

동해남부 대마난류계에서의 염소화 Biphenyls의 분포특성

이동인 · 옥곤 · 양한섭* · 장윤석**

부경대학교 지구환경과학부, *부경대학교 해양학과, **포항공과대학교 환경공학부

Distribution Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in the Southern Korea

Dong-In LEE, Gon OK, Han-Soeb YANG* and Yoon-Seok CHANG**

Faculty of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

*Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**School of Environmental Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungpook 790-784, Korea

In order to investigate the distribution characteristics of polychlorinated Biphenyls (PCBs) at the southern of Korean East Sea, vertical measurements of temperature, salinity, DO and PCBs were performed by each depth of 5 stations during August - October 1996.

Thermocline and salinocline were generally existed at depth of 30 m and water mass current of midwater in the southern of Korean East Sea was distributed below 30 m depth. The distribution of surface water mass in this area was extended to Tsushima area from the southern offshore of the Korean East Sea. In August 1996, concentration range of PCBs had 0.22 ~ 0.36 ng/l at surface layer and their concentrations at near Tsushima offshore were relatively decreased. Total mean concentration of PCBs was 0.29 ng/l in the sea surface and 0.31 ng/l in the middle layer. PCBs seemed to correlate well with suspended particles. And vertical and horizontal distribution of their concentrations showed comparatively uniform pattern.

Relatively high compositional ratio of Di- and Tri-PCBs could be found at the sea surface, while compositional ratio of Penta-PCBs dominates over other congener at deep layer.

Key words : distribution characteristics of PCBs, southern of Korean East Sea, suspended particles, compositional ratio

서 론

1960년대부터 지역적 환경오염뿐만 아니라 화석 연료의 사용으로 인한 연소와 수림 파괴에 의한 이산화탄소의 증대, 성층권에서의 프레온 등의 유기염소계 화합물의 축적으로 인한 오존층의 파괴와 농약 등의 사용으로 인한 합성화학물질의 오염이 전 지구적 규모로 진행되고 있으며 (Simonich and Mites, 1995). 특히 polychlorinated Biphenyls (PCBs)에 의한 환경오염은 대기와 물을 매개로 하여 점차 증대 되고 있다 (Loganathan and Kannan, 1991). 유럽 북서부의 대륙붕에 위치하는 북해는 하천과 공업도시로부터 직접적으로 유입되는 배수, 농지로부터의 유출, 산업 폐기물 투여, 소각 등의 과정으로 대기를 통하여 오염원이 유입되므로서 해양오염의 진전이 확인되고 있으며, 대서양, 태평양 등에서도 오염이 확인되고 있다 (Duinker and Hillebrand, 1979; Harvey et al., 1974; Harvey and Steinhauer, 1976; Bidleman et al., 1981; Scura and Mucluer, 1975; Tanabe and Tatsukawa, 1983a). PCBs의 생물농축은 육수역과 연안역에서 뿐만아니라

양에서도 확인되고 있으며, 그 잔류성은 남극의 어패류와 포유동물 등에게까지 검출되고 있다 (Tanabe et al., 1982). 최근 북극권의 고등동물에서도 이들 화합물이 고농도로 검출되었으며 장거리 수송에 의해 확산 되어 북극역에 침적되어 지구적 규모의 오염이 되고 있다고 한다 (Norstrom and Muir, 1994). 또한 북태평양과 베링해 해조류 (海鳥類) 근육 속의 PCB 농축은 북태평양산 어패류에 비교하여 5배나 높은 농도를 나타내고 있으며 간장 중의 PCB 농도는 6배에서 7.5배의 농도를 나타내고 있다 (Takagi et al., 1975).

