

## 溫山沿岸海域의 水銀汚染에 關한 研究

朴清吉 · 卞鍾律\* · 俞善在

釜山水產大學 環境工學科

\*中京工業專門大學 環境工業科

## Mercury Pollution in the Onsan Coastal Area

Chung-Kil PARK, Jong-Ryool PYEN and Sun-Jae YOU

*Department of Environmental Science and Engineering, National Fisheries University of Pusan  
Pusan 608-737, Korea*

*Department of Environmental Engineering, Jung Kyeng Technical College,  
Daejeon 300-100, Korea*

The concentration of mercury was measured in the seawater, sediment, *Mytilus edulis* and suspended solid in the coastal area of Onsan. Samples were collected at spring and neap tide in the period from October 9 to November 2, 1984.

The range and mean of mercury concentration in the seawater are 0.08~0.73 $\mu\text{g}/\text{l}$  and 0.19 $\mu\text{g}/\text{l}$ .

The range and mean of mercury concentration in the suspended solid was 0.70~17.0  $\mu\text{g}/\text{g}$  TSS and 4.6 $\mu\text{g}/\text{g}$  TSS respectively.

The average concentration of mercury in *Mytilus edulis* was 0.10mg/kg which was higher than that of the reference area, Chung Mu. The mean value of concentration factor of mercury in wet base is 500 in *Mytilus edulis*.

The average concentration of mercury in sediment was 0.15mg/kg.

### 緒 論

溫山灣은 그 沿岸에 非鐵金屬 關聯工場들이 밀집해 있고 이들 工場의 廢水가 隣近沿岸海域으로 流入되고 있다. 이 廢水中에는 各種 重金屬이 含有되어 있을 것으로 생각된다. 특히 灣內에는 共同漁場과 養殖場이 分布하고 있기 때문에 重金屬이 流入되면 그 量이 微量일지라도 水中生物에 蓄積되며 결국 먹이 連鎖過程을 거쳐 人體에 심각한 危害를 끼치게 된다(山縣, 1977).

이들 重金屬中 水銀에 의한 環境汚染은 특히 심각하다. 水銀汚染의 典型的인 例는 日本의 熊本縣 水俣灣에서 發生한 水銀中毒事件으로 많은 死亡者

를 냈으며 또한 生存者 中에서도 中樞神經障害에 의한 후유증등을 일으켜 커다란 社會問題를 일으켰다. 따라서 世界各國에서는 水銀汚染에 對한 危險性을 認識하여 水銀의 廢棄와 許用量에 對해 嚴格하게 規制를 하고 있으며 또한 組織의인 監視와 多角의인 調査를 行하고 있다. 그러나 우리나라에서는 農産物(金 등, 1980)과 海水(金과 元, 1974; 元 등, 1976) 및 生物(元, 1973; 黃, 1983)에 對한 약간의 調査가 있을 뿐이며 廣範하고 體系의인 研究는 거의 없는 實情이다. 특히 溫山灣을 對象으로 해서는 海水中的 水銀濃度에 對한 調査만 있을 뿐이다(韓國原子力研究所, 1979; 釜山水產大學, 1982, 83, 84).

따라서 本 研究에서는 溫山工業團地의 工場廢水가 流入되는 溫山沿岸海域의 水銀汚染實態를 把握하기 위하여 海水, 海水中 浮遊物質 그리고 棲息하고 있는 生物 및 底質中에 含有된 水銀量을 調査하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 試料採取

海水와 浮遊物質은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 大亭川 下流를 基點으로 全海域에 걸쳐 11個 地點을 選定하여 表層水와 底層水를 採水하였다.

棲息生物中 水銀濃度現況을 알기 위해 Fig. 1의 A~G地點에 있는 養殖垂下連表層과 底層에 附着되어 있는 眞珠담치(*Mytilus edulis*)를 採取하였다. 이들중 全長 5.0~8.0cm의 것을 分析用 試料로 使用하였으며 比較生物로서 淸淨海域인 淸州 앞바다에 棲息하고 있는 同種의 生物를 使用하였다.

底質中의 水銀含量을 알기위한 試料採取 地點은 生物採取 地點과 同一하며 大亭川下流 한 地點을 더 選定하였다.

試料採取時期는 1984年 10月 9日 大潮期와 11月 2日 小潮期에 밀물과 썰물때 各各 海水, 生物 및 底質을 採取하였다.

