 여수 1.0m, 충무 1.0m,

제주 0.8m로 작아진다.

材料 및 實驗方法

韓國南海沿岸 海底堆積物은 1977年 6月 19個 定點에서, 濟州島周圍 海底堆積物은 1977年 12月 부터 1978年 2월에 걸쳐 20個 定點에서 Phleger gravity corer와 Snapper를 使用하여 採取하였다. (Fig. 1-a,b) 採取된 標品은 冷凍器속에 保管하여 實驗室로 옮겨 60°C의 건조기내에서 24時間 乾燥시킨 후, 조개껍질, 나무토막, 자갈等を 除去한 후 手動粉末機에 넣어 微粉末化하였다. 微粉末은 #100非金屬性체로 친後 1.0g의 試料를 取하여 30ml 시험관속에 넣고 王水 10ml을 加한 다음 85~90°C 수증탕속에서 約 60分間 처리하였다(Johansson, 1975). 다시 各 試驗管속에 10ml의 증류수를 넣고 잘 혼합한後 15時間 방치한 후

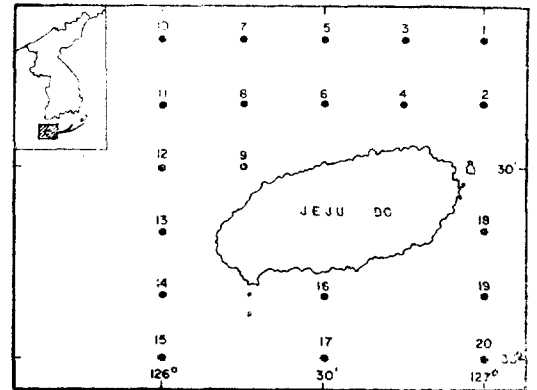


Fig. 1-a. Sampling locations around the Jeju Island in the study area.

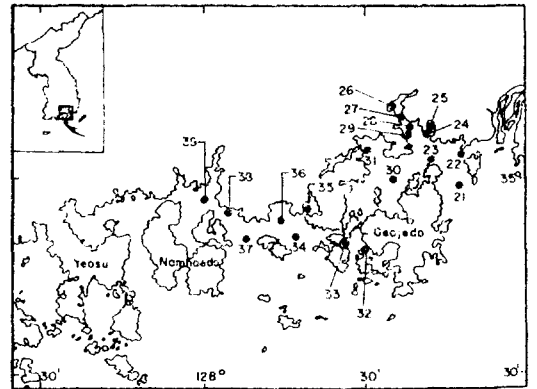
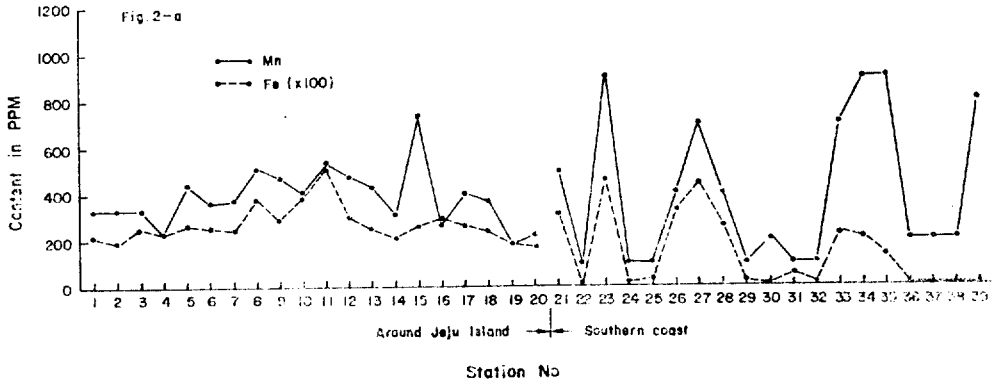


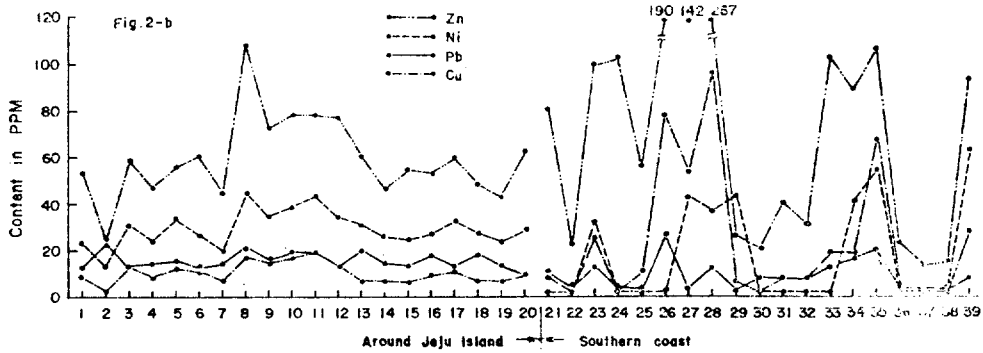
Fig. 1-b. Sampling locations of southern coastal area in the study area.

상층액으로 原子吸收分光機(IL 251)를 使用 各 元素의 含量을 測定하였다. Cu, Pb, Co, Ni의 含量測定은 上記 溶液을 아세틸렌-공기불꽃에 噴霧하여 吸光度를 測定하였으며 Zn, Mn, Cr은 증류수로 10배 희석, Fe는 150배 희석한 후 吸光度를 測定하였다. 이때 使用된 吸收波長은 各各

Cu: 324.7nm, Pb: 283.3nm, Co: 240.7nm, Ni: 232.0nm, Zn: 213.9nm, Mn: 403.1nm, Cr: 357.9nm, Fe: 271.9nm이다. 各 成分原素의 相關關係를 求하기 위하여 電算機(VAX 780)를 使用 直線回歸方程式을 求하였다.



(a)



(b)

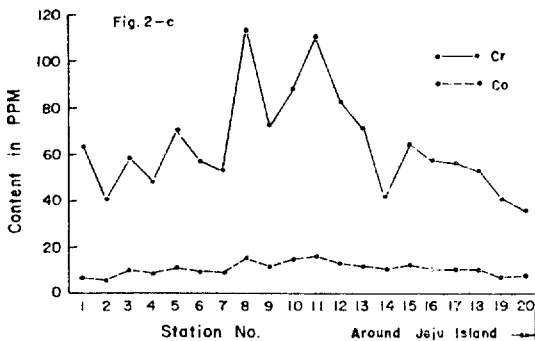


Fig. 2-a, b, c. Variation of metal contents at each station in the study area.

