

가덕도 주변 저질 및 어패류의 잔류 유기염소화합물

민병윤 · 안혜원* · 윤명희**

경남대학교 자연과학대학 환경보호학과, *수원대학교 공과대학 환경공학과,

**경성대학교 이과대학 생물학과

Organochlorine Compounds in Marine Sediments and Organisms near the Ga-Duck Island

Byung-Yoon Min, Hye-Won Ahn* and Myung-Hee Yoon**

Department of Environmental Protection, Kyungnam University

Hapo-gu Wolyoung-dong, Masan 630-701, Korea

**Department of Environmental Engineering, The University of Suwon*

Hwasung-gun Bongdam-myun Wauri San 2-2, Kyunggi-do 445-743, Korea

***Department of Biology, KyungSung University*

Nam-gu Daeyeon-dong 110-1, Pusan 608-736, Korea

Polychlorinated biphenyls(PCBs), Dichlorodiphenyl trichloroethane(DDT) and metabolites, 1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane(BHC) isomers are the most extensively studied organochlorine compounds due to their persistence and toxicity. To investigate the contamination level of PCBs, Σ DDT and BHC, the marine sediments and organisms were collected near the Ga-Duck Island in Korea from Aug. 1995 to Oct. 1996. Sample 10-25g were refluxed in 1N KOH-ethanol solution for 1 hr and transferred to hexane, then cleaned up on fluorisil and silica Sep-Pak cartridge. The effluent was concentrated and 2 μ l aliquots were analyzed by GC-ECD (Gas chromatograph-Electron Capture Detector).

PCBs, Σ DDT and BHC levels in sediments were ND(Not-detected)-22 ng/g, ND-13 ng/g, ND-5 ng/g, respectively. The concentrations of PCBs, Σ DDT and BHC in shells ranged ND-2.1 ng/g, ND-2.1 ng/g, ND-1.9 ng/g, respectively, whereas those in fishes were much higher than those in sediments and shells, suggesting bioconcentration. PCBs, Σ DDT and BHC levels in marine sediments and organisms measured in this study were similar to those reported in unpolluted areas. However, consistent monitoring is necessary to avoid further contamination in this area.

Key Words : organochlorine compound, PCB, BHC, DDT, Ga-Duck Island, bioconcentration, GC-ECD

1. 서론

가덕도는 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 낙동강 하구 최남단에 위치하며, 많은 종류의 철새들이 서식, 도래하는 월동지로서 널리 알려져 문화재 보호구역으로 지정되어 있다. 특히, 가덕도 동쪽부터 낙동강 하구까지는 자연환경 보전지역 및 자연생태계 보전지역으로, 가덕도주변 해역은 연안오염 특별관리해역으로 지정되어 있다. 하지만, 가덕도

북쪽에 위치한 녹산동 (부산시 강서구)과 용원동 (경남 진해시) 일대는 현재 녹산, 신호지방공단 및 명지주거단지가 조성 중에 있으며, 가덕도 일원은 부산·경남권 광역개발 계획의 일환으로 신항만 개발이 추진 중이다. 이러한 대규모 개발로 인한 인구증가와 산업활동에 의하여 배출되는 생활하수, 산업폐수 등은 가덕도 주변의 해양환경 악화를 초래할 우려가 높다. 일례로 가덕도에 인접한 낙동강 하구지역은 과거 매우 우수한 철새 도래지였으나,

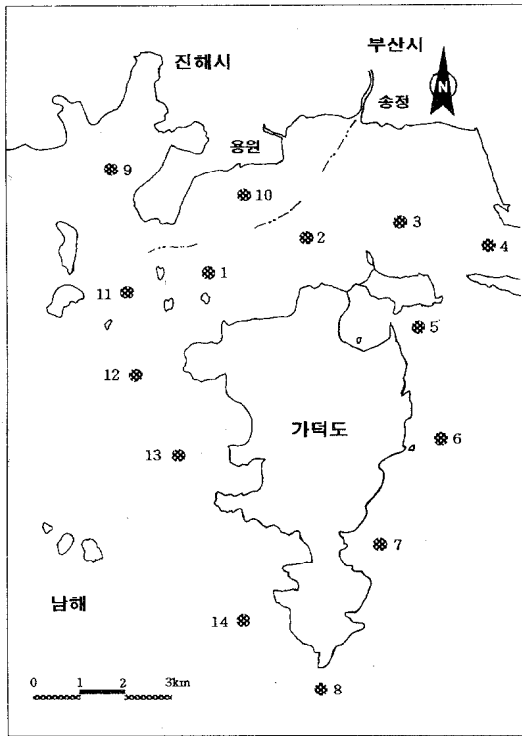


Fig. 1. Map of the Ga-Duck Island in Korea near the city of Jinhae and Pusan, showing marine sediment sampling locations.

개발에 따른 환경오염으로 철새의 도래는 급격히 줄고, 현재에는 오염에 따른 민원이 끊이지 않고 있다. 따라서, 오염이 심한 낙동강 하구의 인접 지역이며 개발에 따른 환경오염이 예상되는 가덕도 일원에서의 환경 피해를 줄이기 위해서는 환경오염물질의 오염현황을 지속적으로 파악하고 이에 대한 대책을 세워야 할 것이다.

