

통영 바다목장 해역의 해수 내 환경호르몬과 중금속 분석

한 영 희* · 이 정 선 · 이 진 환¹

상명대학교 화학과, ¹생명과학과

Determinations of Environmental Hormones and Heavy Metals in Seawater of Tongyeong Marine Ranching Ground of Korea

Younghee Hahn*, Jungsun Lee and Jin Hwan Lee¹

Department of Chemistry, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

¹Department of Biology, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

Abstract – Monitoring for the quality of coastal water is necessary to improve its biological resources and to maintain healthy environments. We measured the concentrations of phenols, nine polychlorinated biphenyls (PCBs), tributyltin (TBT) in surface water at 5 stations and the concentrations of mercury (Hg), chromium (Cr (VI)), cadmium (Cd), lead (Pb) in surface water of 10 stations in Tongyeong marine ranching ground of Korea in August, 2003. The concentrations of analytes were determined as follows: phenols: 1.6~2.8 ppb, PCBs: not detected (ND), Hg: <0.1 ppb, Cr (VI): 0.01~5.32 ppb, Cd: ND~0.41 ppb and Pb: 0.43~2.60 ppb. These concentrations satisfied the standards of human health protection in coastal water by Ministry of Environment, Republic of Korea as follows: phenols; 5 ppb, PCBs: 0.5 ppb, Hg: 0.5 ppb, Cr (VI): 50 ppb, Cd: 10 ppb and Pb: 50 ppb. TBT was not listed in the standards. The concentrations of Sn in TBT analyzed in sea water of Tongyeong marine ranching ground were in the range of ND ~0.0273 ppb which are similar with the values of 8~35 ng Sn L⁻¹ (0.008~0.035 ppb) in Chinhae Bay studied by Shim *et al.*. Therefore, the quality of sea water in Tongyeong marine ranching ground was safe enough to protect human health.

Key words : phenols, PCBs, TBT, Hg, Cr (VI), Cd, Pb, Tongyeong, Korea

서 론

바다목장 사업은 연안의 해양생물 자원을 높은 생산력으로 유지시키면서, 환경 친화적으로 자원 잠재력을 증대시키는데 초점을 두고 있다. 또한 건강한 바다목장

의 유지를 위하여 환경오염물질의 유입을 막아야 한다. 환경정책기본법시행령(환경부 2002)은 해역의 수질에 대하여 사람의 건강보호 기준에 의거 환경오염물질의 농도를 제한하고 있다. 페놀류는 해양생물에 매우 독성이 강하며 미량이라도 어류에 농축되면 악취와 이상한 맛을 띠어 상품가치를 저하 시킨다(Galceran and Jauregui 1995). 내분비계 장애물질인 Tributyltin (TBT)는 유기주석화합물의 일종으로 1970년대 이후부터 선박에 방오

* Corresponding author: Younghee Hahn, Tel. 02-2287-5144, Fax. 02-2287-0070, E-mail. yhahn@smu.ac.kr

페인트(antifouling paint)로 널리 사용되면서 해양오염을 일으켜 어패류의 기형화 또는 먹이연쇄에 따른 생물농축으로 사람에게 신경장애현상을 일으키고 있다. Polychlorinated biphenyls (PCBs)는 변압기, 콘덴서 등의 열매체, 가소제, 도료, 복사지 등에 널리 사용되어 왔으며, PCB의 독성이 알려지면서 수중 유기체에겐 큰 위협이 되고 있으며(Telli-Karakoc *et al.* 2002), 우리나라 해역에서도 PCBs에 의한 환경오염을 우려할 단계에 이르렀다. 수은, 카드뮴, 납, 크롬(VI) 등의 중금속은 인체에 흡수되면 농축되어 신경계 장애, 골연화증, 만성장애, 세포독성을 각각 유발하고 있어서 해수 중의 농도를 지속적으로 관리하는 것이 중요하다(김 등 1994; 진 등 2000).