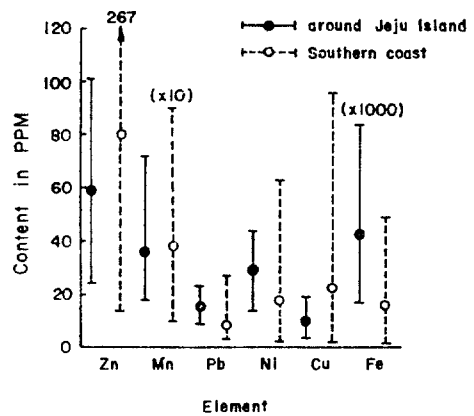


Fig. 3. Geographic metal content versus element in the study area.

結果 및 考察

調査海域內 濟州島周圍 表層海底堆積物과 南海沿岸 表層堆積物內에 含有된 重金屬類의 含量은 表-1과 같다. 表-2는 調査海域 및 韓國周圍海域과 世界主要海域에서의 汚染·非汚染環境下에서 含有된 重金屬類의 含量을 나타낸다. 調査地域內 濟州島周圍堆積物에서는 上記한 8重의 全元素를, 그리고 南海沿岸堆積物에서는 Cr, Co를 제외한 6種만의 重金屬을 分析하였다. 各元素의 定點別 含量分布는 그림 2와 같다. 濟州島周圍地域에서는 一般의으로 全元素間에 비슷한 含量分布를 보이며 北西部 細粒堆積物分布地域에서 더 높은 傾向을 보인다. 南海沿岸에서는 馬山灣·鎭海內灣에서 뚜렷이 높은 Zn, Cu含量과 함께 全地域에서 복잡한 양상을 띄어 地域的 境

향성이 나타나지 않는다. 相異한 두 地域에서 各元素의 含量을 比較하면 Zn과 Cu가 심한 變化幅을 보이지만 기타원소는 變化幅이 크지 않다(Fig. 3). 海底堆積物內 含有된 各元素成分에 對해 考察하면 다음과 같다.

아연 (Zn)

濟州島周圍 堆積物中的 Zn 含量은 24.3~108.0 ppm(平均 59.1ppm)이며 南海沿岸에서는 14.0~267.0ppm(平均 79.5ppm)으로 더 높은 값을 나타낸다. 地域的 分布를 보면 濟州島周圍에서는 粒度平均이 7φ以上인 北西部地域이 기타地域에 비해 약 1.5배이상 높다. 南海沿岸에서는 馬山灣과 鎭海灣(St. 21, 23, 24, 26, 27, 28)과 固城灣·統營灣部近인 St. 33, 34, 35에서 80ppm 以上の 高含量이다. 馬山灣 鎭海灣의 高含量은 隣近陸上에서의 産業活動에 의한 人爲的인 結果로 사료된다. 특히 馬山灣·鎭海內灣의 含量은 142~

Table 1. Concentration of metal elements in the study area. (ppm, except for Fe, which is in %, Mz is mean grain size of sediments)

Station	Location		Water Depth (m)	Zn	Mn	Cr	Pu	Co	Ni	Cu	Fe (%)	Mz (φ)
	Latitude	Longitude										
1	33°50'N	127°00'E	90	52.8	334.1	63.8	13.0	7.4	23.7	8.6	2.1	2.7
2	33°40'N	127°00'E	120	24.3	333.1	40.9	23.4	6.0	13.9	3.5	1.9	1.7
3	33°50'N	126°45'E	55	58.5	351.5	58.2	12.8	10.0	30.8	13.5	2.5	3.5
4	33°40'N	126°45'E	127	46.8	233.9	48.2	14.4	8.7	24.6	9.3	2.3	3.1
5	33°50'N	126°30'E	84	55.7	437.6	70.7	15.9	10.6	33.0	12.5	2.6	4.1
6	33°40'E	126°30'E	112	60.2	362.0	57.7	12.4	9.8	26.5	11.3	2.5	2.7
7	33°50'N	126°15'E	74	44.6	372.4	52.9	14.0	8.8	19.9	7.6	2.4	3.3
8	33°40'N	126°15'E	98	108.0	513.7	113.8	21.5	14.9	44.3	16.9	3.8	7.1
9	33°30'N	126°15'E	100	72.5	469.2	71.6	16.1	11.5	34.7	15.2	2.9	7.4
10	33°50'N	126°00'E	95	78.2	405.1	88.2	19.2	14.7	38.2	16.7	3.8	7.7
11	33°40'N	126°00'E	95	77.9	532.2	110.1	19.4	15.9	43.1	19.0	5.1	8.4
12	33°30'N	126°00'E	100	76.5	476.1	81.5	13.6	12.9	34.0	12.6	3.0	7.9
13	33°20'N	126°00'E	105	60.4	430.1	70.9	19.6	12.0	31.0	6.9	2.5	2.5
14	33°10'N	126°00'E	100	46.4	316.0	41.8	14.1	10.5	25.8	6.8	2.1	3.7
15	33°00'N	126°00'E	115	54.0	725.6	63.7	13.6	12.0	24.3	6.3	2.6	2.0
16	33°10'N	126°30'E	107	53.3	265.5	57.2	17.6	10.5	27.2	8.8	2.9	3.4
17	33°00'N	126°30'E	106	58.8	398.8	56.1	13.2	10.3	32.2	11.3	2.6	3.6
18	33°20'N	127°00'E	100	48.3	370.1	52.6	18.0	10.6	27.2	7.4	2.4	5.1
19	33°10'N	127°00'E	106	42.8	180.0	41.0	13.1	6.8	23.7	7.2	1.8	3.3
20	33°00'N	127°00'E	100	61.9	219.1	36.0	9.2	7.5	20.8	9.4	1.7	2.2
Range				24.3~108.0	180.0~725.6	36.0~113.8	9.2~23.4	6.0~15.9	14.0~44.3	3.5~19.0	1.9~5.1	1.7~8.4
Average				59.1	362.6	63.8	15.7	10.0	28.9	10.5	2.7	4.3

21	34°59'E	128°47'E	25	80	500	10	2	8	3.15	
22	35°04'E	128°48'E	3	22	100	4	2	2	0.04	
23	35°03'N	128°42'E	25	89	900	13	32	25	4.60	
24	35°07'N	128°41'E	10	102	100	4	2	2	0.14	
25	35°08'N	128°42'E	5	56	100	3	2	11	0.29	
26	35°11'N	128°35'E	6	190	400	27	43	78	3.35	
27	35°09'N	128°36'E	15	142	700	4	37	54	4.42	
28	35°08'N	128°38'E	10	267	400	12	43	96	2.60	
29	35°07'N	128°38'E	13	26	100	3	2	6	0.19	
30	35°00'N	128°35'E	23	21	200	8	2	2	0.09	
31	35°04'N	128°30'E	13	40	100	8	2	8	0.50	
32	34°49'N	128°29'E	10	31	100	8	2	8	0.16	
33	34°50'N	128°26'E	8	103	700	13	2	19	2.30	
34	34°51'N	128°17'E	11	89	900	17	41	19	2.10	
35	34°55'N	128°19'E	5	106	900	10	55	68	1.30	
36	35°54'N	128°14'E	8	23	100	4	2	2	0.01	
37	34°51'N	128°08'E	17	14	100	4	2	2	0.01	
38	34°55'N	128°04'E	10	15	100	3	2	2	0.03	
39	34°57'N	128°00'E	5	94	800	8	63	28	4.91	
Range				14~267	100~900		3~27	2~63	2~96	0.01~4.91
Average				795	384		8.6	17.8	23.2	1.59