특히 대표적인 유기염소화합물 (Organochlorine compounds)인 PCBs (Polychlorinated biphenyl), DDT (Dichlorodiphenyl trichloroethane) 및 BHC (1,2,3,4,5,6-hexachloro cyclohexane)는 난분해성으로 환경 중에 잔류하며, 먹이연쇄를 통해 농축되어 야생동물 및 인체에 잔류·축적되어 독성을 나타낸다¹⁻³. 또한 이들 물질은 환경매체나 생물을 통하여 광범위한 규모로 확산되어 전지구적인 오염이 보고⁴⁻⁵되고 있으므로, 현재 많은 국가에서 생산과 사용이 금지 혹은 제한되고 있다.

PCBs는 지용성이 큰 물질로 물리화학적으로 매

우 안정하며, 전기 절연성이 우수하므로, 가소제, 접착제 및 변압기, 콘덴서의 절연유로 광범위하게 사용되고 있다. 특히 대규모 공업 단지는 입지 조건상 연안에 위치하므로 PCBs의 해양 오염이 문제가 되어 왔다. 우리나라에서 PCBs가 수입된 기간은 1975년부터 1984년까지 약 10년간이며, 이 기간 동안 약 560톤 가량의 PCBs가 수입된 것으로 추정된다. 하지만 현재에도 기존의 오염원으로부터 PCBs가 유출되고 있으며, 1994년부터 1995년까지 낙동강 하구연 부근에서 채집된 갈매기류의 잔류 PCBs는 35ppm, 인근의 공업지역인 사상, 신평-장림공단 주변 저질의 잔류 PCBs는 30-8500 ppb로 아시아 국가들 중에서도 가장 높은 편에 속한다고 보고된 바 있다. 일본의 경우, PCBs 농도가 10ppm을 초과한 퇴적토는 준설을 의무화하고 있으나 현재 우리나라에는 PCBs에 대한 퇴적토의 허용기준이 설정되어 있지 않다. PCBs의 독성은 congener에 따라서 차이가 있으며, 평면구조를 갖는 PCB congener는 맹독성의 다이옥신 (2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin)과 같은 작용기전에 의하여 유사한 독성을 나타내므로 다른 congener에 비하여 독성이 크다. 일반적인 PCBs 독성은 간 비대증, 미크로솜 효소의 합성 증가, 면역기능 저하, 신경계 독성, 위궤양, 만성기관지염, 염소좌창, 발암성 및 생식계 독성 등 다양하다. 특히 PCBs는 룡아일랜드 해협을 갈매기에서 기형 발생을 증가시켰으며, 멍크와 물개의 수를 감소시킨 원인물질로 지적되고 있으며, 캘리포니아 바다사자에서는 PCBs뿐만 아니라 유기염소계 농약이 다량 검출되었다³.

DDT와 BHC는 유기염소계 살충제 (Organochlorine insecticide)로 신경세포의 axon에 작용하여 신경세포를 과도하게 흥분시킴으로써 살충효과를 나타낸다⁷. DDT는 1939년 Paul Müller에 의해 살충효과가 발견된 이래 1940년대부터 1960년대 중반까지 광범위하게 사용되었다. 환경 중의 DDT는 호기성 미생물에 의하여 DDE (1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophenyl) ethylene)로 분해되는 반면에, 혐기성 미생물에 의해서 DDD (1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophenyl) ethane)로 분해된다고 알려져 있

다⁸. BHC는 네 개의 이성체 (α -, β -, γ - 및 δ -)의 혼합물로 존재하며, HCH 혹은 Lindane이라고도 불리는데 γ -BHC는 현재 머리카락의 이를 제거하기 위해 샴푸에 첨가되기도 한다⁷. 이러한 유기염소계 살충제는 선진국에서는 제조 및 사용이 금지되었으나, 저렴한 생산비와 강력한 살균력으로 개발도상국가들에서는 여전히 광범위하게 사용되고 있다. DDT와 BHC는 우리나라에서 각각 955톤과 1650톤이 사용되었고, 1972년과 1979년에 사용이 금지되었다⁶. 유기염소계 살충제는 PCBs와 같이 지용성이며, 미크로솜 효소의 합성증가, 신경계 독성, 발암성 및 생식계 독성이 보고되고 있으며, 특히 DDT의 대사산물인 DDE는 칼슘대사를 억제함으로써, 조류의 알 껍질이 얇아져 부화되기 전에 알이 깨지고 결국 조류의 수를 감소시키는 원인물질로 알려져 왔다⁸.

본 연구의 대상 지역인 가덕도 일대는 철새들이 많이 찾아오는 지역임을 고려해 볼 때 이들 유기염소화합물은 생물농축과정을 거쳐 조류에 독성이 나타날 것으로 사료된다. 따라서, 본 논문은 가덕도 주변 저질 및 어패류의 PCBs, DDT 및 BHC의 오염현황을 파악하여, 본 지역의 철새도래지로서의 역할을 재조명하며, 적절한 저감대책 수립을 위한 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

Fig. 1에 표시된 바와 같이 가덕도주변 서쪽 해역을 제외한 14개 지점에서 grab sampler를 사용하여 표층 저질토를 채취하였다. 1번-8번 지점의 저질시료는 1995년 8월과 11월, 1996년 1월, 2월, 3월, 5월, 8월 및 10월에 한번씩, 총 8회 채취하였으며, 9번-14번 지점의 저질시료는 1996년 8월과 10월 두 차례만 채취하였다. 어패류는 1995년 8월과 11월, 1996년 2월, 5월, 10월에 한 번씩, 총 5회 저질시료 채취시 현장에서 얻은 것을 사용하였다.