### 2. 分析方法

#### 1) 海水中 水銀定量法

海水中 水銀定量을 還元氣化 循環法으로 行하였다(EPA, 1975). 즉 海水 200ml를 삼각플라스크에 取하고 0.5N 黃酸 10ml, 濃窒酸 5ml와 과망간산칼륨 4g을 加해 잘 振盪·混合하고 約 15分間 放置後 5% 過황산칼륨 10ml를 加해 水浴上(95±5℃)에서 2時間 加熱分解시킨다. 窒溫까지 냉각시킨 후 과망간산칼륨의 赤紫色이 없어질 때 까지 10% 염산하이드록실아민을 加한다. 還元容器에 옮겨 10% 염화제1주석용액 10ml를 加한 즉시 窒氣循環펌프로 水銀을 氣化循環시켜 水銀檢出器(Yanaco model AMD-F2)로서 吸光度를 測定하였다.

#### 2) 浮遊物質中의 水銀定量法

浮遊物質中의 水銀을 定量하기 위해 海水 1 l를 유리섬유여과지로 여과한 후 여과지를 미리 純水 200ml가 취해져 있는 삼각플라스크에 넣고 0.5N 黃酸 10ml, 濃窒酸 5ml 및 과망간산칼륨 1g을 넣고 以下操作은 海水定量法과 同一하다.

#### 3) 生物 및 底質中 水銀定量法

生物 및 底質中 水銀定量은 環境汚染分析法(山縣과 大喜, 1973)에 의해 濕式分解한 후 原子吸光度法으로 定量하였다. 裝置는 Atomic Absorption Spectrophotometer(model IL 451)를 使用하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 海水中 水銀含量

採水地點別 水銀濃度測定 結果는 Table 1, 2와 같다. 大亭川과 唐月沿岸에서 가까운 地點 1, 2 및 10隣近海域에서 높은 濃度를 나타냈다. 表層과 底層을 포함한 全海域 濃度範圍는 大潮時 0.05~0.73  $\mu\text{g/l}$ 에 平均값이 表層 0.18  $\mu\text{g/l}$ , 底層 0.19  $\mu\text{g/l}$ 이며, 小潮時는 0.04~0.66  $\mu\text{g/l}$ 에 平均값이 表層 0.14  $\mu\text{g/l}$ , 底層 0.25  $\mu\text{g/l}$ 의 값을 나타내었다. 이들 값은 水中 生物의 生育에 阻害를 줄 수 있는 濃度인 0.10  $\mu\text{g/l}$  보다 높게 나타났다(EPA, 1977).

溫山灣의 경우 過去에 調査된 資料로서 韓國原子力研究所(盧, 1979)에서 報告한 水銀濃度는 平均 0.05  $\mu\text{g/l}$ , 釜山水產大學에 의해 報告된 水銀濃度는 1981年度 平均 0.10  $\mu\text{g/l}$ , 1983年度에 平均 0.23  $\mu\text{g/l}$  이었다. 따라서 溫山灣은 水銀汚染이 점차 增加되고 있음을 알 수 있다. 他海域과 比較해 보면 冬季 嶺海, 馬山海域(郭과 李, 1975)의 0.10~0.40  $\mu\text{g/l}$ 에 平均 0.13  $\mu\text{g/l}$ , 蔚山海域(元 등, 1976)에서 大潮時 0.01~0.19  $\mu\text{g/l}$ , 小潮時 0.01~0.10  $\mu\text{g/l}$ , 半月, 蔚山, 昌

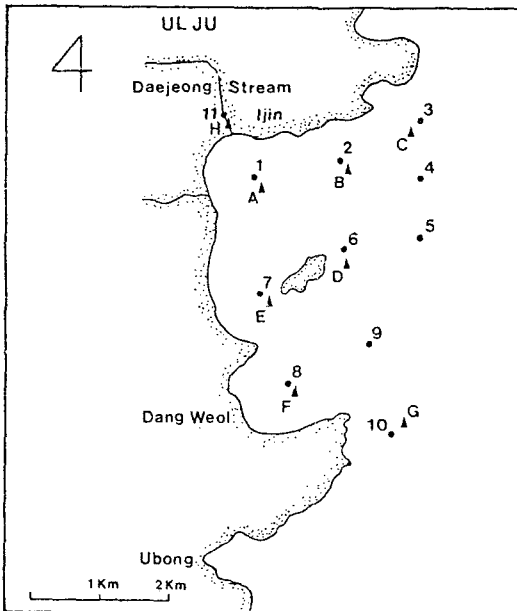


Fig. 1. Map showing the sampling stations for seawater(●: 1-10), sediment and mussel(▲: A-G) in Onsan coastal area

原, 麗川 隣近海域(Lee et al., 1981)에서  $0.02\mu\text{g}/\text{l}$  보다 다소 높은 값을 나타냈다.