PCBs 등의 보존성 유기염소계 화합물의 생산과 사용은 선진국을 중심으로 규제되기 시작함으로써 70년대 이후부터 잔류농도가 점차 감소하는 경향에 있으나, 개발도상국에서는 이들 화합물이 사용되어 그로 인한 오염이 가속되고 있는 실정이다 (Tanabe et al., 1990; Ramesh et al., 1992; Kannan et al., 1994). PCBs의 해양 유입과 투입은 합성 화합물의 특성을 고려해 볼 때 극도의 안정성과 난분해성, 유독성, 축적성의 성격을 가지며, 이들 화합물이 생물계에 농축되어 생물연쇄 과정을 거치면서 궁

극적으로 인간뿐만 아니라 생태계의 총체적 오염으로 악영향을 초래할 수 있다.

PCBs에 의한 해양 오염의 연구 조사 결과, PCBs에 의한 해수 중의 농도 경향은 수십 ppt~ppb 수준의 농도 경향을 나타내고 있으며, 표층수 중에서도 연안역과 외양과의 농도 차이는 크게 나타난다. 그러나 이들 화합물의 연직분포의 경우, 연안역에서는 표층수와 하층수와의 농도 차이가 거의 없으며, 시간의 경과와 더불어 분해성이 용이한 성분과 난분해성간의 상대적 농축 과정에 의한 조성 변화도 확인되고 있다 (Tanabe et al., 1982; Tanabe and Tatsukawa, 1983b; Tanabe, 1985).

따라서, 본 연구에서는 우리나라 동해 남부 대마 난류계에서 수온, 염분 및 용존산소와 PCBs의 농도를 조사하여 수심별 PCBs의 구성비와 외양으로의 총부유물질 농도변화와 함께 수평 및 연직분포 특성을 알아보았다.

재료 및 방법

본 연구 조사는 부경대학교의 탐사선인 탐양호를 이용하여 1996년 8월 26~27일과 10월 8~9일 두 차례에 걸쳐 대한해협 서수도를 중심으로 실시되었다. 본 연구 조사 지역은 Fig. 1에 나타내었으며 조사 정점은 북위 34° 59' Q~34° 49' Q와 동경 129° 12' Q~129° 24' Q에 걸쳐 5개 정점을 설정하였으며 정점간의 거리는 약 5 km 정도였다. 해수 시료의 채취는 대형 Van Don 채수기를 이용하여 표층을 비롯한 각층별로 이루어 졌으며 수온과 염분은 채수와 동시에 관측된 CTD자료중 해당수심의 자료를 사용하였다. 용존산소는 CTD와 Winkler방법의 측정치를 병행하였으며 총 부유물질은 여과하여 중량법으로 측정하였다. 해수중 염소계 Biphenyl 화합물의 분석을 위하여는 표층수, 수심 10 m, 30 m, 50 m의 각 수심별 해수시료를 갈색병에 채취하고 실험실로 운반하여 전처리 하였다.

채취된 해수시료 1ℓ당 황산용액 2 ml를 가하여 혼합한 후 1:1 아세톤/n-헥산용액 (1:1) 50 ml로 30분간 용매 추출하고, 수층은 다시 25 ml n-헥산으로 30분간 용매 추출하였다. 추출액을 합하여 무수황산나트륨으로 탈수하고 Rotary Evaporator로 농축한 후 질소가스로 5 ml까지 농축하였다. 농축된 시료의 정제를 위하여 Wakogel S-1의 실리카겔을 130°C에서 하루밤 활성화 하였으며, 활성화 실리카겔 2 g을 n-헥산 25 ml로 세정하여 기포를 제거하고, 유리필터가 장착된 내경 10 mm의 칼럼에 10 ml 정도의 n-헥산을 주입한후 활성화된 실리카겔 2 g을 장착시켰다. 그위에 무수황산나트륨 1 g을 실리카겔위에 장착시켜,