채취한 표층 저질토는 폴리에틸렌 비닐 백 (polyethylene bag)에 넣어 -20°C에서 냉동 보관하

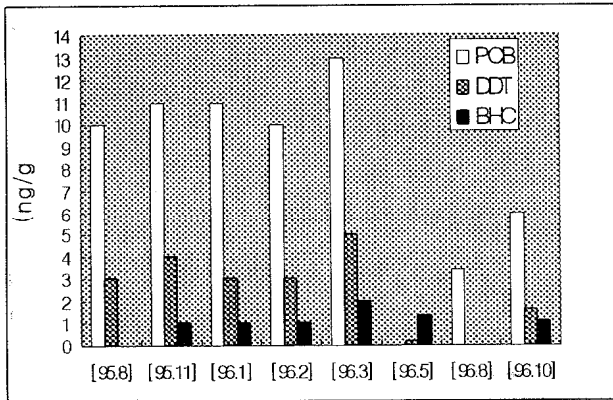
였으며, 채취한 어패류는 깨끗이 씻은 후, 조심스럽게 껍질을 제거하고 알루미늄 포일 (aluminum foil)로 싸서 -20°C에서 냉동 보관하였다.

2.2. 분석방법

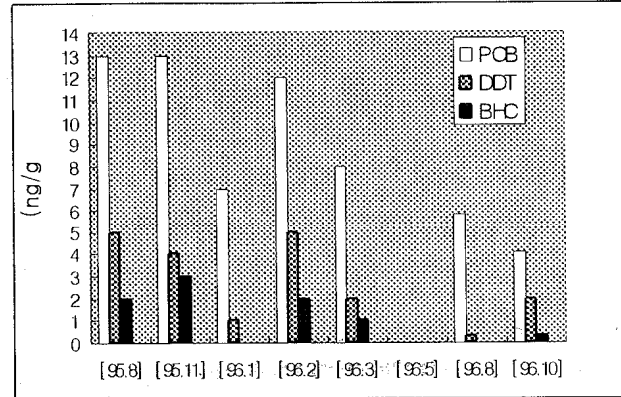
시료를 실험실로 운반한 후, 저질토는 자연풍건시키고, 막자 사발에 갈아 분말로 만든 후 체 (30 mesh)에 걸러 사용하였다. 저질토 및 어패류 중의 PCBs, DDT 및 BHC의 분석은 日本 愛媛大學 農學部 환경화학연구실의 脇本忠明 등에 의해 개발된 방법^{6,9-12}을 사용하였다. 분석방법을 간략하게 살펴보면, 균질화 시킨 어패류 및 체를 통과한 저질토 10-25 g을 취하여 1N 알칼리 알코올에 넣어 환류장치에서 90°C로 1시간 동안 가열 분해시켰다. 분해된 시료액을 1ℓ 분액깔대기에 넣고 핵산을 가하여 액체-액체 추출을 2회 행한 후 알칼리액은 폐기하고 핵산층을 취하였다. 여기에 황산처리하여 지방을 지방산 염으로 분해한 후, 수세 및 KD (Kuderna-Danish) 농축으로 시료를 1ml로 농축하였다. 농축된 시료를 플로리실 (fluorisil) 칼럼과 silica Sep-Pak cartridge를 통과시켜 방해물질을 제거한 후, 시료 2 μ 를 GC-ECD (Gas chromatograph-electron capture detector, Varian 3400, Palo Alto, CA)에 주입하여 PCBs를 정량하였다. 이 때, 길이 30 m \times 내경 0.32 mm의 DB-5 capillary column (J & Scientific)을 사용하였으며, PCB 표준물질로는 Kanechlor-mixture (KC-300 : 400 : 500 : 600 = 1 : 1 : 1 : 1)을 사용하여, PCBs를 유도체로 만들지 않고 분석하는 peak pattern법으로 정량하였다. BHC와 DDT는 PCBs차트 상에서의 봉우리를 읽어 표준품 (BHC, DDT 각각 1.6 ppb)을 주입하여 정량하였다.

PCBs농도는 PCB 101, 149, 118, 153, 138, 180 및 187의 농도의 합으로 표시하였으며, Σ DDT와 BHC농도는 DDT, DDE 및 DDD의 합과, α -, β - 및 γ -BHC의 합으로 각각 나타내었다. 분석에 사용된 시약은 특급을 증류하여 사용하였으며, 저질의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC는 시료의 건량 기준 (dry weight basis)으로 하였으나, 어패류는 습량을 기준 (wet weight basis)으로 표시하였다.