우리나라 연안에서 중금속과 환경호르몬의 연구는 아직 초보적인 단계이다. Kim *et al.* (2004)에 의하여 울산만과 온산해역에 서식하는 진주담치 체내에 중금속(Cu, Zn, Cd, Pb)의 축적에 대한 연구가 있었으며, 경상남도 거제시 주변해역에서 동물플랑크톤의 TBT의 독성 및 생존능력 실험이 수행된 바 있다(장 등 2004). 홍 등(2004)은 광양만에서 굴과 홍합의 PCB의 잔류농도를 측정하였으며, Shim *et al.* (2004)은 우리나라 주요 연안에서 저질과 패류를 대상으로 TBT의 농도를 조사하였다. 이와 같이 우리나라 해양에서는 중금속과 환경호르몬의 연구를 특정생물의 체내에 축적되는 양을 위주로 연구하고 있는 상태이다.

해수의 이와 같은 연구는 거의 없으며, Shim *et al.* (1998)이 진해만에서 해수 중에 TBT의 농도를 보고한 예가 있다. 즉, 해수 중에 중금속과 환경호르몬의 양을 측정하여 수질의 건강성을 평가한 연구는 드물다. 따라서 본 연구의 목적은 2003년 8월에 통영 바다목장 해역의 5개 정점의 표층수에서 페놀류, PCBs, TBT와 같은 내분비장애물질과 10개 정점의 표층수에서 수은, 카드뮴, 납, 크롬(VI)과 같은 중금속 농도를 측정하여 해수의 건강성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사방법

통영 바다 목장 해수의 시료는 Fig. 1에 표시한 정점에서 2003년 8월 22일에 다음과 같이 채취하였다. 수질 환경 중 페놀류(Phenols), 유기주석화합물(Tributyltin: TBT 등) 및 폴리클로리네이트디비페닐(Polychlorinated biphenyls: PCBs)의 분석을 위한 시료는 정점 2, 3, 5, 7, 9에서 표층수를 채취하였으며, 페놀류와 PCBs 분석용

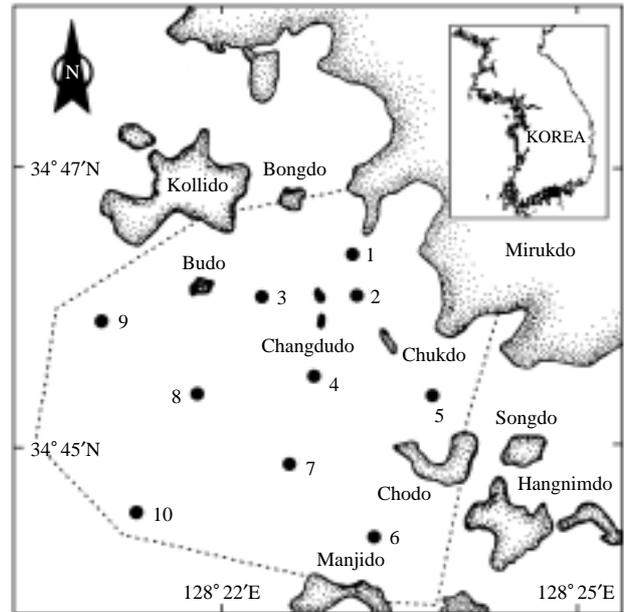


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters in august, 2003.