267ppm으로 世界沿岸堆積物의 平均含量 95ppm (Wedephol, 1980)보다 무려 1.5~3배나 높다. 그러나 이 地域을 제외한 기타지역은 世界沿岸平均含量보다 적다(Wedephol, 1960; Ishibashi *et al.*, 1958, 59, 60). 代表的인 汚染地인 New Bedford港에서는 灣內가 1,550ppm, 港外側이 484ppm, 外灣이 315ppm인 반면 灣內 表層下 60cm 시료는 150ppm으로 심한 汚染結果를 나타냈고(Stoffers, 1977) Severn 河口에서는 470ppm (Butterworth *et al.*, 1972)으로 本 調査地域보다 월등히 높았다(表-2參照). 固城灣, 統營灣部 近의 높은 含量에 대해서는 더 깊은 원인조사(例, 海底地質構造, 隣近陸上의 鑛床調査, 産業活動等)가 要求된다.

망간(Mn)

濟州島周圍 堆積物內의 Mn含量은 179.9~725.6ppm(平均 362.6ppm)이며 南海沿岸에서는 100~900ppm(平均 384ppm)으로 濟州島周圍보다 약간 높게 나타났다. 濟州島周圍에서는 礫質砂가 分布하는 St. 15에서 725.6ppm으로 가장 높고 東南部 St. 19, 20에서 低含量을 보이지만 전체적으로 含量의 變化幅이 적은 편이다. 이와는 달리 南海沿岸堆積物에서는 地域別 含量變化幅

이 상당히 심하며 馬山灣 鎮海灣의 St. 21, 23, 27, 統營灣·固城灣의 St. 33, 34, 35, 普州灣의 St. 39에서는 500ppm 以上の 高含量을 나타낸다. 既 調査된 馬山灣 鎮海灣의 含量은 1974年 100~600ppm(Lee *et al.*), 1978年 333~1010ppm(平均 499ppm)(Lee and Han)으로 亦是 含量의 變化幅이 심한 것으로 報告되었다. 京畿灣에서는 543ppm(Kim *et al.*, 1979)이었고, 西海 榮山江 河口 및 隣近大陸棚地域에서는 592ppm (Kim, 1979), 東海에서는 664.2ppm (Choe, 1971)으로 本 調査地域보다 높게 나타났다. 日本淺海底의 平均含量은 390ppm(Yamamoto *et al.*, 1968)으로 本 調査値와 비슷하며 世界沿岸堆積物의 平均含量은 850ppm(Wedephol, 1960)으로 報告되었다(表-2 參照).

크롬(Cr)

濟州島周圍 堆積物中の Cr含量은 36.0~113.8 ppm(平均 63.8ppm)이며 地域적으로는 濟州島北西部 St. 8, 9, 10, 11에서 71.6~113.8ppm으로 기타지역보다 1.5~2배정도 높았다. 本 調査値는 西海 榮山江河口 및 隣近大陸棚地域의 58ppm (Kim, 1979)에 比較해서는 比較的 높은 값이지만 世界沿岸堆積物의 平均含量 100ppm(Wedephol,

Table 2. The distribution of metal elements in various nearshore and offshore deposits. (Unit in ppm, except for Fe, which is in %)

Locality	Zn	Mn	Cr	Pb	Co	Ni	Cu	Fe	References
Korean Sea	Around Jeju Island (sand)	51.3	355.3	54.1	14.9	9.4	25.6	8.7	2.3
	(mud)	82.6	479.3	93.4	17.9	13.9	38.9	16.1	3.7
	Southern coast	79.5	384		8.6		17.8	23.2	1.59
	Jinhae Bay	76			28		34		Hong 1981
	Masan, Jinhae Bay	29~120	100~600		2.5~12.4	1~16	2~38		Lee <i>et al</i> 1974
	Jinhae, Busan Area	111	499		28	13	29	18	Lee <i>et al</i> 1978
	Kyunggi Bay	83	543				26	12	Kim <i>et al</i> 1979
	Kyunggi Bay	167	455		32	7	19.7	9.9	Chang <i>et al</i> 1981
	Young San Estuary, Continental Shelf	83.4	592	58	19.2	12			Kim 1979
	Unpolluted Area	Nanao Bay, Japan	51±7			55±6	6±2	14±5	27±16
Nanao Bay, Japan		139±60			17±8	5±1	20±5	18±5	Yamamoto <i>et al</i> 1977
Coastal deposits around Honshu Island, Japan(mud)		114±15			21±12	7±5	20±14	35±45	Ishibashi <i>et al</i> 1958, 59, 60
(sand)		73±74			11±9	4±5	11±8	13±20	
Shallow water sediment, Japan		51	390	55	55	6	14	27	Yamamoto <i>et al</i> 1968 a.b.
Baltic Sea		110	4,030	90	25	22	43	78	Manheim 1961
Gulf of Paria			2,000	100	20	12	31	17	Hirst 1962
Puget Sound		99		347	15.7	45	42		Schell 1977
Wareham Bay		73.4			76	12.8	25.8	18	Boyden 1975
Polluted Area		Holes Bay	158.2			146	16.8	52.6	44.4
	New Bedford Harbour (Surface)	315~1,550			104~616			117~3,136	Stoffers 1977
	(-60cm)	150			20			20	
	Swan Sea Bay	128			126			81	Bloxam <i>et al</i> 1972
	Severn estuary	470			163				Btterworth <i>et al</i> 1972
	Severn estuary	280	1,820		119	7	36	38	Holdgate 1975
	Sorrfjord (West Norway)	20,016			11,367			2,424	Skei <i>et al</i> 1972
	World, Nearshore sediment(average)	95	850	100	20	13	55	48	Wedephol 1960
	Continental Crust (average)	70	950	100	12.5	25	75	55	Taylor 1964
	Sand stone (average)	16	390	35	7	0.3	2	15	Turekian & Wedephol 1961
Shale (average)	95	850	90	20	19	28	45	" "	

1960), 非汚染地域인 Baltic海의 平均含量 90ppm (Manheim, 1961) 보다는 낮다(表-2 參照)