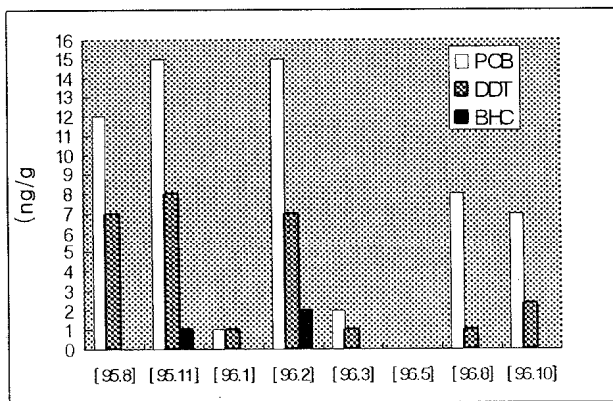
Site 1.



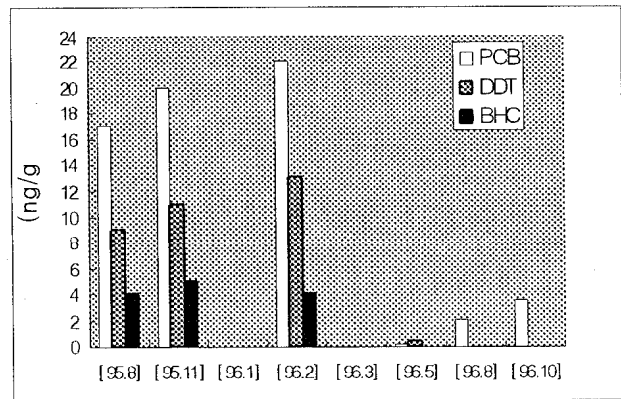
Site 2.



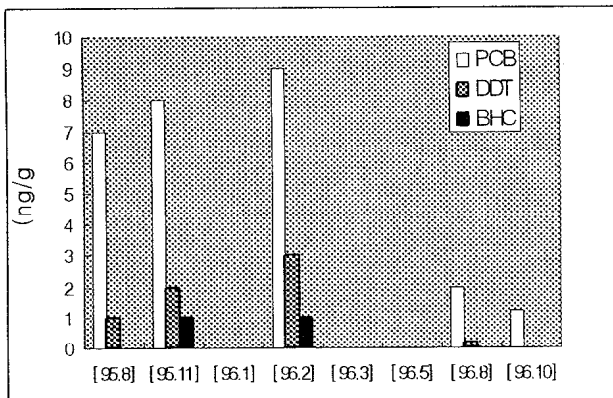
Site 3.



Site 4.



Site 5.



Site 6.

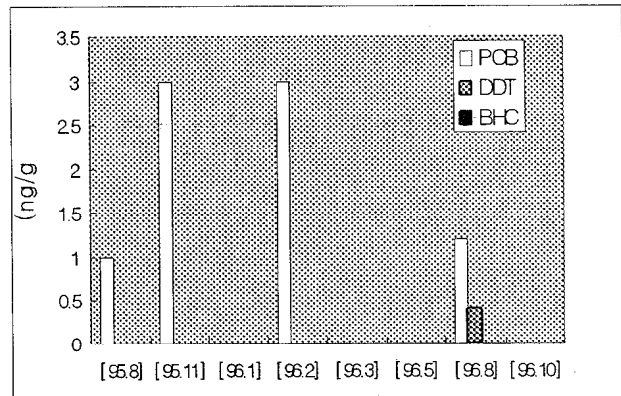


Fig. 2. PCBs, Σ DDT and BHC levels (ng/g, dry basis) in sediments of sampling site 1-6 measured from Aug. 1995 to Oct. 1996.

3. 결과

3.1. 저질의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC

Fig. 1에 표시된 바와 같이 가덕도 주변 서쪽 해역을 제외한 14 지점 저질의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC를 살펴본 결과, 1995년 8월부터 1996년 10월에 걸쳐서 7번과 8번 지점에서는 PCBs, Σ DDT 및 BHC가 검출되지 않았으며, 1-6번 지점 저질의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC는 Fig. 2와 같았다. 같은 기간 1-8번 지점에서 측정된 저질 중의 PCBs, Σ DDT 및 BHC 농도 범위는 불검출 (Not-detected; N.D. ppt 수준 이하)-22 ng/g, 불검출-13 ng/g, 불검출-5 ng/g으로, 평균값을 비교해 보면 PCBs, Σ DDT 및 BHC의 순으로 검출되었다.

1996년 8월과 10월에 9번-14번 지점 저질 중의 잔류 PCBs는 9번 지점 8.4, 5.4 ng/g, 10번 지점 0.5, 4.7 ng/g, 11번 지점 불검출, 2.1 ng/g로 각각

측정되었으며, 잔류 Σ DDT는 9번 지점 1.5, 3 ng/g, 11번 지점 불검출, 0.8 ng/g로 각각 측정되었다. BHC는 9-14번 지점에서 모두 검출되지 않았으며, PCBs와 Σ DDT도 12-14번 지점에서는 검출되지 않았다.