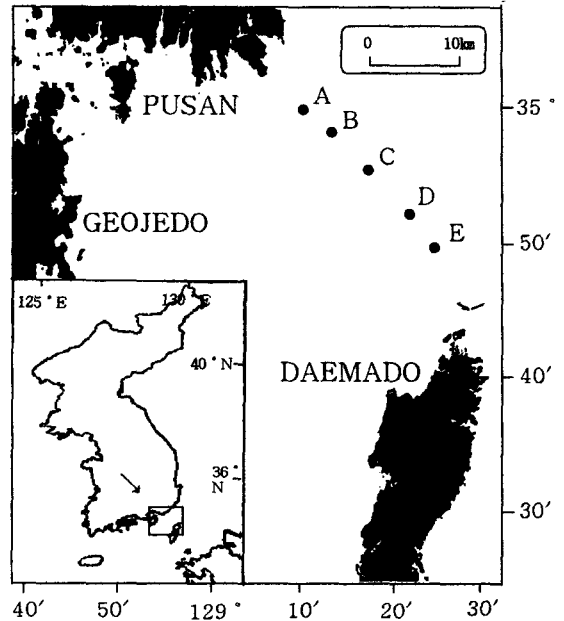


Fig. 1. Map showing the sampling site

n-헥산 20 ml로 세정한 후, 과잉의 n-헥산을 제거하고, 시료농축액을 주입하여 n-헥산 100 ml로 용출시켰다 (竹下等, 1973). 용출액을 2 ml 농축시켜 Florigin사 제품 60~100 mesh를 130°C에서 하루밤 활성화한 3g의 프로리질을 내경 10 mm의 크로마토관에 충전하고, 1% 디에틸 에텔/n-헥산 40 ml을 전개 용출하여 100 μ l까지 농축하여 GC/MS로 분석 하였다 (Miyata et al., 1987). 본 연구에서 사용된 분석 기기 및 분석 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Analysis Condition of GC/MS

Gas Chromatography : CE 8000	
Column	: DB-1, 60 m \times 0.32 mm ID \times 0.25 μ m
Injection Temp	: 120°C (3 min) \rightarrow 20°C min \rightarrow 180°C (3 min) \rightarrow 4°C min \rightarrow 260°C (11 min)
Interface Temp	: 260°C
Carrier	: He, 24 psi
Mass Spectrometer	: Micromass, Autospec Ultima
Ionization Mode	: EI
Ionization Energy	: 36 eV
Source Temp	: 260°C
Acceleration Volts	: 8 KV
Resolution	: 10000
Monitoring Method	: SIM
Function	: 3 Function
Cycle Time	: 0.99 sec

결과 및 고찰

3.1. 수괴의 분포특성

1996년 8월 26일에 관측된 수온과 염분 및 용존산소의 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 표층수온은 25°C 이상이었으며 한반도에서 대마도로 갈수록 27°C 이상으로 증가되는 경향을 나타내었다. 계절 수온약층은 수온 20~30 m층에서 나타났으며 영구수온 약층은 수심 75 m 이상에서 나타나 대마도로 갈수록 점차 깊어지는 양상을 나타내었다.

염분은 표층에서 33.40‰ 이하의 값을 나타내었으며 대마도로 갈수록 표층 염분은 31.60~33.40‰로 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 염분약층은 정점 A와 B의 수심 30~50 m층에서 강하게 나타났으며 대마도로 갈수록 약화되었다. 그리고, 정점 D와 E에서 수심 50~100 m층에서 34.20‰ 이상의 고염분수가 분포하고 있었다.

염분은 정점 A의 표층에서 33.00‰ 정도로 나타났으며 8월에 정점 D와 E의 50~100 m층에서 나타났던 34.20‰ 이상의 고염분수는 세력이 약화되어 10월에는 나타나지 않았다.

용존산소는 표층에서 5 ml/l 이하로 낮게 나타났으며 중층으로 갈수록 감소하는 경향에서 심층으로 갈수록 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 정점 D와 E의 수심 50~100 m층에서는 용존산소 농도가 4.50 ml/l로 다소 낮은 농도를 나타내었다.

용존산소는 정점 A와 B에서 6.00 ml/l 이상의 높은 값

을 나타내었으며 8월과 유사하게 표층에서 대체적으로 높고 중층에서 낮아지다가 다시 저층에서 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 2의 아래 부분에는 1996년 10월 8일에 관측된 수온과 염분 및 용존산소의 분포를 나타내었다. 표층 수온은 8월에 비교하여 대체적으로 3~4°C 정도 낮게 나타났으며 계절 수온 약층도 30~50 m층에 나타나 8월과 비교하여 전체적으로 깊어지는 경향을 나타내었다.