납(Pb)

海底堆積物中の Pb含量은 濟州島周圍에서 9.2~23.4ppm(平均 15.7ppm)이고 南海沿岸에서는 3~27ppm(平均 8.6ppm)으로 濟州島周圍가 多少 높았다. 濟州島周圍의 地域的 分布는 東北部 St. 1에서 最高 23.4ppm이나 全體的으로 變化幅은 적다. 南海沿岸에서는 馬山灣에서 27ppm으로 最高值이고 地域的 變化가 크게 나타난다. 既 報告된 鎭海灣의 含量은 1974年 2.5~12.4ppm(Lee *et al.*), 1978 28ppm(Lee and Han), 1981年 28ppm(Hong)이었다. 또한 榮山江河口 및 隣近地域에서는 本 調査值보다 약간 높은 19.2ppm으로 보고되었다(Kim, 1979). 非汚染海域에서의 含量은 日本淺海堆積物이 55ppm(Yamamoto *et al.*, 1968), Paria灣 20ppm(Hirst, 1962), Baltic海 25ppm(Manheim, 1961), 世界沿岸地域의 平均含量이 20ppm(Wedephol, 1960)으로 馬山灣을 除外한 全地域이 이들보다 낮다. 汚染地인 New Bedford港은 最高 616ppm(Stoffers, 1977), Swan 海灣은 126ppm(Bloxam *et al.*, 1972), Severn 河口은 163ppm(Butterworth *et al.*, 1972)으로 本 調査含量보다 현저히 높았다(表-2 參照)

코발트(Co)

濟州島周圍 堆積物의 Co含量은 6.0~15.9ppm(平均 10.0ppm)이다. 濟州島周圍 細粒堆積物이 分布하는 北西部 St. 8, 9, 10, 11은 타지역에 비해 비교적 含量이 높다. 韓國西海 榮山江河口 및 隣近地域의 平均含量은 12ppm(Kim, 1979), 南海東部 沿岸地域에서는 平均 13ppm(Lee and Han, 1978)으로 本 調査值보다 약간 낮은 값이다. 또한 日本 Nanao灣, 혼슈주위 沿岸 및 淺海堆積物中の 平均含量인 6 ± 2 ppm, 4 ± 5 ppm, 6ppm (Yamamoto *et al.*, 1968; Ishibashi *et al.*, 1958, 59, 60; Yamamoto *et al.*, 1977)보다 약간 높고 世界沿岸의 平均含量 13ppm 보다는 낮다.

니켈(Ni)

濟州島周圍 堆積物中の Ni含量은 14.0~44.3 ppm(平均 28.9ppm)이며 南海沿岸은 2~63ppm(平均 17.8ppm)으로 濟州島周圍가 南海沿岸에

비해 높게 나타났다. 濟州島周圍에서는 細粒堆積物이 分布하는 St. 8, 9, 10, 11이 타 지역에 비해 높다. 南海沿岸에서는 地域別 變化幅이 아주 커 馬山灣, 鎭海灣 St. 23, 26, 27, 28地點, 固城灣, 統營灣의 St. 34, 35地點, 普州灣인 St. 39地點에서 30ppm 以上の 高含量으로 他지역에 비해 두려 15배나 높다. 馬山灣, 鎭海灣의 相對的高含量은 周圍産業活動에 의한 結果로 看做되지만 固城灣, 統營灣, 普州灣의 高含量은 周圍陸上의 人爲的인 汚染이 없거나, 아주 적음을 감안할때 더 깊은 원인조사가 要求된다. 既 調査된 馬山, 鎭海灣의 含量은 2~38ppm(Lee *et al.*, 1974)으로 變化가 심하며 鎭海灣에서 釜山에 이르는 海域에서 22~32ppm(平均 29ppm)(Lee and Han, 1978)으로 本 調査平均値보다 약간 높게 나타났다. 그리고 日本 Nanao灣의 20 ± 5 ppm(Yamamoto *et al.*, 1977), 日本淺海堆積物의 14ppm(Yamamoto *et al.*, 1968)보다는 다소 높지만 非汚染地域인 Baltic海의 43ppm(Manheim, 1961), Paria灣의 31ppm(Hirst, 1962)에는 미치지 못하며 特히 世界沿岸堆積物의 平均含量 55ppm(Wedephol, 1960)보다는 아주 낮은 값이다(表-2 參照)

구리(Cu)

濟州島周圍 堆積物中 Cu含量은 3.5~19.0ppm(平均 10.5ppm)이고 南海沿岸에서는 2~96ppm(平均 23.2ppm)으로 南海沿岸이 더 높다. 地域的 分布를 보면 濟州島周圍에서는 細粒堆積物이 分布한 北西部가 他지역에 비해 1.5~2배 높다. 南海沿岸에서는 變化幅이 심하며 馬山灣, 鎭海內灣에서 50ppm 以上の 高含量을 보인 반면 灣外側으로 갈수록 낮아진다. 既 調査된 鎭海灣 및 釜山近海의 含量은 10~48ppm(平均 18ppm)(Lee and Han, 1978), 鎭海內灣 34ppm(Hong, 1981)으로 年度別 增加하는 傾向을 보여 産業活動에 의한 汚染이 增加趨勢임을 보여준다. 濟州島周圍는 西海 榮山江河口 및 隣近해역의 9.9ppm(Kim, 1979)보다 낮다. 日本 혼슈주위 沿岸堆積物中 礫에서는 35 ± 45 ppm, 모래에서 13 ± 20 ppm(Ishibashi *et al.*, 1958, 59, 60)이었고 日本 淺海堆積物의 平均含量이 27ppm(Yamamoto *et al.*, 1968), 世界沿岸平均含量은 48ppm(Wede-

phol, 1960)인 바 本 調査地域은 馬山灣 鎮海內灣과 固城灣의 高含量을 除外하고는 전체가 낮은 함량이다. 馬山灣, 鎮海內灣은 隣近陸上의 産業活動에 의한 汚染이 심한 것으로 나타난다. 그러나 St. 35地點에 대해서는 더 깊은 원인조사가 요구된다.