3.2. 패류의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC

가덕도 주변 1-8번 지점에서 1995년 8월과 11월, 1996년 2월과 5월 네 차례에 걸쳐 채집한 패류의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC는 Fig. 3과 같았다. 이 기간 중에 검출된 PCBs, Σ DDT 및 BHC의 농도 범위는 각각 불검출-2.1 ng/g, 불검출-2.1 ng/g, 불검출-1.9 ng/g로 저질에서 측정된 PCBs, Σ DDT 및 BHC의 농도 범위에 비하여 낮은 오염도를 나타내었으며, PCBs, Σ DDT 및 BHC가 비슷한 정도로 측정되었다.

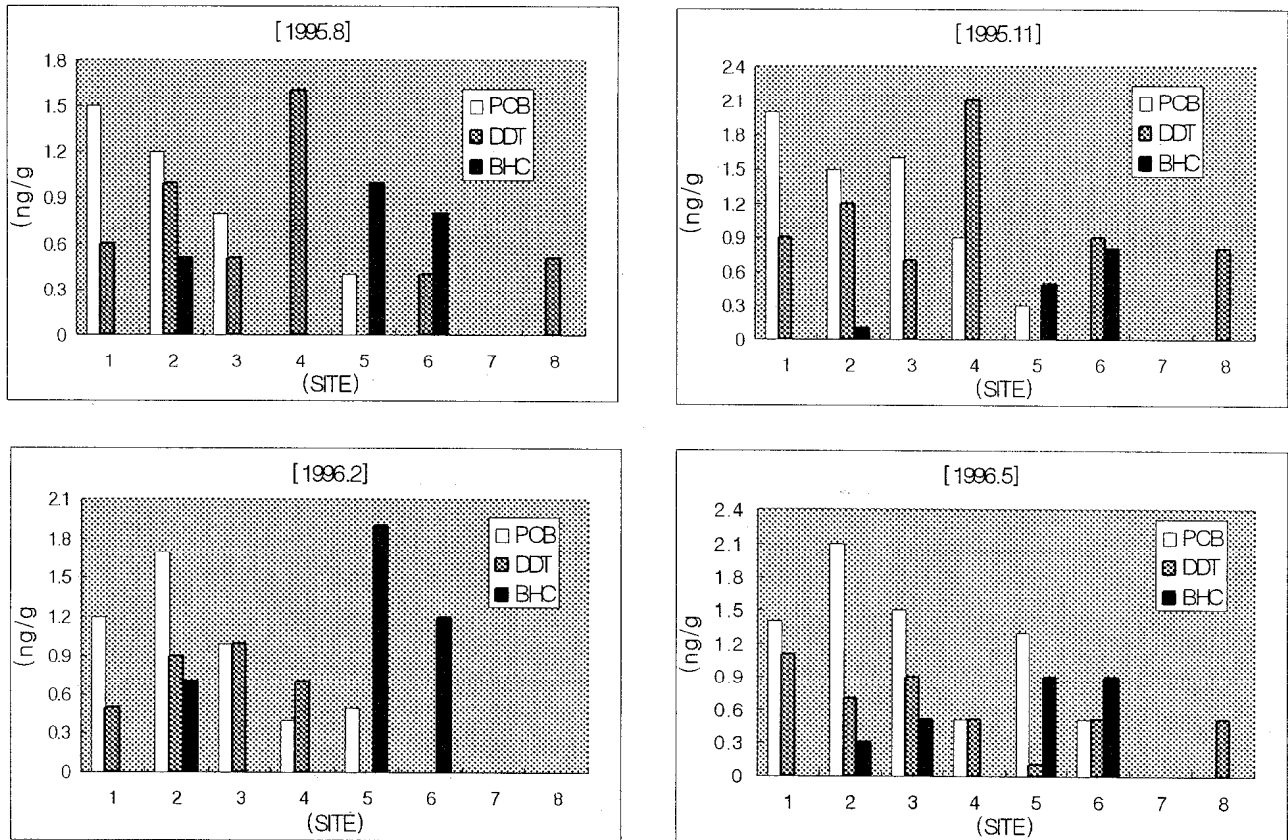


Fig. 3. PCBs, Σ DDT and BHC concentration (ng/g, wet basis) in shells obtained from sampling site 1-8 in Aug. 1995, Nov. 1995, Feb. 1996, and May 1996.