해수는 질산과 정제수로 세척하여 건조시킨 테플론 뚜껑이 달린 2L 투명 유리 용기(Duran, 독일)에 가득 담았고 유기주석화합물 분석용 해수는 같은 방법으로 세척 건조시킨 테플론 뚜껑의 2L 갈색 유리 용기(Duran, 독일)에 가득 채취하였다. 수질환경 중 수은(Mercury: Hg) 분석과 카드뮴(Cadmium: Cd), 납(Lead: Pb) 및 크롬(Chromium: Cr(VI))의 분석을 위한 시료는 정점 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10에서 표층수를 채취하였으며, Hg 분석용 해수는 질산과 정제수로 세척하여 건조시킨 테플론 뚜껑의 500 mL 투명 유리 용기(Duran, 독일)에 가득 담았고, Cd, Pb 및 Cr(VI) 분석용 해수는 같은 방법으로 세척하고 실온에서 건조시킨 뚜껑달린 1L polyethylene 용기(Nalgene)에 가득 담았다. 모든 시료는 얼음을 채운 ice box에 넣어 시료채취 당일에 실험실로 운반하여 냉장 보관하였으며 유기주석화합물 시료는 실험실에 도착한 즉시 진한 염산으로 시료의 pH를 3으로 조절한 후 냉장 보관하였다.

2. 시약

분석에 사용된 화학물질은 모두 분석시약용 등급 이상의 순도를 갖고 있으며 다음과 같다. Methanol (HPLC-MS grade), Dichloromethane (PRA grade), Chloroform (spectrophotometric grade), Potassium ferricyanide (III) (ACS reagent), Copper (II) sulfate pentahydrate (ACS

reagent), Ammonium chloride (ACS reagent), Sulfuric acid (trace analysis), Hydrochloric acid (trace analysis), Acetone (HPLC grade), Sodium sulfate (suprapur), Hexane (PRA grade), Nitric acid 70% (redistillation), 그리고 분석급 시약의 Ammonium pyrrolidinedithiocarbamate, Diethylammonium diethyldithiocarbamate, Tropolone, Methyl orange, Ammonium hydroxide, 4-aminoantipyrine, Phenol, Phosphoric acid, Butyltin trichloride, Triphenyltin chloride는 Sigma-Aldrich(미국)에서 구입하였다.

Nitric acid 65% (suprapur), Isobutylmethylketone (extraction analysis)과 분석급 시약의 Tributyltin chloride, Dibutyltin chloride, 2, 4, 5, 6-tetrachloro-*m*-xylene 및 PCBs 표준물질은 Merck제품이다. *n*-Hexane, Methanol, Acetic acid, Sodium acetate, Sulfuric acid, Nitric acid 및 Hydrochloric acid는 분석급 시약으로 제일상사에서 구입하였다.

본 연구에 사용된 물은 2차 증류수를 순수제조기 (Millipore, Model Milli-Q II)를 통하여 저항이 18 M Ω 이상인 정제수 (purified water)를 사용하였다.

3. 유리용기 및 기구

Teflon separatory funnel, HDPE bottle은 Nalgene 제품이고, volumetric flask, 삼각 flask, glass separatory funnel, teflon spatula, mass cylinder, hole pipet, beaker 등은 Pyrex 제품이다. 시료 채수용 유리 media bottle과 vial은 Duran에서, duraseal film은 Sigma-Aldrich에서, 그리고 lichrolut frits florisil은 Merck에서 각각 구입하였다. 온도계 어댑터, teflon beaker, teflon tape, heating mantle, mantle 온도 조절기, weighing paper 등은 제일상사에서 구입하였다.

4. 분석 기기

페놀류 분석에 사용된 UV/VIS spectrophotometer는 Varian Model Cary 3E 이었고, 해수 중 PCBs의 추출, 전처리, 회수율 및 검량곡선을 작성하기 위한 분석시료 제조는 본 연구실에서 수행한 후 한국기초과학지원연구원 (서울분소)의 GC/MS (Agilent사 6890plus Gas Chromatograph와 5973N Mass Selective Detector)로 분석하였다. 유기주석화합물과 중금속 Cd, Pb 및 Cr(VI)는 본 연구실에서 전 처리하고 분석시료를 제조하여 한국기초과학지원연구원 (서울분소)의 ICP/MS (Jobin Yvon사의 Model JY138의 ICP와 Perkin Elmer사의 Model Elan 6100의 MS)로 분석하였다. Hg의 분석은 한국기초과학지원연구원 (서울분소)의 CECAC Model M-6000A 수은 분석기를 사용하였다.