Lim and Chang (1969)에 의한 본 해역의 수괴분석 결과, 대마난류 표층수는 수온 약 18~29°C, 염분 32.00~34.00‰로 나타나고 있으며, Yang et al. (1991)의 경우, 수온 20°C 이상, 염분 32.00~34.00‰ 이하로 보고하고 있고, 동해에서 계절 수온 약층이 대체적으로 10~30 m 수층에 존재하고 22.2~24.8°C의 표층수가 존재하며, 대마난류 중층수는 30~75 m 사이에서 나타난다는 연구 결과와도 잘 일치 하고 있었다.

따라서 본 해역에서 나타나는 수괴의 특성은 담수 유출의 영향을 많이 받는 8월에 저염성인 낙동강 유출수와 고온 저염성인 한국 남해 연안수의 영향으로 대마도 쪽으로 확장되면서 고온 저염성의 대마난류 표층수를 가지는 경향을 나타내었다.

3.2. polychlorinated Biphenyls (PCBs)의 농도 변화
 해수 시료중 PCBs의 GC/MS-SIM분석 크로마토그램을 Fig. 3에 나타내었다. 해수 시료를 분석한 결과 해수 시

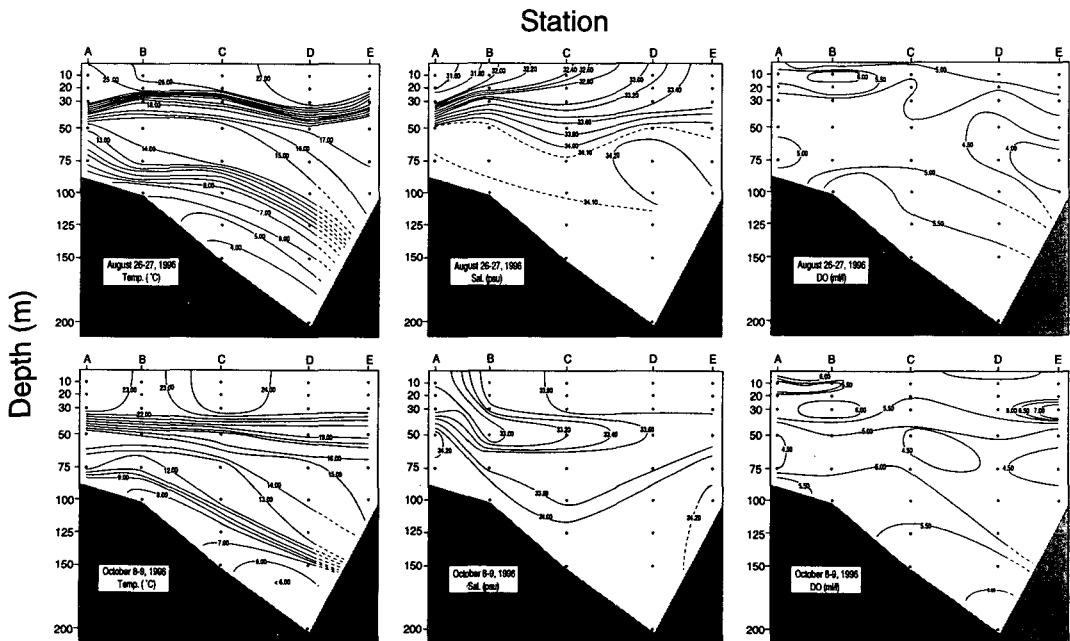


Fig. 2. Depth profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen for seawater in August and October 1996