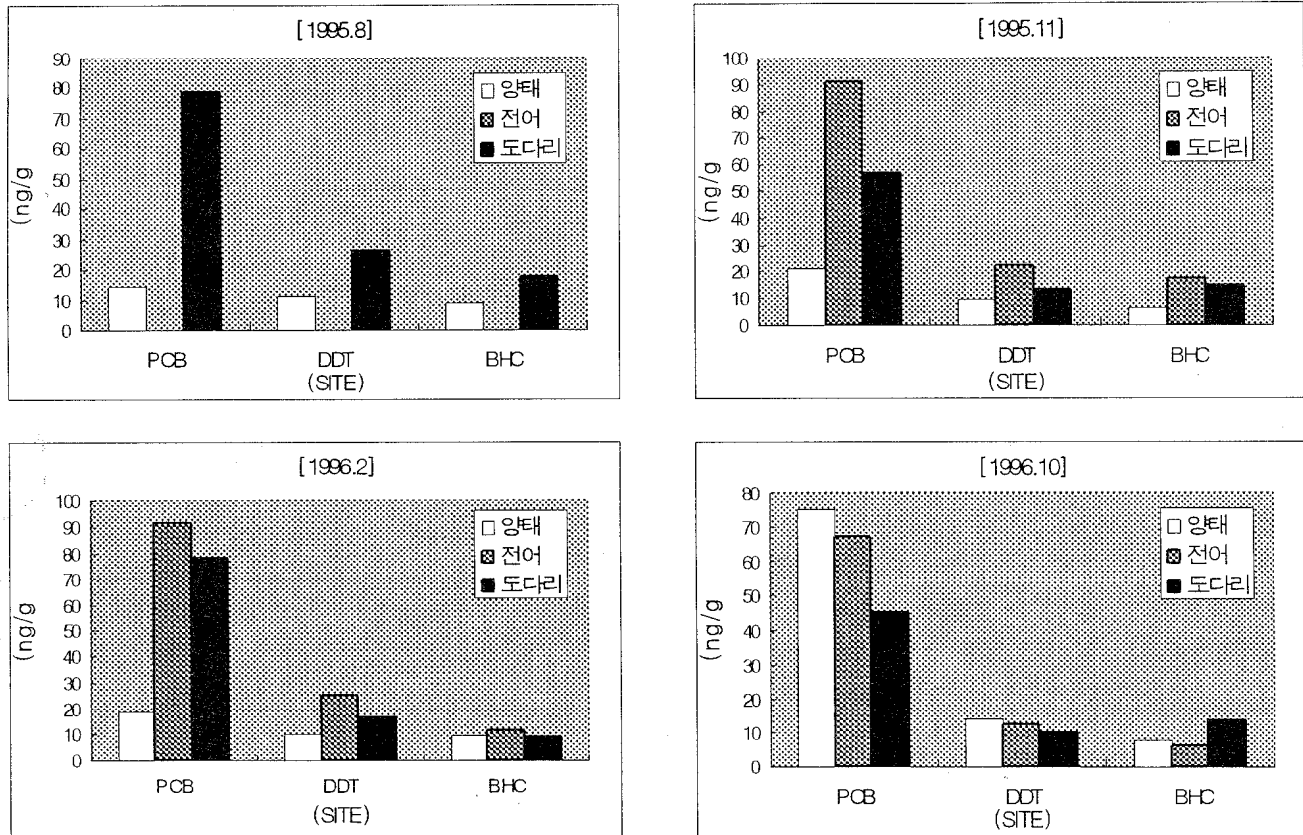


Fig. 4. PCBs, Σ DDT and BHC concentration (ng/g, wet basis) of *Platycephalus indicus*, *Konosirus punctatus* and *Pleuronichthys cornutus* sampled in Aug. 1995, Nov. 1995, Feb. 1996, and Oct. 1996.

3.3. 어류의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC

1995년 8월, 11월, 1996년 2월 및 10월에 저질 시료 채취시 현장에서 얻은 양태(*Platycephalus indicus*), 전어 (*Konosirus punctatus*), 도다리 (*Pleuronichthys cornutus*)의 잔류 PCBs, DDT 및 BHC는 Fig. 4와 같이 PCBs가 가장 많이 검출되었으며, 1995년 8월에는 전어를 채집하지 못 하였으므로 양태와 도다리의 잔류량만을 측정하였다. 특히 1995년 11월부터 1996년 10월 동안 채집된 전어의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC는 Fig. 5와 같았으며, PCBs의 평균 농도가 가장 높은 반면에 BHC의 평균 농도는 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편 1995년 8월부터 2월까지 측정된 송어 (*Mugil cephalus*)의 잔류 PCBs, Σ DDT 및 BHC는 80-688 ng/g, 71-114.7 ng/g, 27-63 ng/g으로 다른 어류에 비하여 상당히 높았다. 송어는 이동성 어류이므로 주변의 오염이 심한 지역에서 이동한 것으로

판단되며, 본 조사 지역의 오염도를 적절히 반영할 수 없으리라 사료되므로 1996년 5월 조사부터는 채집 대상에서 제외되었다.

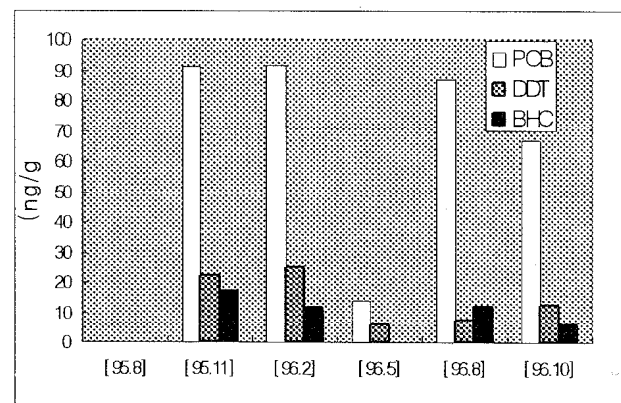


Fig. 5. PCBs, Σ DDT and BHC concentration (ng/g, wet basis) of *Konosirus punctatus* sampled from Nov. 1995 to Oct. 1996.