5. 분석 방법

1) 페놀류 (Phenols)

해양환경공정시험방법 (해양수산부 1998, 2002)에 따라 증류한 시료 500 mL에 염화암모늄-암모니아 완충용액을 넣어 pH 10으로 조절한 다음 4-aminoantipyrine과 potassium ferricyanide를 넣어 생성된 적색의 안티피린계 색소를 10 mL의 클로로포름으로 추출하여 분광광도계로 460 nm에서 흡광도를 측정하였다. 25~500 ppb 페놀 표준용액 100 mL를 시료와 같은 방법으로 처리하여 460 nm에서 흡광도를 측정하고 검량곡선을 작성하여 해수 중 페놀의 농도를 구하였다.

2) 유기주석화합물 (Tributyltin: TBT 등)

유기주석화합물은 해양환경공정시험방법 (해양수산부 2002)을 일부 변경하여 염화메틸렌으로 추출 후 농축하고 열판으로 유기용매를 휘발시켰다. 잔사에 진한 질산을 넣어 가열 분해, 건조시킨 후 1 M HNO₃에 재용해하여 ICP/MS로 분석하였다. 회수율 실험은 정점 2의 시료에 TBT 표준원액을 첨가하여 1 ppb 농도로 하고 시료와 같이 처리하여 ICP/MS로 분석하였다.

3) 폴리클로리네이티드비페닐 (Polychlorinated biphenyls: PCBs)

Polychlorinated Biphenyls (PCBs)는 내분비계 장애물질의 측정 분석방법 (국립환경연구원 1999)을 일부 변경하여 시료에 내부 표준용액 (PCB 198; CI 8개)을 넣고 노르말 헥산 (*n*-Hexane)으로 추출하여 농축한 후, Sep-Pak Silica Cartridges (Waters, 미국)를 통과시켜 분석 방해물질을 제거하고 Gas Chromatograph 내부 표준용액인 TCMX (tetrachloro-*m*-xylene)를 농축시료에 첨가하여 GC/MS로 분석하였다. 검량곡선은 정제수에 혼합 PCB (PCB 8, 29, 52, 101, 153, 180, 194, 206, 209)를 각각의 PCB가 0.2~1 ppb 농도로 첨가하고 시료와 같은 방법으로 실험하여 GC/MS로 분석하였다.

4) 수은 (Mercury: Hg)

무기수은을 SnCl₂로 환원시켜 금속수은으로 만든 다음 아르곤 기체를 불어넣어 포집한 후 수은분석기로 253.7 nm에서 흡광도를 측정하였다.

5) 카드뮴 (Cadmium: Cd), 납 (Lead: Pb) 및 크롬 (Chromium: Cr)

해양환경공정시험방법 (해양수산부 1998, 2002)에 따라 시료를 질산을 이용해 pH 2로 조절한 후 유기 착화제 (APDC/DDDC 혼합용액: ammonium pyrrolidinedithiocarbamate/diethylammonium diethyldithiocarbamate 혼합

Table 1. Absorbances of phenol standard solutions at 460 nm

Conc. (ppb)	A (Ave. \pm SD) (n=5)	RSD (%)
25	0.0569 \pm 0.0003	0.44
100	0.2142 \pm 0.0008	0.36
250	0.5522 \pm 0.0012	0.22
400	0.8974 \pm 0.0019	0.22
500	1.0945 \pm 0.0031	0.28

A: absorbance

Table 2. Concentrations of phenols in sea water

	St. 2	St. 3	St. 5	St. 7	St. 9
Conc. (ppb)	2.8	2.6	2.1	1.6	2.2

St.: station

용액)에 의해 비극성 유기금속착화합물을 형성시키고, 메틸이소부틸케톤(MIBK: 4-methyl-2-pentanone)의 유기용매로 추출하였다. 유기용매에 의해 추출된 시료는 청정상태에서 열판을 이용 휘발 건조시킨 후 잔유물을 1 M HNO₃에 재용해한 다음 고감도의 ICP/MS로 측정하였다. 회수율 실험은 정점 6, 7, 8, 9, 10의 해수를 사용하여 Cr(VI), Cd, Pb 표준용액의 농도가 각각 1 ppb가 되도록 첨가하여 시료의 실험 방법과 같이 처리하여 ICP/MS로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 페놀류 (Phenols)