Fig. 2~5는 水銀의 等濃度分布圖인데 Fig. 2와 Fig. 3은 大潮時이며, Fig. 4와 Fig. 5는 小潮時이다.

Table 1. Mercury concentrations in seawater of Onsan coastal area at spring tide on October 9, 1984

Station	Tide	Hg Concentration( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	
		Surface	Bottom
1	Flood	0.27	0.11
	Ebb	0.16	0.19
2	Flood	0.51	0.24
	Ebb	0.11	0.73
3	Flood	0.09	0.05
	Ebb	0.16	0.11
4	Flood	0.19	0.05
	Ebb	0.05	0.57
5	Flood	0.08	0.05
	Ebb	0.08	0.05
6	Flood	0.11	0.35
	Ebb	0.19	0.05
7	Flood	0.16	0.73
	Ebb	0.05	0.05
8	Flood	0.38	0.05
	Ebb	0.11	0.11
9	Flood	0.19	0.05
	Ebb	0.43	0.05
10	Flood	0.11	0.16
	Ebb	0.05	0.05
Range	Flood	0.09~0.51	0.05~0.73
	Ebb	0.05~0.43	0.05~0.73
Mean	Flood	0.21	0.18
	Ebb	0.14	0.20
11*		0.46	

11\*: Downstream of Daejeong stream

그림에서 보던 大亭川이 水銀汚染源임을 알 수 있으며 唐月 부근에서도 다소 높은 값을 나타냈고, 外海로 갈수록 減少하였다.

Table 2. Mercury concentrations in seawater of Onsan coastal area at neap tide on November 2, 1984

Station	Tide	Hg Concentration( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	
		Surface	Bottom
1	Flood	0.14	0.25
	Ebb	0.14	0.21
2	Flood	0.18	0.50
	Ebb	0.14	0.33
3	Flood	0.08	0.46
	Ebb	0.08	0.27
4	Flood	0.08	0.29
	Ebb	0.04	0.08
5	Flood	0.21	0.08
	Ebb	0.14	0.21
6	Flood	0.21	0.66
	Ebb	0.09	0.25
7	Flood	0.17	0.08
	Ebb	0.09	0.13
8	Flood	0.17	0.08
	Ebb	0.08	0.08
9	Flood	0.12	0.25
	Ebb	0.09	0.08
10	Flood	0.42	0.08
	Ebb	0.11	0.58
Range	Flood	0.08~0.42	0.08~0.66
	Ebb	0.08~0.14	0.08~0.58
Mean	Flood	0.18	0.27
	Ebb	0.10	0.22
11*		0.25	

11\*: Downstream of Daejeong stream

## 2. 浮遊物質 中 水銀含量

採水地點別 浮遊物質中 水銀含量은 Table 3, 4와 같으며 表層과 底層을 포함한 全海域 濃度範圍는 大潮時  $0.7\sim 17.0\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ 에 平均값이 表層  $5.4\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ , 底層  $3.6\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ 이며, 小潮時  $1.1\sim 15.5\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ 에 平均값이 表層  $3.4\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ , 底層  $5.9\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ 이었다. 이들 값은 Hakodate Bay(Katsuhiko et al., 1978)의  $0.59\sim 13.12\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ , 美國의 La Have River(Raymond and Buckley, 1971)의  $2.0\sim 34.4\mu\text{g}/\text{g-TSS}$ 와 비슷한 값이었다.

浮遊物質 中 水銀含量을 調査하는 것은 水中에서 水銀의 移動經路를 把握하기 위해 重要한데, 水中에 存在하는 水銀은 溶存態와 浮遊物質에 吸着 또는 附着된 形態로 區分되며 이들 中 浮遊物質에 있는 것은 결국 침강하여 底質에 吸着 또는 附着되어 底棲生物에 被害를 主게 된다. 吸着·附着率은 浮遊物質濃度, 水銀濃度, 鹽分濃度 및 測定方法에 따라 다소 變하나 海水中 水銀(Fitzgerald and Lyons, 1973)은 約 60% 以上이 浮遊物質과 結合되어 있다고 報告하였다.