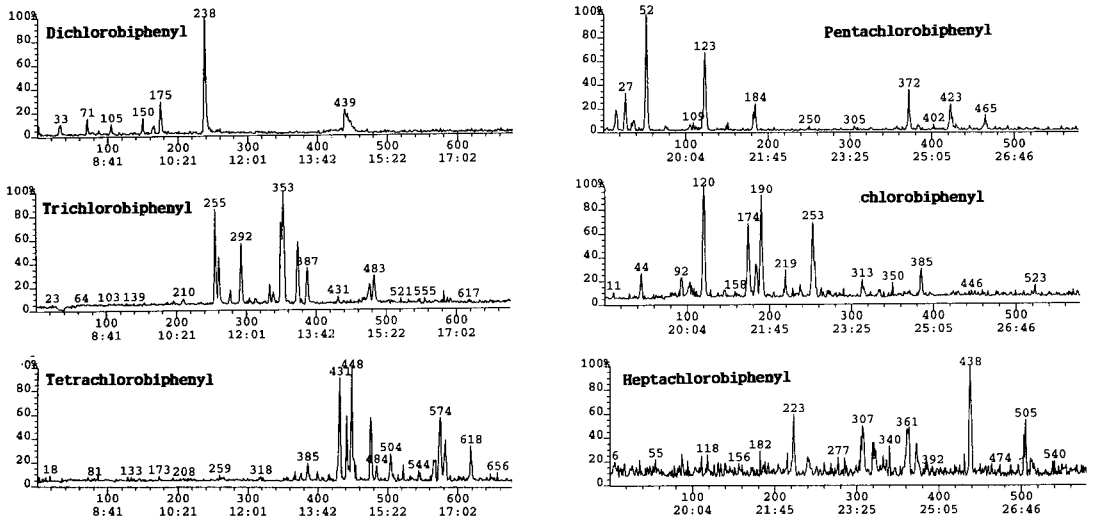


Fig. 3. GC/MS-SIM Chromatogram of PCBs in seawater sample.

료중 PCBs중 Mono-, Octa-, Nona-, Deca-, 동족체는 검출되지 않았지만 다수의 이성체들이 분리 검출되었으며, GC/MS에 의한 PCBs의 분석 검출 한계는 0.002 ng/l이다.

8월과 10월의 2차에 걸친 PCBs의 시료채취 분석결과를 Fig. 4에 각 정점별·수심별 농도 분포로 나타내었다. 정점 A의 표층 해수중 농도범위는 0.29~0.36 ng/l로 나타났으며, 정점 B에서는 0.24~0.28 ng/l, 정점 C에서는 0.27~0.30 ng/l, 정점 D에서는 0.22~0.25 ng/l, 정점 E에서는 0.31~0.33 ng/l로 나타났다. 표층에 비해 중층으로 갈수록 농도가 일정하다가 약간 높아지는 연직 분포 경향을 나타내었다. 8월의 경우는 전반적으로 대마도쪽으로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 10월의 경우에는 정점 A와 E에서 표층수층의 농도가 다른 정점에 비교하여 약간 높은 농도를 나타내었으나, 8월과 같이 대마도쪽으로 갈수록 농도가 감소하는 뚜렷한 경향은 보이지 않았다.

수심 10m의 경우, 각 지점별로 10월의 농도가 8월보다 높게 나타났으며, 한국 근해인 A지점과 대마도 근해인 B지점을 제외하고 수심에 따른 PCBs 농도가 거의 일정하였다. 이는 육지로부터 해양 오염 물질이 점차 증대됨으로 인하여 근해 지역에서는 농도가 높고 외양으로 갈수록 농도차가 일정한 경향으로 나타난 것으로 사료된다. 대마난류의 중층수로 간주할 수 있는 수심 30m에서의 각 정점별 농도변화도 정점 A에서 가장높은 농도 0.34~0.40 ng/l를 보였다. 8월과 10월에 수심 10m와 비교하여 농도가 증가하였다. 정점 B에서는 0.28~0.30 ng/l 농도로 정점 A에 비교하여 낮은 값을 보였으나 수심 10m에 비교해 8월에 약간 증가한 값으로 나타났다. 정점

C와 D,E에서도 8월이 10월에 비하여 농도가 약간 높았고 수심 10m에 비해서도 높은 값을 나타내었다. 전반적으로 수심 30m의 각 정점에서 10월보다 8월이 약간 높은 농도를 나타내었으며, 8월의 경우 중층류 부근에서 수심 10m보다 다소 농도가 증가하는 경향을 나타내었다.