철(Fe)

濟州島周圍 堆積物中 Fe含量은 1.9~5.1% (平均 2.7%)이고 南海沿岸에서는 0.01~4.91% (平均 1.59%)로 濟州島周圍가 더 높게 나타났다. 地域的인 分布는 濟州島周圍에서는 北西部 St. 8, 9, 10, 11, 12가 7% 以上으로 他地域보다 높았고 南海沿岸에서는 馬山, 鎮海灣 St. 21, 23, 26, 27, 晉州灣인 St. 39에서 3% 以上이며 地域別 變化幅이 크다. 相對的인 含量比較를 하면 馬山灣, 鎮海灣이 특히 높아 産業活動에 의한 인위적인 汚染結果로 思料되지만 아직까지 世界非汚染地域의 平均含量에는 미치지 못한다. 京畿灣에서는 2.47%(Kim *et al.*, 1979), 榮山江河口 및 隣近地域에서 3.8%(Kim, 1979)가 報告되었으며 馬山灣, 鎮海灣은 1974年, 78年에 各各 0.3~0.8%, 3.1~5.3%로 역시 심한 含量變化가 나타났다(Lee *et al.*, 1974; Lee and Han, 1978). 또한 崔(1971)는 東海南部の 大陸棚海底에서 0.57~0.99%인 低濃度の 底質이 發達되나 迎日灣 以北海底에서는 4.01~5.50%의 比較的 높은 含有量을 나타낸다고 報告한 바 있다.

海底堆積物特性 및 微量元素의 相關關係

濟州島周圍 海底堆積物의 粒度分布는 大部分의 地域에서 역함유펄질모래가 分布하고 北西部 地域에서는 사질펄과 펄의 분포도 나타난다(Suk,

1981). 粒度平均値는 1.7~8.4φ(平均 4.3φ)이다. 南海沿岸에서는 全體的으로 細粒堆積物이 우세하며 특히 鎮海灣附近에서는 점토질펄, 사질펄이 分布한다(Park *et al.*, 1976). 本 調査地域內 濟州島周圍에서 微量金屬元素의 分布는 北西部 細粒堆積物地域에서 전체적으로 높은 含量이다. 表-2에서 보듯이 이 地域의 含量은 世界여러 地域에 비해 낮은 含量이다. 이것은 人爲的 또는 産業活動에 의한 汚染物質의 流入이 없음을 意味한다.

Fig. 4~19는 濟州島周圍 堆積物中의 微量元素 成分間의 相關關係를 나타낸다. Zn—Cu, Ni—Cu, Fe—Cu, Cr—Cu, Co—Zn, Ni—Zn, Cr—Zn, Ni—Co, Fe—Co, Cr—Co, Fe—Ni, Cr—Ni, Cr—Fe, 및 Cu—φ, Fe—φ, Ni—φ間에는 密接한 正의 直線相關關係가 나타났으며 各 成分間에는 다음과 같은 關係式이 成立된다.

- Zn=3.57Cu+21.02 (r=0.84)
- Ni=1.65Cu+11.54 (r=0.89)
- Fe=0.16Cu+0.98 (r=0.83)
- Cu=4.20Cu+19.03 (r=0.80)
- Co=0.12Zn+3.33 (r=0.81)
- Ni=0.38Zn+6.48 (r=0.88)
- Cr=1.04Zn+2.29 (r=0.85)
- Ni=2.55Co+3.02 (r=0.89)
- Fe=0.27Co-0.16 (r=0.90)
- Cr=7.07Co-11.46 (r=0.88)
- Fe=0.09Ni+0.08 (r=0.86)
- Cr=2.51Ni-9.46 (r=0.89)
- Cr=24.71Fe-2.60 (r=0.92)
- φ=0.44Cu-0.72 (r=0.83)

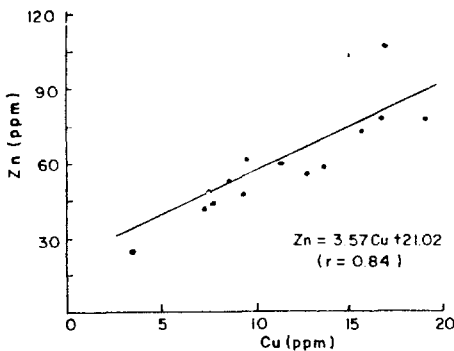


Fig. 4. Relationship between Zn & Cu contents.

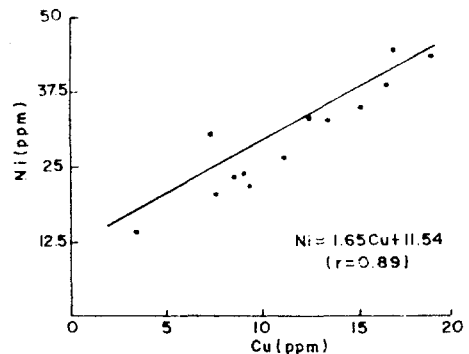


Fig. 5. Relationship between Ni & Cu contents.

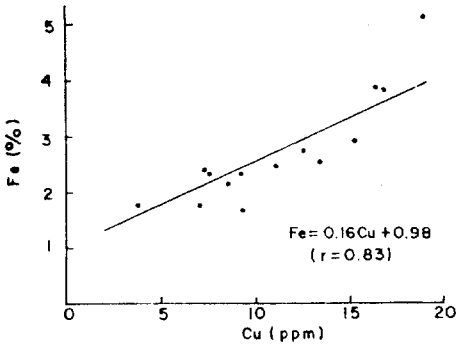


Fig. 6. Relationship between Fe & Cu contents.

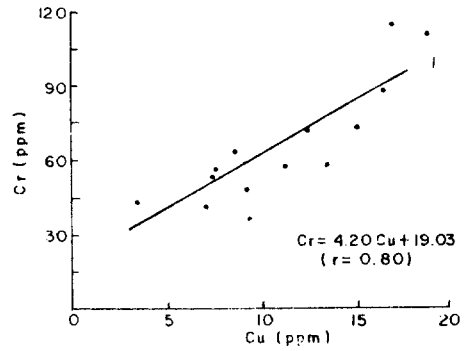


Fig. 7. Relationship between Cr & Cu contents.

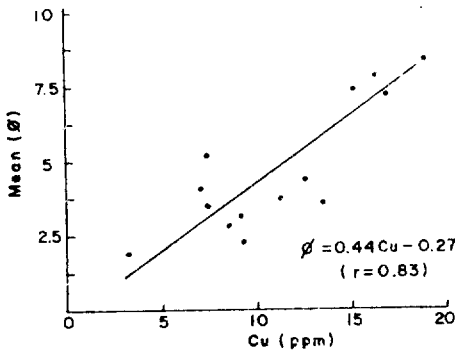


Fig. 8. Relationship between Mean & Cu contents.

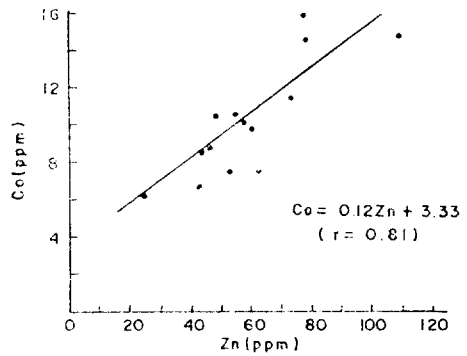


Fig. 9. Relationship between Co & Zn contents.