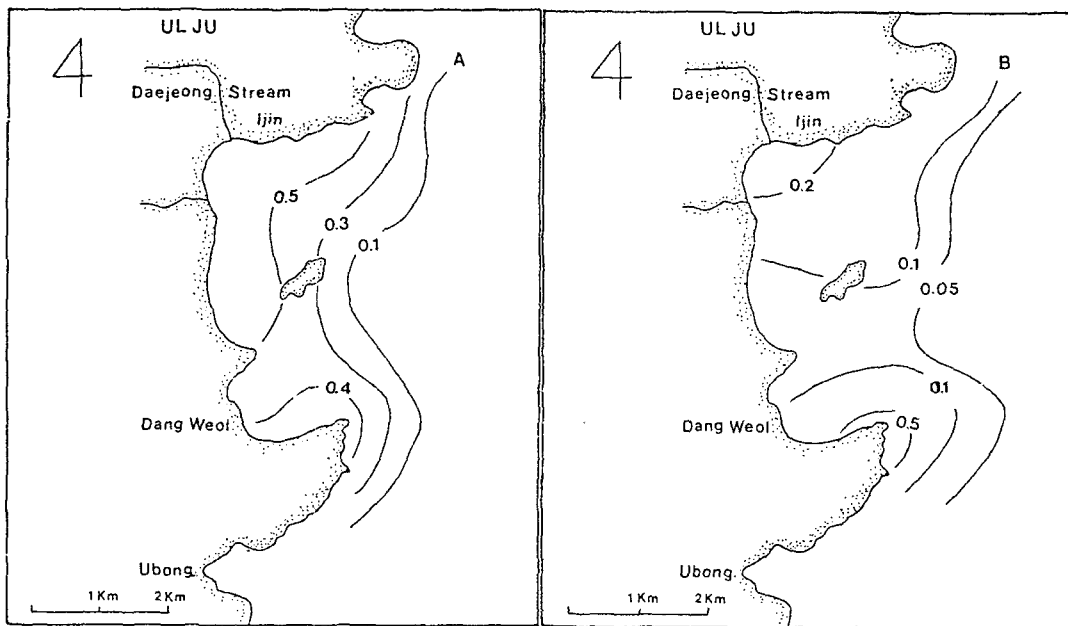


Fig. 2. Distributions of mercury concentration ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) in the surface seawater at the flood(A) and ebb(B) of spring tide

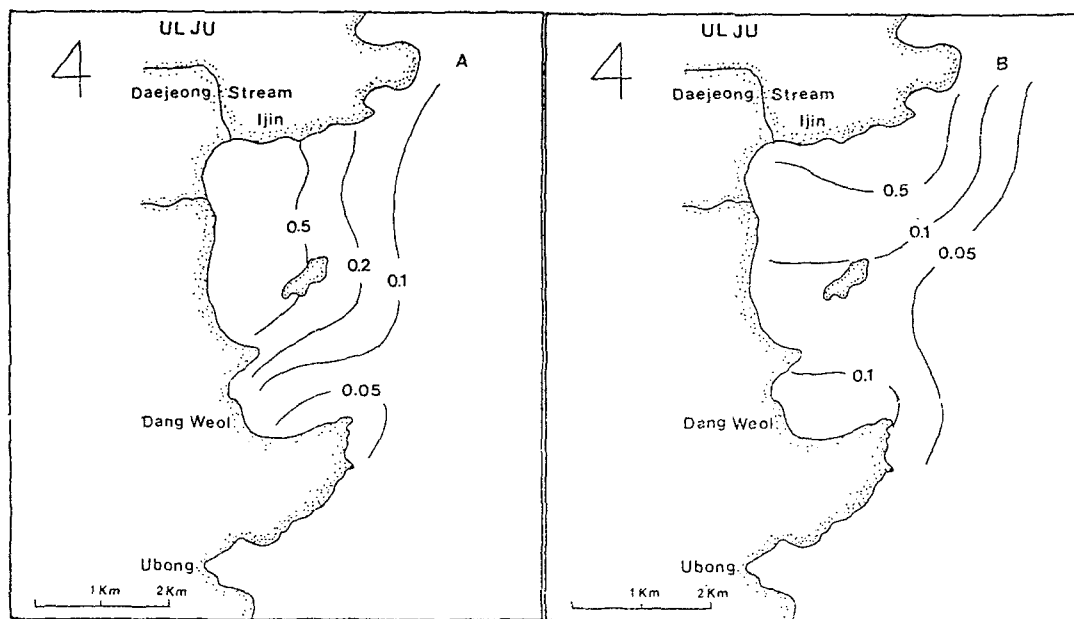


Fig. 3. Distribution of mercury concentration ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) in the bottom water at the flood(A) and ebb(B) of spring tide