4. 고찰

PCBs, Σ DDT 및 BHC는 물에 잘 녹지 않으므로 해수 중의 농도는 낮지만, 부유입자에 흡착되어 결국 저질에 축적되며, 연근해 저질은 해양 생태계에서 이들 유기염소계 화합물의 가장 중요한 오염원으로 작용하게 된다^{13,14}. PCBs의 경우, 저염소 congener는 일반적으로 휘발성이 크지만, 고염소 congener는 수용성이 적어서 저질에 축적되는 경향이 높다. 한편, β -BHC는 지용성이므로 부유입자에 흡착하는 경향이 높지만, α -, γ -BHC는 β -BHC에 비하여 수용성이므로, 먼 바다에서 고농도로 측정된다고 보고된 바 있다¹⁵. 고염소 PCBs congener와 β -BHC와 같이 지용성이고 부유입자에 흡착을 잘 하는 유기염소계 화합물이 환경 중의 반감기가 길다는 것은 잘 알려진 사실이다¹⁶. 저질 중의 PCBs, DDT 및 BHC의 오염현황을 살펴보면, 1994년부터 1995년까지 낙동강 하구연 인근의 공업지역인 사상, 신평-장림공단 주변 5곳 저질의 PCBs 농도가 2.084 ppm (측정 농도범위: 30-8500 ppb)으로 비교적 높았는데, 이는 공단이 연안에 위치하므로 방류하천이 짧아 발생하는 폐수가 곧 바로 해양에 도달하기 때문으로 사료된다. 한편, 가덕도 주변 저질 중 PCBs의 최대 농도는 22 ng/g으로 특별한 오염원이 존재하지 않는 독일의 일반 하천 저질의 PCBs 농도인 160-590 ng/g보다 현저히 낮았다. 이처럼 가덕도 주변 저질의 PCBs 농도가 낮은 이유는 오염이 심한 사상, 신평-장림공단 주변의 저질토가 하구로 향하면서 이동이 용이하지 못하며, 하구연 축조로 형성된 실트층에 흡착되기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 1991년 일본 오사카만의 표층 저질의 DDT와 BHC 잔류량은 0.16-12 ng/g, 0.07-6.2 ng/g으로 각각 보고¹⁷되었으므로, 가덕도 주변 저질 중 DDT 및 BHC의 최대 농도인 13 ng/g 및 5 ng/g과 유사하였다. 따라서, 가덕도 주변 저질의 PCBs, DDT 및 BHC의 농도는 비교적 낮은 농도로 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다. 또한, 시료 채취 지점에 따른 이들 오염물질의 농도를 살펴보면, 예상했던 대로, 진해시와 부산시에서 멀리 떨어질수록 저질 중의 PCBs, DDT 및 BHC의 농도가 낮아져서, 7, 8, 12,

13 및 14번 시료 채취 지점의 저질 중 잔류 PCBs, DDT 및 BHC는 모두 검출한계보다 낮았다.

해수 중의 PCBs는 저질에 침강하고 식물성 플랑크톤 → 동물성 플랑크톤 → 어류의 해양 생태계에서 먹이연쇄의 영양단계가 높아짐에 따라 현저한 생물농축 현상이 관찰된다¹⁸. 따라서, 어류 중의 PCBs 잔류량은 수중 농도의 1만배-10만배까지 농축되며¹⁹, 특히 오염된 어류를 먹이로 하는 야생조류에서 독성이 나타난다. 본 연구 결과 패류의 PCBs, DDT 및 BHC 농도는 저질의 농도에 비하여 낮은 경향이 있으나, 어류의 경우 저질 농도보다 현저히 높아서 생물농축 경향을 보여 주었다. 하지만 어패류의 잔류 PCBs, DDT 및 BHC는 이 동성 어류인 승어를 제외하고는 모두 낮아서 오염원이 없는 지역에서의 오염 수준과 유사하며, 어류에서는 PCBs 잔류량이 가장 많고, DDT와 BHC는 거의 같은 양으로 검출되었다. PCBs congener의 축적 양상은 종 및 서식 지역에 따라 다르다고 알려져 있는데, 예를 들어, 낙동강 하구연에서 흔히 채집되는 가자미, 눈돔미리와 서낙동강에서 잡히는 붕어, 잉어는 서식 환경의 PCBs congener 조성과 유사한 양상을 보였다. 하지만, 가덕도 주변 저질에서의 PCBs 농도는 너무 낮아서, 서식 환경과의 고찰은 불가능하였으나, 어류의 종에 따라 저염소 PCBs에서 다소의 차이를 보였다.

해양생물 중의 PCBs, DDT 및 BHC의 오염현황을 살펴보면, 1980년부터 1989년에 걸쳐 롱아일랜드 동쪽 해안 가에서 채취한 거북이 (*Lepidochelys Kempfi*)의 PCBs 잔류량은 476-1250 ng/g body fat, DDT의 생체내 주 대사산물인 DDE의 연평균 농도는 137-386 ng/g wet basis으로 보고되었다²⁰. 또한 북해의 물개 지방 중의 DDT와 BHC의 농도 범위는 각각 1.108-2.540 ppm과 0.027-0.139 ppm으로 Σ DDT가 BHC보다 많은 양으로 존재하였다²¹. 반면에 오염원이 존재한다고 추정되는 가덕도 인근 낙동강 하구연 부근에서 채집된 갈매기류에서 35 ppm이라는 고농도의 PCBs가 검출되었으며, 이러한 오염도에서는 갈매기의 기형 발생이 증가했을 것으로 사료된다. 이는 롱아일랜드 해협 (Long Island Sound)의 갈매기 흉근 PCBs 농도가 5-140 ppm일 때, 깃털의 손실이나 눈, 부리 및 발에 기형