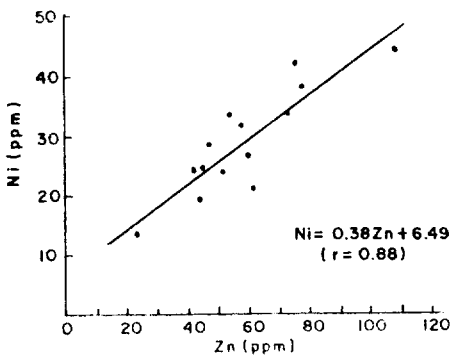


Fig. 10. Relationship between Ni & Zn contents.

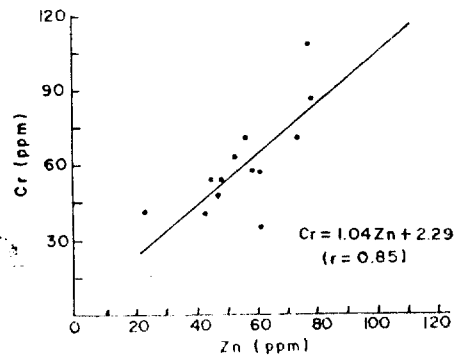


Fig. 11. Relationship between Cr & Zn contents.

$$\phi = 0.23\text{Ni} - 2.44 \quad (r = 0.83)$$

$$\phi = 2.17\text{Fe} - 1.46 \quad (r = 0.80)$$

堆積物の粒度와 微量元素의 相關關係는 Pb, Mn을 除外한 全 元素成分이 $r=0.7$ 以上으로 나타나 양호한 正의 直線 相關關係를 가지며, 粒子가 細粒일수록 元素의 吸着率이 큰 것으로 나타났다.

南海沿岸堆積物中の 重金屬含量은 地域차이가 심하며 전체적으로 馬山灣 鎭海灣이 다른 地域에 비해 상대적으로 높다. 이는 周圍陸上의 産業活動에 의한 汚染의 結果로 생각되며 固城灣, 統營灣, 晋州灣에서의 比較的 높은 含量은 隣近에 産業活動이 미약함을 감안할때 더 깊은 原因 調査가 要求된다. 微量元素成分間의 相關關係는

濟州島周圍와는 달리 Cu—Zn, Cu—Ni, Ni—Mn
에서만 $r=0.7$ 以上の良好한 正의 相關性이 있
으며 그 式은

$$\begin{aligned} \text{Cu} &= 0.39\text{Zn} - 8.22 (r=0.90) \\ \text{Cu} &= 1.01\text{Ni} + 5.21 (r=0.77) \\ \text{Ni} &= 0.05\text{Mn} + 0.10 (r=0.72) \text{이다.} \end{aligned}$$

南海沿岸堆積物中の 元素成分相互間の 相關關係
가 不良한 것은 濟州島周圍海域에 比해 全般的
으로 堆積環境이 地域別로 다르고 또한 陸上의
人爲的 活動에 따른 流入含量의 差異에서 온 것
으로 생각된다.

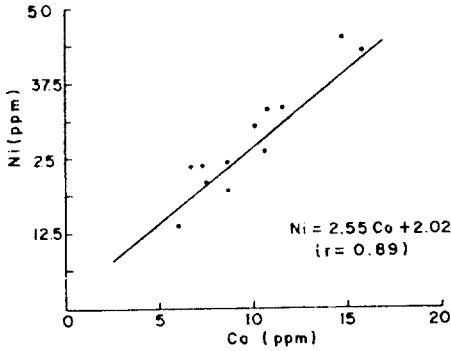


Fig. 12. Relationship between Ni & Co content.

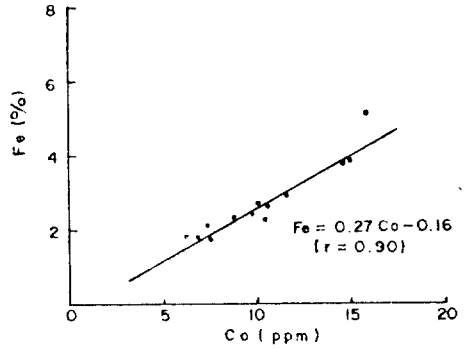


Fig. 13. Relationship between Fe & Co content.

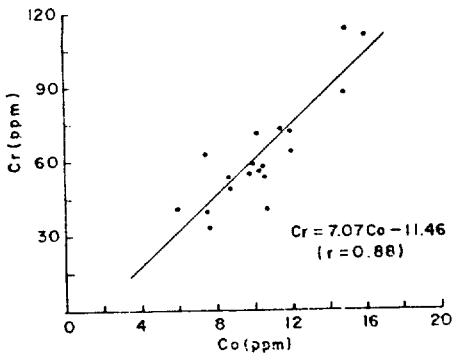


Fig. 14. Relationship between Cr & Co content.

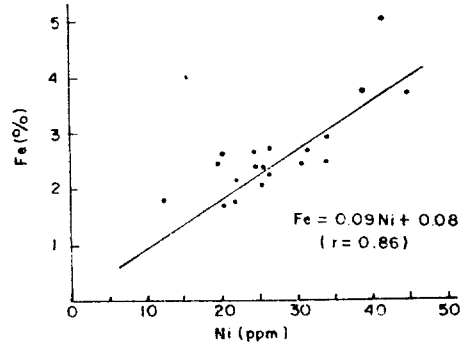


Fig. 15. Relationship between Fe & Ni content.

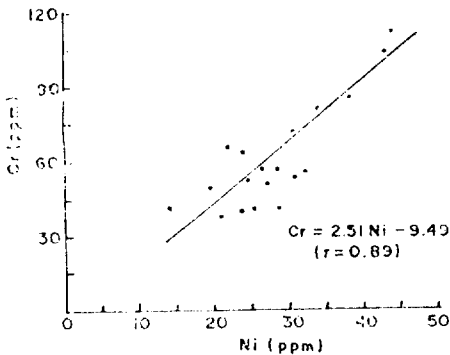


Fig. 16. Relationship between Cr & Ni content.

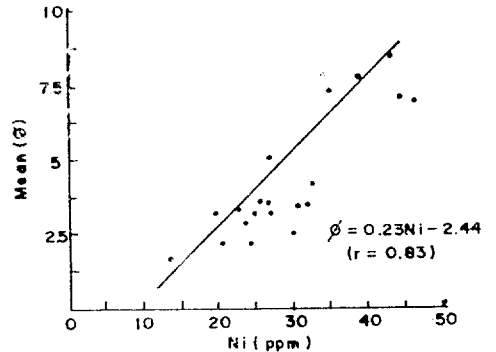


Fig. 17. Relationship between Mean & Ni content.