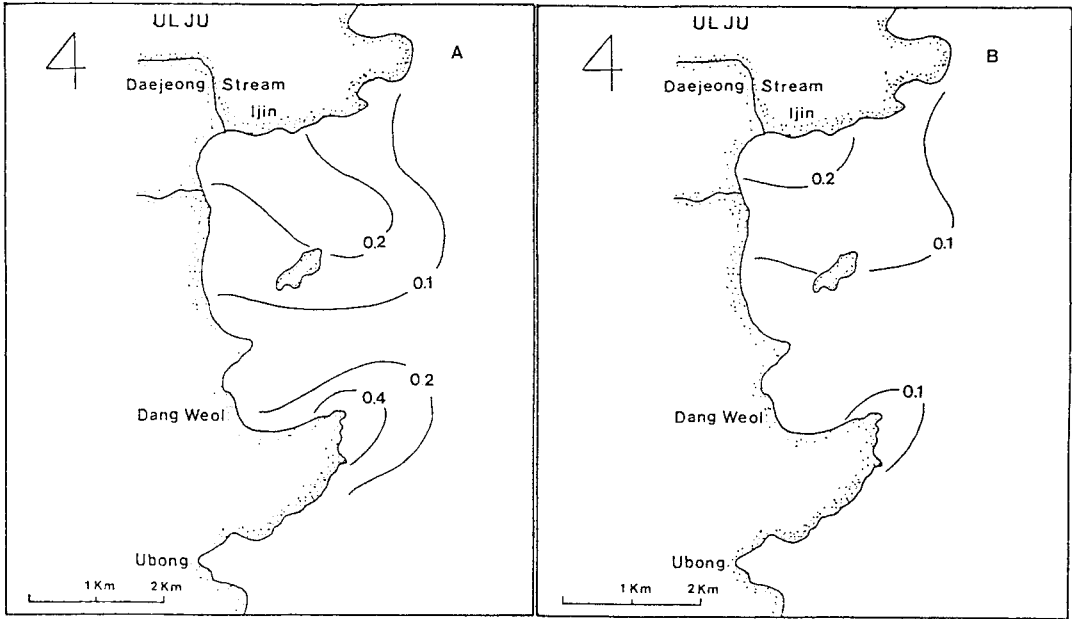


Fig. 4. Distribution of mercury concentration ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) in the surface water at the flood(A) and ebb(B) of neap tide

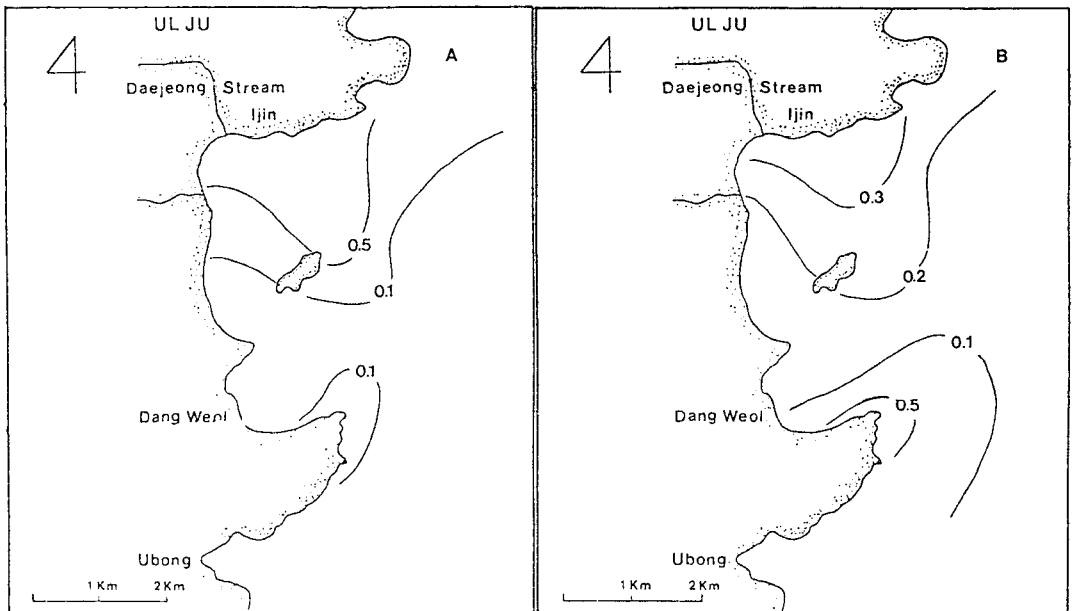


Fig. 5. Distribution of mercury concentration ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) in the bottom water at the flood(A) and ebb(B) of neap tide

Table 3. Mercury concentration in suspended solid of Onsan coastal waters at spring tide