25~500 ppb 페놀 표준용액으로부터 제조한 클로로포름 층 색소의 흡광도(A)를 460 nm에서 5회 반복 측정 한 값은 Table 1과 같았다. 페놀 표준용액의 ppb농도에 대하여 흡광도를 도시하였을 때 A=0.0022 ppb-0.0006 이었고 상관계수의 제곱은 0.9996으로서 직선성이 우수하였다. 해수시료로부터 제조한 클로로포름 층 색소의 흡광도를 460 nm에서 5회 반복 측정하여 평균값을 구하고 검량곡선으로부터 계산한 각 정점의 해수 중 페놀류의 농도는 Table 2와 같았다. 검량곡선 실험 시 사용한 표준용액의 부피(100 mL)보다 5배의 해수시료(500 mL)를 사용하였으므로, 검량곡선에서 구한 각 해수 분석시료의 농도 값은 실제 해수시료 중 페놀류 농도의 5배에 해당한다. 정점 간에 큰 변화 없이 해수 중 페놀의 농도는 1.6~2.8 ppb로써 해역의 수질에서 페놀류에 대한 사람의 건강보호 기준(환경정책기본법시행령)인 5 ppb 미만이었다.

Table 3. Concentrations of Sn (in TBT) in sea water

	St. 2	St. 3	St. 5	St. 7	St. 9
Conc. (ppb)	ND	ND	0.0187	0.0273	0.0252

St.: station ND: not detected

2. 유기주석화합물(Tributyltin: TBT 등)

정점 2의 해수시료에 첨가된 0.97 ppb tributyltin chloride 중 Sn의 농도는 0.35 ppb에 해당하며, 실험 결과 정점 2의 해수시료와 0.97 ppb tributyltin chloride가 첨가된 해수시료 사이의 Sn 농도 차이는 0.41 ppb이었으므로 회수율은 117%이었다. 본 연구에서 제조된 정제수 중 Sn의 농도는 0.05 ppb 미만이었으며, 해수시료 대신 정제수 1 L를 시료 실험 방법과 같이 처리한 blank 중 Sn의 농도는 142.8 ppb이었다. 정점 2, 3, 5, 7, 9의 해수시료 1 L를 실험 방법과 같이 처리한 분석시료 중 Sn의 농도는 각각 142.8 ppb, 122.3 ppb, 164.7 ppb, 174.7 ppb 및 172.2 ppb이었다. Blank, 회수율 및 농축배율을 보정한 해수 중 유기주석화합물의 Sn 농도는 Table 3과 같이 정점 2와 3에서는 검출이 안 되었고 정점 5, 7, 9에서는 0.02~0.03 ppb로 검출되었다. 해역의 수질에서 유기주석화합물에 대한 사람의 건강보호 기준은 나타나 있지 않았으나, 진해만의 해수 중 TBT의 농도(Shim *et al.* 1998)는 8~35 ng Sn L⁻¹(즉 Sn: 0.008~0.035 ppb)로써 본 연구에서 조사한 Sn: ND~0.0273 ppb와 유사한 농도범위였다.