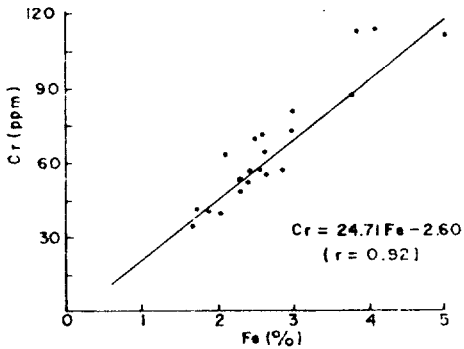


Fig. 18. Relationship between Cr & Fe content.

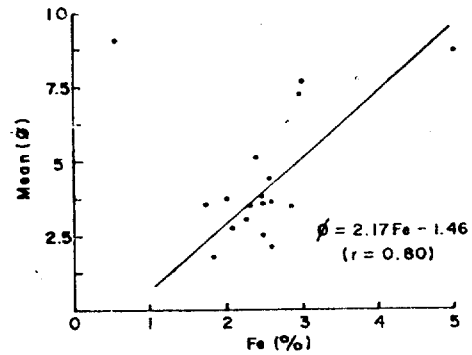


Fig. 19. Relationship between Mean & Fe content.

結 論

調査海域内 濟州島周圍 海底堆積物中에서 Zn, Mn, Cr, Pb, Co, Ni, Cu, Fe의 8種, 南海沿岸 海底堆積物中에서 Zn, Mn, Pb, Ni, Cu, Fe의 6種의 重金屬이 分析되었다.

濟州島周圍 및 南海沿岸堆積物中の 아연含量은 各各 24.3~108.0ppm(平均 59.1ppm), 14~267ppm(平均 79.5ppm). 망간은 179.9~725.6ppm(平均 362.6ppm), 100~900ppm(平均 384ppm). 납은 9.2~23.4ppm(平均 15.7ppm), 3~27ppm(平均 8.6ppm). 니켈은 14.0~44.3ppm(平均 28.9ppm), 2~63ppm(平均 17.8ppm). 구리는 3.5~19.0ppm(平均 10.5ppm), 2~96ppm(平均 23.2ppm). 철은 1.9~5.1%(平均 2.7%), 0.01~4.91%(平均 1.59%)이며 濟州海域周圍에서의 크롬과 코발트含量은 各各 36.0~113.8ppm(平均 63.8ppm)과 6.0~15.9ppm(平均 10.0ppm)이다.

濟州島周圍의 重金屬含量은 北西部地域의 細粒堆積物分布地가 他地域에 비해 높으며 全體의 으로 人爲的인 重金屬流入이 거의 없는 것으로 나타났다. 南海沿岸에서는 地域적으로 심한 變化를 보이며 特히 馬山灣, 鎮海內灣의 Zn과 Cu는 높은 含量을 나타낸다. 이는 陸上으로부터 유입된 汚染의 結果이며 기타地域은 아직까지 世界沿岸 및 非汚染地域의 平均含量보다 낮다. 濟州島周圍 海底堆積物의 微量元素成分間의 相關關係는 Zn—Cu, Ni—Cu, Fe—Cu, Cr—Cu, Co—Zn, Ni—Zn, Cr—Zn, Ni—Co, Fe—Co, Cr—Co,

Fe—Ni, Cr—Ni, Cr—Fe間에는 밀접한 正의 直線相關關係가 있으며 堆積物粒度와의 相關性은 Pb, Mn을 除外한 全 元素成分이 比較的 양호한 상관성을 나타내어 細粒 일수록 元素의 吸着率이 크다. 南海沿岸堆積物의 相關性은 Cu—Zn, Cu—Ni, 및 Ni—Mn에서만 良好하며 전체적으로 相關性이 不良하다. 特히 馬山, 鎮海內灣은 汚染程度가 他 地域에 비해 比較的 심하고 또 Cu와 Zn이 이 地域에서 高含量을 갖는 汚染元素임에도 不拘하고 이들 두 원소間에 뚜렷한 正의 相關關係를 갖는다는 것은 이들 元素가 陸上으로부터 流入되어 堆積物에 吸着沈澱되는 메카니즘이 類似함을 암시한다.

參 考 文 獻

- 大韓地質圖, 1981, 韓國動力資源研究所
 韓國海洋地理, 1953, 大韓民國 海軍水路局
 Bloxam, T.W., S.N. Aurora, L. Leach and T.R. Rees, 1972. Heavy metals in some river and bay sediments near Swan sea, Nature (Phys. Sci.), 239:158-159.
 Boyden, C.R. 1975. Distribution of some trace metals in Poole Harbour, Dorset, Mar. Pollu. Bull., 6(12): 180-185.
 Butterworth, J.P., Lester, and G. Nickless, 1972. Distribution of heavy metals in the Severn estuary, Mar. Pollu. Bull., 3:72-74.
 Chang, J.H., S.W. Kim and Y.A. Park, 1978. Sedimentologic natures of the bottom sediments between Mokpo and Cheongsan Island off the sou-