Station	Tide	Total suspended solid (mg/l)		Particulate Hg ( $\mu\text{g/l}$ ) (a)		Hg in suspended solid ( $\mu\text{g Hg/g TSS}$ )	
		S*	B**	S	B	S	B
1	Flood	21.6	14.0	0.22	0.03	2.3	5.7
	Ebb	30.6	31.0	0.14	0.18	4.6	5.8
2	Flood	9.0	16.8	0.06	0.14	6.7	8.3
	Ebb	10.4	7.8	0.05	0.04	4.8	5.1
3	Flood	8.8	11.0	0.05	0.01	5.7	0.9
	Ebb	11.6	11.0	0.01	0.03	0.9	2.7
4	Flood	8.0	8.5	0.05	0.04	6.3	4.7
	Ebb	7.2	13.4	0.01	0.04	1.4	3.0
5	Flood	11.2	9.2	0.07	0.01	6.3	1.1
	Ebb	10.4	13.4	0.05	0.03	4.8	2.2
6	Flood	12.0	12.8	0.09	0.03	7.5	2.3
	Ebb	22.4	9.2	0.03	0.04	1.3	4.3
7	Flood	11.8	12.8	0.03	0.02	2.5	1.6
	Ebb	12.5	14.2	0.04	0.04	3.2	2.8
8	Flood	10.0	11.6	0.17	0.03	17.0	2.6
	Ebb	10.4	12.0	0.04	0.08	3.8	6.7
9	Flood	17.4	14.4	0.17	0.01	9.8	0.7
	Ebb	12.2	9.6	0.03	0.01	2.5	1.0
10	Flood	7.8	24.2	0.10	0.10	12.8	4.1
	Ebb	15.6	7.8	0.04	0.04	2.6	5.1
Range	Flood	7.8~21.6	8.5~24.2	0.03~0.17	0.01~0.14	2.3~17.0	0.7~8.3
	Ebb	7.2~30.6	7.8~31.0	0.01~0.14	0.01~0.18	0.9~ 4.8	0.0~6.7
Mean	Flood	11.76	13.53	0.08	0.05	7.7	3.2
	Ebb	14.33	12.94	0.04	0.05	3.0	3.9

S\*: Surface, B\*\*: Bottom

Table 4. Mercury concentration in suspended solid of Onsan coastal waters at neap tide

Station	Tide	Total suspended solid (mg/l)		Particulate Hg ( $\mu\text{g/l}$ ) (a)		Hg in suspended solid ( $\mu\text{g Hg/g TSS}$ )	
		S*	B**	S	B	S	B
1	Flood	4.6	2.9	0.01	0.02	2.2	6.9
	Ebb	4.8	11.0	0.02	0.02	4.2	1.8
2	Flood	5.6	4.9	0.02	0.06	3.6	12.2
	Ebb	4.2	10.8	0.02	0.02	4.8	1.9
3	Flood	5.2	2.8	0.02	0.08	3.9	11.8
	Ebb	4.3	12.2	0.02	0.07	4.7	5.7
4	Flood	7.6	5.0	0.02	0.04	2.6	8.0
	Ebb	1.9	17.5	0.01	0.02	5.3	1.1
5	Flood	7.6	5.7	0.08	0.03	10.5	5.3
	Ebb	3.4	14.5	0.01	0.02	2.9	1.4
6	Flood	8.6	5.8	0.03	0.09	3.5	15.5
	Ebb	7.2	15.1	0.02	0.06	2.8	4.0
7	Flood	7.4	5.0	0.01	0.02	1.4	4.0
	Ebb	6.4	10.1	0.02	0.04	3.1	4.0
8	Flood	8.2	7.8	0.01	0.02	1.2	2.6
	Ebb	4.4	15.3	0.02	0.04	4.5	2.6
9	Flood	8.4	4.8	0.01	0.03	1.2	6.3
	Ebb	5.1	5.9	0.01	0.03	2.0	5.1
10	Flood	8.2	4.4	0.02	0.03	2.4	6.8
	Ebb	4.7	4.4	0.01	0.05	2.1	11.4
Range	Flood	4.6~8.6	2.9~ 7.8	0.01~0.08	0.02~0.09	1.2~10.5	2.6~15.5
	Ebb	1.9~7.2	4.4~17.5	0.01~0.02	0.02~0.07	2.5~ 5.3	1.1~11.4
Mean	Flood	7.1	5.3	0.01	0.04	3.2	7.9
	Ebb	4.6	11.7	0.02	0.04	3.6	3.9

S\*: Surface, B\*\*: Bottom

3. 진주담치 中 水銀含量

採取地點別 진주담치 中 水銀含量은 Table 5와 같다. 全海域을 通하여 濃度範圍는 0.03~0.19mg/kg으로 表層, 底層 모두 平均값은 0.10mg/kg이었는데 이는 比較海域으로 한 忠武의 진주담치中 濃度 0.01mg/kg보다 훨씬 높은 값이었다. 他海域의 것과 比較해 보면 閑山, 巨濟灣(黃, 1983) 굴(*Crassostrea gigas*)中 0.008mg/kg보다는 높고, 鎭海(元, 1973) 진주담치中 0.37mg/kg보다는 낮은 값을 나타내었다.