이 나타난 새끼 갈매기가 13배나 증가하였다는 연구결과³로부터 추정할 수 있다. 미국 오대호의 가마우지의 경우, PCBs 잔류량이 4-7 ppm이었을 때, 미부화 및 기형발생율이 12 %였으며, 잔류량이 7.3 ppm에 이르자 미부화 및 기형발생율은 22 %까지 증가하였다고 보고된 바 있다. 또한, 1982년 방향갑각을 잃어 육상으로 올라와 사망한 140여 마리의 돌고래에서 PCBs 30-40 ppm이 검출되었으며, 1988년 유럽에서 사망한 17,000마리의 물범에서 평균농도 약 44 ppm의 PCBs가 검출되었다.

5. 결 론

본 연구 결과로 보아 1995년부터 1996년까지 가덕도 일원에는 PCBs, DDT 및 BHC의 오염원이 존재하지 않으며, 오염이 심한 낙동강으로부터의 영향도 적다는 것을 알 수 있다. 그러나, 가덕도는 신항만 건설이라는 대규모 개발과 이에 따른 항만 지원 시설의 유치, 선박의 출입 및 인구 증가 등으로 인해 낙동강하구와 같은 오염현상이 발생할 소지가 매우 높다. 또한 가덕도 일원은 철새 도래지이므로 이러한 잔류성이 큰 유기염소화합물로 오염될 경우, 생물농축과정을 거쳐 조류에 독성이 나타날 것으로 추정된다. 따라서, 향후 지속적인 오염 억제 노력이 요구되며, 이러한 노력의 일환으로 해양 생태계의 지속적인 오염현황 파악 및 오염원 확인이 필수적이라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 부산광역시 및 삼성물산 주식회사에 의하여 연구비가 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. H. Chen, J. M. Gaw, C. K. Wong, and C. J. Chen, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **1980**, 25, 325-329.
2. S. Safe, *Crit. Rev. Toxicol.*, **1990**, 21, 1.
3. L. G. Hansen, "Environmental Toxin Series", **1987**, Vol. 1, 16-48, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
4. E. Atlas, and C. S. Giam, *Science*, **1981**, 211, 163-165.
5. R. A. Rapaport, and S. J. Eisenreich, *Environ. Sci. Technol.*, **1988**, 22, 931-941.
6. 민병윤, *경남대학교 부설 환경연구소 연구보고*, **1985**, 7, 11-21.
7. D. J. Ecobichon, *Casarett & Doull's Toxicology; the Basic Science of Poisons*, **1995**, 5th Ed., McGraw-Hill, N.Y.
8. D. Brown, R. W. Gossett, and S. R. Mchugh, "Oceanic Processes in Marine Pollution", **1986**, 1, 61-69.
9. D. A. Ratcliffe, *Nature*, **1967**, 215(5097), 208-210.
10. 立川 涼, *PPM*, **1973**, 4, 56-60.
11. 脇本忠明, 立川 涼, *PPM*, **1973**, 4, 46-51.
12. 脇本忠明, 立川 涼, 小川恒一, *公害 對策*, **1971**, 7, 517-522
13. M. M. Gagnon, and J. J. Dodson, *Sci. Total Environ.*, **1990**, 97-98, 739-759.
14. A. M. Beeton, J. R. Allen, A. V. Andren, R. L. Durfee, A. M. Freeman, R. L. Metcalf, I. C. T. Nisbet, J. E. Sanders, A. Sodergren and V. Zitko, *Polychlorinated biphenyls*, **1979**, National Academy of Sciences, Washington D. C., p 182.
15. 立川 涼, 田邊信介, 吉田多摩夫, *海洋環境調査法*, **1979**, pp 232-269, 恒星社厚生閣, 東京.
16. K. M. Lee, W. Scharenberg, and N. Weise, "UBA Forschungsbericht 10603900 -Fischkrankheiten in der Nordsee-", **1993**, Umweltbundesamt (UBA), Berlin
17. S. Tanabe, A. Nishmura, S. Hanaoka, T. Yanagi, H. Takeoka, and R. Tatsukawa, *Marine Pollution Bulletin*, **1991**, 22 (7), 344-351.
18. 김기환, 이윤, 허인에, 이시용, *한국수질보전학회 학술연구 발표회 논문초록집*, **1996**, 1996. 4. 19. D-12.
19. P. F. Larsen, D. F. Gadbois, and A. C. Johnson, *Marine, Mar. Pollut. Bull.*, **1985**, 16, 439-442.
20. J. L. Lake, R. Haebler, R. Mckinney, C. A. Lake, and S. S. Sadove, *Marine Environ. Res.*, **1994**, 38, 313-327.
21. H. Beck, E. M. Breuer, A. Drob, and W. Mathar, *Chemosphere*, **1990**, 20(7-9), 1027-1034.