- thern coast of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 14(2): 17-23.
- Chang, S.K., C.B. Lee, B.C. Suk, T.M. Chung, H.Y. Yoo, S.Y. Kim and K.S. Lee, 1981, Coastal marine environments: Marine geology of the bay of Kyunggi, KORDI BSPE 00029-52-5.
- Choe, S. 1971. Studies on marine sediments of the Korean seas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6:1-15.
- Chough, S.K., 1983. Further evidence of fine-grained sediment dispersal in the southeastern Yellow Sea. *Sedi. Geol.*, in Press
- Hirst, D.M., 1962. Geochemistry of modern sediments from the Gulf of Paria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26:1147-1181.
- Holdgate, M.W., 1975. Trace elements in sediments from the Lower Severn Estuary and Bristol Channel, *Mar. Pollu. Bull.*, 6(6):92-96.
- Hong, K.H., 1981. A study on the geochemistry of suspended and bottom sediments in the Jinhae Bay, Korea, M.S. Thesis, Seoul National University, Korea.
- Hyun, K.S. 1974. The distribution of Copper, Iron and Zinc in shallow marine sediments, Jinhae Area. M.S. Thesis, Seoul National Univ., Korea.
- Ishibashi M., S. Ueda, Y. Yamamoto and F. Morh, 1958. Studies on the utilization of the shallow-water deposits (Continued). *Rec. Oceanogr. Works Japan* (Special No. 2):153-166.
- Ishibashi, M., S. Ueda and Y. Yamamoto, 1959a. Chemical studies on the ocean (LXX), (LXXI) *Bull. Inst. Chem. Research, Kyoto University*, 37 (1):26-37.
- Ishibashi, M., S. Ueda and Y. Yamamoto, 1959b. Studies on the utilization of the shallow-water deposits (Continued). *Rec. Oceanogr. Works. Japan* (Special No. 3):123-133.
- Ishibashi, M., S. Ueda and Y. Yamamoto, 1960. Studies on the utilization of the shallow-water deposits (Continued), *Rec. Oceanogr. Works Japan* (Special No. 4):111-122.
- Johansson, C.G., 1975. Manual of methods in aquatic environment research, FAO Technical paper No. 137.
- Kim, D.C. 1979. Recent clay minerals of the Yeongsan estuary and the adjacent continental shelf, M.S. thesis, Seoul Nat. Univ., Korea 49p.
- Kim, J.G., S.W. Kim, M.Y. Yang and C.H. Chang, 1975. Study on the bottom sediments in the middle-part of the Yellow Sea (Part V).
- Kim, S.W., G.H. Min, K.J. Cho, C.M. Kim, K.S. Park, W.S. Kim and W.C. Shin, 1980. Geophysical and geological study for base map of marine geology of Korean continental shelf between Jeju Island and Cheongsan Island southern coast, Korea. *Report Geoscience and Mineral Resources*, 9:15-33.
- Kim, S.W., Y.S. Park, S.C. Park, K.J. Cho, C.M. Kim, S.K. Park and W.S. Kim, 1979. Marine geological study of Kyunggi Bay, west coast of Korea, *KIGAM Bull. 07, Korea Res. Ins. Geosci. Mine. Reso.* 41.
- Kwon, N.Y. and S.J. Park, 1973. On the bottom sediments of off the southern coasts of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency* 10:39-52.
- Lee, D.S. and S.J. Han, 1978. The contents of heavy metals in sediments from the southeastern coastal area of Korea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 13(2):11-16.
- Lee, J.W., S.J. Han and O.K. Youn, 1974. Concentrations of heavy metals in sediments from the sea off Jinhae and Masan, Korea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9:31-38.
- Manheim, F.T., 1961. A geochemical profile in the Baltic Sea, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 25:52-70.
- Park, B.K., S.J. Han, O.K. Youn and H.H. Lee, 1976. Recent sediments of Jinhae Bay, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 12(3):113-123.
- Park, B.K. and W.H. Kim, 1981. The depositional environments of lagoons in the east coast of Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, 17(4):241-249.
- Park, Y.A. and M.Y. Song, 1971. Sediments of the continental shelf off the southern coasts of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6(1):16-24.
- Schell, W.R. and A. Nevissi, 1977. Heavy metals from waste disposal in Central Puget Sound, *Environ. Sci. & Tech.*, 11:887-893.
- Skei, J.M., N.B. Price, S. Calvert and H. Holtedahl, 1972. The distribution of heavy metals in sediments of Sorfjord, West Norway, *Water & Soil. Pollut.*, 1:452-461.
- Stoffers, P., C. Summerhayes, U. Förshner and S.R. Patchineclam, 1977. Copper and other heavy metal contamination in sediments from New Bedford

- Habor, Massachusetts: A preliminary Note. *Env. Sci. & Tech.*, **11**(8):819-821.
- Suk, B.C., 1981. Depositional environment of recent sediment on the continental shelf around the Jeju Island, *Bull. Korea Oce. Res. Dev. Ins.* **3**(2):123-131.
- Taylor, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**:1273-1285.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl, 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust: *Bull. Geol. Soc.* **72**:172-195.
- Wedepohl, K.H., 1960. Spureanalytisch untersuchungen an Tief see tonen aus dem Atlantik, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **18**:200-231.
- Won, C.K. 1976. Study of petro-chemistry of volcanic rocks in Jeju Island. *J. Geol. Soc. Korea*, **12**:207-226.
- Yamamoto, Y., 1968a. The chemical composition of shallow-water deposits of Nanao Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **24**:94-102.
- Yamamoto, Y., 1968b. Minor elements in shallow-water deposits from Nanao Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **24**:160-166.
- Yamamoto, Y., Y. Tanaka and S. Ueda, 1977. The chemical composition and nickel, cobalt, Copper, Zinc and lead contents of Nanao Bay sediments. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **33**:242-246.

HEAVY METAL CONTENT IN THE SEDIMENTS FROM THE CONTINENTAL SHELF AROUND JEJU ISLAND AND SOUTHERN COASTAL AREA, KOREA

**Bong-Chool Suk · **Byong-Kwon Park*

* Korea Ocean Research & Development Institute, KAIST

** Department of Environmental Sciences, Korea Military Academy

ABSTRACT

This study was intended to investigate the heavy metal contents in the bottom sediments of the continental shelf around the Jeju Island and of the southern coastal area of the Korean Peninsula. For this study 39 bottom sediment samples were taken from the study area using Phleger gravity corer and Snapper. The average contents of heavy metals were 59.1 ppm Zn, 362.6 ppm Mn, 63.8 ppm Cr, 15.7 ppm Pb, 10.0 ppm Co, 28.9 ppm Ni, 10.5 ppm Cu, and 2.7% Fe in the surficial sediments around the Jeju Island; and 79.5 ppm Zn, 384 ppm Mn, 8.6 ppm Pb, 17.8 ppm Ni, 23.2 ppm Cu, and 1.59 % Fe in those of nearshore of the southern coastal area respectively. The heavy metal contents were higher in the northwestern part around the Jeju Island compared to those in other region. However, these tendencies were not the result of pollution, but of the differences of grain size of the sediments. In the nearshore of the southern coast, the heavy metal contents did not show any geographical tendency. However, those of Masan and Jinhae Bays were higher than those of the other region. These seemed to be caused by waste disposal from the industrial complex located at the adjacent land. Nevertheless these values of heavy metal content except for Zn and Cu in Masan Bay and inner bay of Jinhae are lower than the average values of the world-wide data of the nearshore sediments.

The pair correlations of the each heavy metal elements were calculated by regression analysis using VAX 780 computer. The following pair elements, such as Zn—Cu, Ni—Cu, Cr—Cu, Co—Zn, Ni—Zn, Cr—Zn, Ni—Co, Fe—Co, Cr—Co, Fe—Ni, Cr—Ni and Cr—Fe show closely positive linear correlations in the sediments around the Jeju Island. In general, the heavy metal content increases in proportion to the increase of the mean values of the grain size of the sediments around the Jeju Island. In the southern coastal area, in general, the pair correlations of each heavy metal elements did not show any positive correlation except for the positive linear correlations of Cu—Zn, Cu—Ni, and Ni—Mn. It is interpreted as a result of the differences of the physico-chemical environment of the sampling sites and also of the influences of the industrial wastes from the manufacturing factories located at the coastal zone of the study area.