食品 中 水銀의 基準値는 日本(日本化學會, 1979) 0.4mg/kg, FDA(Stanley and Deborah, 1971) 0.2 mg/kg 그리고 Australia 국립보건의학 연구위원회(Bebbington et al., 1977) 0.5mg/kg 등인데 이들 基準値에 比하면 각 地點別 濃度는 훨씬 낮은 값이다.

Fig. 6은 진주담치 中 水銀濃度를 地點別(平均値)로 나타낸 것인데 海水 中 水銀濃度 分布와 비슷한 傾向으로 大亭川入口 附近인 A, B地點에서 높게 나타났다. 펄프폐수가 流入되는 G地點 주위에는 水中生物이 存在하지 않았다.

진주담치 中 濃縮係數 [全地點 平均 진주담치中 濃度(μg/l) / 全地點 平均 海水 中 濃度(μg/l)]는 500이었다. 이 값은 水營灣 미역(金과 元, 1974) (*Undaria pinnatifida*)中 水銀濃縮係數 420과 비슷한 값이었다. 濃縮係數는 汚染物質의 危害評價와 環境中 舉動關係를 밝히는 重要한 指數이다.

Table 5. Mercury concentrations in mussel, *Mytilus edulis*, in aquatic cultural area of Onsan coastal area

Stations	Hg concentration(mg/kg wet base)		
	Surface	Bottom	Mean
A	0.13	0.18	0.16
B	0.19	0.06	0.13
C	0.03	0.04	0.04
D	0.06	0.12	0.09
E	0.10	0.18	0.14
F	0.08	0.03	0.06
Range	0.03~0.19	0.03~0.18	0.04~0.16
Mean	0.1	0.1	0.1
Chung-Mu			0.01

4. 底質 中 水銀含量

採取地點別 底質 中 水銀含量은 Table 6과 같은데 全地點에서 水銀의 濃度範圍는 0.02~0.50mg/kg이며 平均濃度는 0.15mg/kg이었다. 이 값은 Palos Verdes 沿岸(David and Goldberg, 1970)의 0.2~1.0 mg/kg에 비해 낮고, 伊勢灣(北野 等, 1973)의 0.06

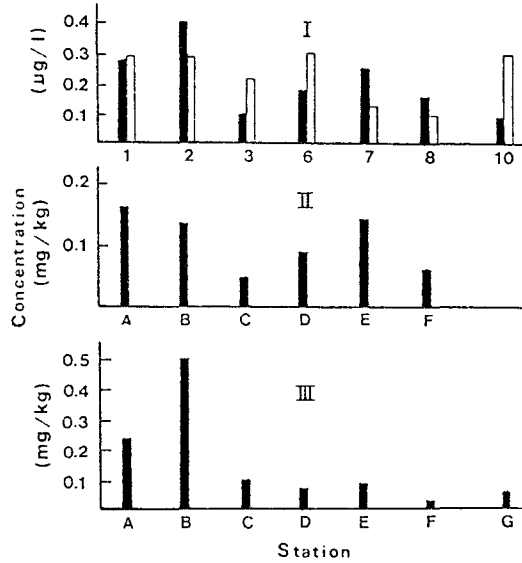


Fig. 6. Spatial Comparison of mean mercury Concentration in Seawater(I), Mussel(II) and Sediment(III) in Onsan Coastal area. closed bars-Spring tide; Open bars- neap tide.

mg/kg, 衣浦灣의 0.05~0.18mg/kg보다 높았다. Fig. 6은 底質中 水銀濃度를 地點別로 나타낸 것인데 海水나 진주담치中 水銀濃度 分布와 유사한 傾向으로 大亭川 入口 附近인 A, B地點에서 높게 나타났다.

全海域을 通하여 底質 中 水銀含量(0.15mg/kg)은 海水 中 水銀濃度(0.2μg/l)에 비해 750배 높은 값을 나타냈는데, 이는 濃縮係數 500보다 큰 값으로 海水 中の 水銀은 浮遊物質의 침강을 通해 生體보다는 底質로 더 많은 量이 移動해가는 것으로 생각된다.