3. 폴리클로리네이티드비페닐

(Polychlorinated biphenyls: PCBs)

1) GC/MS 측정기기의 검증

측정 당일에 검량 곡선 실험 방법에 따라 실험한 혼합 PCB 표준용액 5개(0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.6 ppm, 0.8 ppm 및 1.0 ppm)와 시료 실험 방법에 따라 실험한 5개 정점의 해수시료에 각각 첨가된 분석기기용 내부 표준용액인 0.02 ppm TCMX에 대한 GC/MS의 감응을 평준화하기 위해 10개의 TCMX의 면적의 평균값과 표준편차를 계산한 결과는 다음과 같다; TCMX의 평균값(55279.3), TCMX의 표준편차(5892.8) 그리고 상대표준편차는 10.66%이었다. 검량곡선과 해수시료를 분석한 측정당일의 GC/MS의 검증에서 분석기기 내부 표준물질 TCMX의 면적에 대한 상대표준편차는 10.66%이므로 각 PCB 표준용액의 검량곡선으로부터 시료에 함유된 PCB를 정량할 수 있었다. 정제수 1 L를 시료 실험 방법에 따라 7번 실험한 blank에서 조사한 PCBs는 검출되지 않았다.

Table 4. Calibration curves of the standard PCBs

	0.2 ppm	0.4 ppm	0.6 ppm	0.8 ppm	1.0 ppm
PCB-8	12756.20	33403.78	36348.05	45166.35	53672.72
PCB-29	689781.66	1154137.70	2247951.66	2922796.21	3461946.91
PCB-52	232995.80	393598.64	752985.04	9838737.68	1152565.64
PCB-101	313609.07	519614.48	1035368.7	1369677.30	1641711.30
PCB-153	234430.55	390723.31	780458.35	1043568.20	1222666.70
PCB-180	308828.98	523319.03	1050631.8	1433600.10	1670684.40
PCB-194	131402.59	223025.38	456038.46	607625.29	745940.73
PCB-206	154069.76	253134.32	505326.25	659952.40	829468.99
PCB-209	248683.41	398915.01	778520.98	1014802.50	1292145.20

Table 5. Recovery of PCB 198 extracted from sea water sample

	St. 2	St. 3	St. 5	St. 7	St. 9	Standard
PCB 198 0.10 ppm	68036.8	57463.0	72704.0	54005.4	68691.8	91508.7
Recovery (%)	74.4	62.8	79.5	59.0	75.1	—

Table 6. Molecular ions and retention times of PCBs

PCBs	Mol. formula	Mol. ion range	R.T. (min)
PCB 8	C ₁₂ H ₈ Cl ₂	217.70~218.70	8.98
PCB 29	C ₁₂ H ₇ Cl ₃	255.70~256.70	10.67
PCB 52	C ₁₂ H ₆ Cl ₄	291.70~292.70	11.92
PCB 101	C ₁₂ H ₅ Cl ₅	325.70~326.70	14.44
PCB 153	C ₁₂ H ₄ Cl ₆	359.70~360.70	17.15
PCB 180	C ₁₂ H ₃ Cl ₇	393.70~394.70	20.25
PCB 194	C ₁₂ H ₂ Cl ₈	429.70~430.70	23.32
PCB 198	C ₁₂ H ₂ Cl ₈	429.70~430.70	21.39
PCB 206	C ₁₂ HCl ₉	463.70~464.70	24.53
PCB 209	C ₁₂ Cl ₁₀	497.70~498.70	25.49

2) 검량곡선

각각의 PCB 표준용액에 대한 GC/MS data를 TCMX 면적의 평균값(55279.3)으로 보정하고 각각의 PCB 표준용액의 농도에 대한 보정된 면적은 Table 4와 같다. 각각의 PCB의 ppm농도에 대하여 GC/MS의 반응을 도시하였을 때, PCB 8을 제외한 PCBs의 상관계수의 곱은 0.982~0.988의 직선 성을 나타내었다.

3) 회수율 실험

각 정점의 해수시료에서 추출된 PCB 198의 측정값을 TCMX의 평균값에 대하여 보정하고 노르말 헥산으로 제조한 내부 표준물질 PCB 198의 보정된 측정값의 백분율로 회수율을 계산하여 Table 5에 나타내었다. 각 정점에서 회수율은 59.0~75.1%이었다.