Table 6. Mercury concentrations in sediment on Onsan coastal area Unit: mg/kg

Stations	Hg Concentration (wet base)
A	0.23
B	0.50
C	0.10
D	0.07
E	0.09
F	0.02
G	0.05
Range	0.02~0.50
Mean	0.15
H*	0.23

H\*: Downstream of Daejeng stream

要 約

溫山沿岸海域의 水銀汚染 實態를 把握하기 위해 1984年 10月 9日 大潮期와 11月 2日 小潮期에 밑물과 썰물時 海水, 浮遊物質, 진주담치 및 底質 中 水銀含量을 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 海水 中 水銀濃度範圍는 0.05~0.73 $\mu\text{g/l}$ 이며 平均 0.19 $\mu\text{g/l}$ 의 濃度를 나타내었다. 大亭川 부근해역에서 높은 濃度를 보였으며 外海로 갈수록 낮게 나타났다.
2. 浮遊物質 中 水銀濃度範圍는 0.7~17.0 $\mu\text{g/g-TSS}$ , 平均 4.6 $\mu\text{g/g-TSS}$ 이었다.
3. 진주담치中 水銀濃度範圍는 0.03~0.19 $\text{mg/kg}$ , 平均 0.10 $\text{mg/kg}$ 으로서 이 값은 比較地點으로 한 忠武의 0.01 $\text{mg/kg}$ 에 비해 10배 높았다. 그리고 濃縮係數는 500이었다.
4. 底質中 水銀濃度範圍는 0.02~0.50 $\text{mg/kg}$ 이며 平均 0.15 $\text{mg/kg}$ 이었다.

參 考 文 獻

Bebbington, G. N. N. J., Mackay, R., Chusika, R. J., Williams, A., Dunn and E. H. Auty. 1977. Heavy metals selenium and arsenic in nine species of Australian Commercial fish Austo. J. Marine Freshwater Res. 28, 277~286.

David, H. Klein and Edward, D., Goldberg. 1970. Mercury in the marine environment, Environmental Science & Technology. 4, 765~768.

EPA. 1975. Mercury in water (Manual cold vapor Technique) Storet No. Total 71900, 118~126.

EPA. 1977. Multimedia environmental goals for environmental assessment II, Washington, D. C.

Fitzgerald W. F. and W. B. Lyons. 1973. Organic mercury compounds in coastal waters. Nature, 242, 452~453.

Katsuhiko Matsunaga, Hiroack, Tsujioku Sigeru Fukasa and Kiyoshi Harebe. 1978. On the behavior of mercury in some polluted seawater, Bulletin of Chemical Society of Japan 51(12), 3519~3521.

Lee, Kwang Woo. 1981. Water quality monitoring in the coastal areas of Banweal, Ulsan, Chang Won, and Yecheon. Korea Ocean Research and Development Institute, BSPI-00023-46-4. Seoul Korea.

Raymond E. C. and D. E., Buckley. 1971. Mercury pathways in a river and estuary, Environmental Science & Technology. 6, 274~278.

Stanley D. R. and S. W. Deborah. 1971. Proceedings Seventh National Shellfish Sanitation Workshop FDA, 30~35.

郭熙相, 李鍾華. 1975. 冬季鎮海 馬山海域의 重金屬, J. Ocean. Soc. Korea, 10(1), 7~16.

金明燦, 沈奇煥, 鄭德和, 曹基澤. 1980. 米穀中 搗精部位別 重金屬含量, 韓國農化學會誌, 23(3), 141~149.

金章亮, 元鍾勳. 1974. 水營灣 養殖미역, 모자반 및 環境海水의 水銀, 카드뮴, 납, 구리의 濃度에 對하여, Bull. Kor. Fish. Soc. 7(3), 169~178.

釜山水產大學. 1982. 83. 84. 蔚州郡 溫山面 이진, 원산, 당월, 우봉리 沿岸 어장에 미치는 海洋 環境研究. 온산공단협회.

北野康, 伊藤和男, 小島範子. 1973. 海洋環境汚染에 關連する 調査研究, 伊勢灣, 三河灣, 日本海洋學會, 114~122.

山縣登, 1977. 生物濃縮, 産業圖書株式會社, 東京, 3~86, 215~245.

山縣登, 大喜多敏一. 1973. 環境汚染分析法. 大日本圖書株式會社, 50~123.

元鍾勳. 1973. 韓國産 貝類中의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 含量, Bull. Kor. Fish. Soc. 6(1, 2), 1~19.

元鍾勳, 朴清吉, 梁漢燮. 1976. 蔚山灣 海水中的의 水銀, 카드뮴, 구리, 납, 亞鉛의 濃度分布, Bull. Kor. Fish. Soc. 9(3), 177~184.

盧在植. 1979. 온산공업단지 環境조사, 한국원자력 연구소, 서울

黃奎喆. 1983. 閑山, 巨濟灣의 굴 및 海水中的의 重金屬含量에 관한 研究. 부산수산대학 식품공학과 석사학위 청구논문.

1989년 5월 10일 접수  
1989년 11월 17일 수리