4) 해수 시료 중 PCB 분석

모든 정점의 해수 시료에서 PCB-8, 29, 52, 101, 153, 180, 194, 206, 209의 어떠한 PCB도 검출되지 않았다. 본 연구에서 조사한 PCBs의 GC/MS data 상의 머무름

Table 7. Concentrations of Cr (VI), Cd, Pb and Hg in sea water samples

Station	H. M.			
	Cr (VI) (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)	Hg (ppb)
1	0.27	ND	0.47	<0.10
2	0.01	ND	2.60	<0.10
3	2.38	0.03	0.77	<0.10
4	5.32	0.26	0.47	<0.10
5	2.69	0.39	1.24	<0.10
6	0.57	0.12	0.70	<0.10
7	2.17	ND	0.43	<0.10
8	1.72	0.10	0.49	<0.10
9	0.62	0.25	0.51	<0.10
10	0.79	0.41	1.04	<0.10

H. M.: Heavy Metal

시간 (retention time)과 확인에 사용된 분자이온을 Table 6에 나타내었다. 해역의 수질에서 PCBs에 대한 사람의 건강보호 기준 (환경정책기본법시행령)은 0.5 ppb로써 통영 바다목장의 해수는 적합하였다.

4. 수은 (Mercury: Hg)

바다목장 해수 수질환경 중 수은의 농도는 모든 정점에서 검량곡선 상의 최저 농도인 0.1 ppb 이하이었다. 해역의 수질에서 수은에 대한 사람의 건강보호 기준 (환경정책기본법시행령)은 0.5 ppb로써 통영 바다목장의 해수의 수질은 기준에 적합하였다.

5. 카드뮴 (Cadmium: Cd), 납 (Lead: Pb) 및 크롬 (Chromium: Cr(VI))

Cr (VI), Cd 및 Pb의 회수율: 회수율은 해수시료에 1 ppb의 표준용액 (Cr (VI), Cd, Pb)을 첨가한 시료의 분석결과와 같은 정점의 해수시료의 분석결과 (blank)의 차이를 농축배수인 13.33배로 나눈 값, 즉 회수된 표준용액의 농도를 1 ppb의 백분율로 나타내었으며 각각 1 ppb의 Cr (VI), Cd, Pb 표준용액의 회수율은 63.8%, 81.4% 및 85.5%이었다.

해수 시료 중 Cr(VI), Cd 및 Pb의 분석: 10개 정점의 해수 시료와 정제수 100 mL를 5회 시료 실험 방법에 따라 분석하였다. 정제수 중 Cr(VI), Cd 및 Pb의 분석 data는 각각 45.15 ± 4.18 ppb, 1.55 ± 0.07 ppb 및 11.83 ± 1.62 ppb이었으며, 이 값들을 농축배수인 13.33으로 나눈 다음에 전 처리 하지 않은 정제수 중 Cr(VI), Cd 및 Pb의 농도를 빼준 값(Cr(VI): 2.79 ppb, Cd: 0.12 ppb, Pb: ND)을 blank로 하였다. 해수 시료의 분석 값을 농축배수인 13.33으로 나눈 다음에 blank 값을 빼주고 회수율로 나누어 주면 최종 농도는 Table 7과 같다. 환경정책기본법시행령(대통령령 제18108호: 별표 1, 3. 수질, 라. 해역, (2) 사람의 건강보호 기준)에 의하면 Cr(VI): 50 ppb, Cd: 10 ppb 및 Pb: 50 ppb이다. 본 연구에서 조사한 통영바다목장 해수 중에는 Cr(VI): 0.01~5.32 ppb, Cd: ND~0.41 ppb 및 Pb: 0.43~2.60 ppb로써 사람의 건강보호 기준에 적합한 해수로 판단되었다.

적 요

본 연구는 2003년 8월에 통영 바다목장해역 5개 정점 표층수에서 페놀류, 9개의 폴리클로리네이티드비페닐(PCB) 및 유기주석화합물(TBT)의 농도와 10개 정점에서 수은 및 크롬(VI), 카드뮴, 납의 중금속 농도를 해양환경공정시험방법(해양수산부 2002) 또는 이 방법과 내분비계 장애물질의 측정 분석방법(국립환경연구원 1999)을 일부 변경하여 분석하였다. 환경정책기본법시행령(대통령령 제18108호: 별표 1, 3. 수질, 라. 해역)에 의하면 페놀류: 5 ppb, PCBs: 0.5 ppb, Hg: 0.5 ppb, Cr(VI): 50 ppb, Cd: 10 ppb 및 Pb: 50 ppb이고 유기주석화합물의 기준은 나타나 있지 않다. 본 해역에서는 페놀류: 1.6~2.8 ppb, PCBs: 검출되지 않음, Hg: <0.1 ppb, Cr(VI): 0.01~5.32 ppb, Cd: 미 검출~0.41 ppb 그리고 Pb: 0.43~2.60 ppb로써 사람의 건강보호 기준에 적합한 해수로 판단되었다. 유기주석화합물(TBT) 중 Sn의 농도는 미 검출~0.0273 ppb로써 1998년, Shim *et al.* (1998)에 의하여 조사된 진해만의 해수 중 TBT의 농도: $8 \sim 35$ ng Sn L⁻¹ (즉 Sn: 0.008~0.035 ppb)와 유사한 농도였다. 따라서 본 연구에서 조사된 통영 바다목장의 해수는 사람의 건강 기준에 적합한 수질로 판명되었다.

사 사

본 연구는 2003년도 해양수산부 “통영해역의 바다목

장화 개발연구 용역사업” 과제로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 국립환경연구원. 1999. 내분비계 장애물질의 측정 분석방법. 111pp.
- 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수, 김석현, 김은수. 1994. 진해만 표층해수중의 중금속 농도 분포. Ocean Res. 16: 19-27.
- 장풍국, 신경순, 장민철, 박동원, 장 만. 2004. 동물플랑크톤에 대한 지속성 유기오염물질 PAHs와 TBT의 독성 및 생존능력에 미치는 영향. 환경생물. 22:1-10.
- 진용현, 김경태, 김석현, 양동범, 홍기훈, 이광우. 2000. 광양만의 용존성 및 입자성 미량금속의 분포특성. 한국물환경학회지. 16:421-430.
- 해양수산부. 1998. 해양환경공정시험방법. 317pp.
- 해양수산부. 2002. 해양환경공정시험방법. 84, 90, 94, 112pp.
- 홍상희, 임운혁, 심원준, 오재룡. 2004. 광양만내 지속성유기염소계화합물의 잔류농도 및 분포 특성. 환경생물. 22: 30-37.
- 환경부. 2002. 환경정책기본법시행령. 별표 1. 3. 수질. 라. 해역.
- Galceran MT and O Jauregui. 1995. Determination of phenols in sea water by liquid chromatography with electro-chemical detection after enrichment by using solid-phase extraction cartridges and disks. Anal. Chim. Acta 304:75-84.
- Kim CK, MS Choi and CB Lee. 2004. Accumulation and release of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*; reciprocal transplantation experiment. J. Korean Soc. Oceanogr. 39:197-206.
- Shim WJ, JR Oh, SH Kahng, JH Shim and SH Lee. 1998. Accumulation of Tributyl- and Triphenyltin compounds in pacific oyster, *Crassostrea gigas*, from the Chinhae Bay system, Korea. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 35:41-47.
- Shim WJ, UH Yim, NS Kim, SH Hong and JR Oh. 2004. Tributyltin compound sediments and tissue of oysters and rock shell in Gwangyang Bay, Korea. Korean J. Environ. Biol. 22:63-70.
- Telli-Karakoc F, L Tolun, B Henkelmann, C Klimm, O Okay and K-W Schramm. 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distribution in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay. Environ. Pollut. 119: 383-397.

Manuscript Received: August 13, 2007
Revision Accepted: October 8, 2007
Responsible Editor: Insil Kwak