수심 50m에서의 각 정점별 농도조사 결과, 정점 A,D,E에서는 수심 30m에 비해 농도가 다소 낮아진 양상을 나타내었으나, 정점 B,C에서는 0.27~0.30 ng/l의 범위로 상대적으로 약간 높은 농도로 나타났다. 이는 Fig.2에서의 수심 30m에서 50m의 수온 값 변동과 유사한 관계를 보이고 있다. 즉 수심 30m에서의 수온값이 50m 깊이 이상으로될 때 전 정점 위치에서 큰 온도 차이로 낮아지고 있다. 이는 근해에 위치한 A,D,E에서 보다 뚜렷한 경향을 띄었다. 따라서 수심에 따른 PCBs 농도의 연직 변화는 수온의 연직 분포 구배와 유사한 농도 변화를 보이고 있어 염분과 용존산소 보다 수온과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 사료된다. 그러나 전반적으로 볼 때 수심 50m에서의 농도는 수심 30m의 값에 비해 농도 변화가 8월, 10월 모두 거의 없는 양상을 보였다. 수심 50m에서의 8월과 10월의 농도차이는 적었으나, 정점 A를 제외하고 8월에 대체적으로 약간 높은 농도를 가졌다. 각 정점별 수심 50m에서의 농도차이는 적었으며, 또한 전반적으로 연직 농도변화도 별로 크지 않았으나 30m 중층수에서부터 약간의 증가 경향을 나타내고 있었다. 중층류에서 농도가 다소 높게 나타나는 경향을 가졌는데, 이 결과는 일본 주변 해양 표층수에서 0.2~0.8 ng/l로 보고되고 있으며, 특히 동해 북부 표층수에서는 0.23~0.33 ng/l, 서태평양에서의 분석치 0.25~0.56 ng/l과 비교

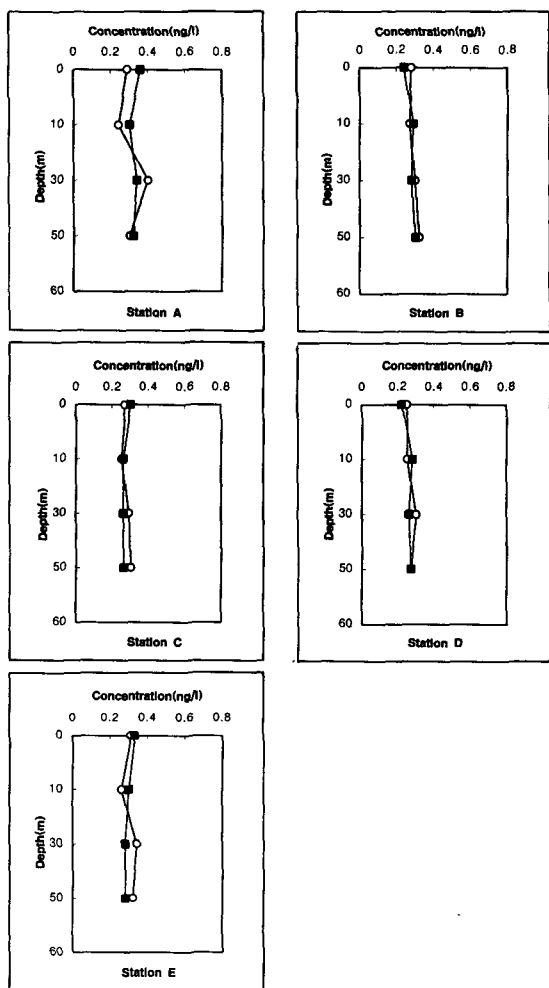


Fig. 4. Vertical profiles of PCBs concentration in seawater.

-○- : August 26~27, 1996.
 -■- : October 8~9, 1996.

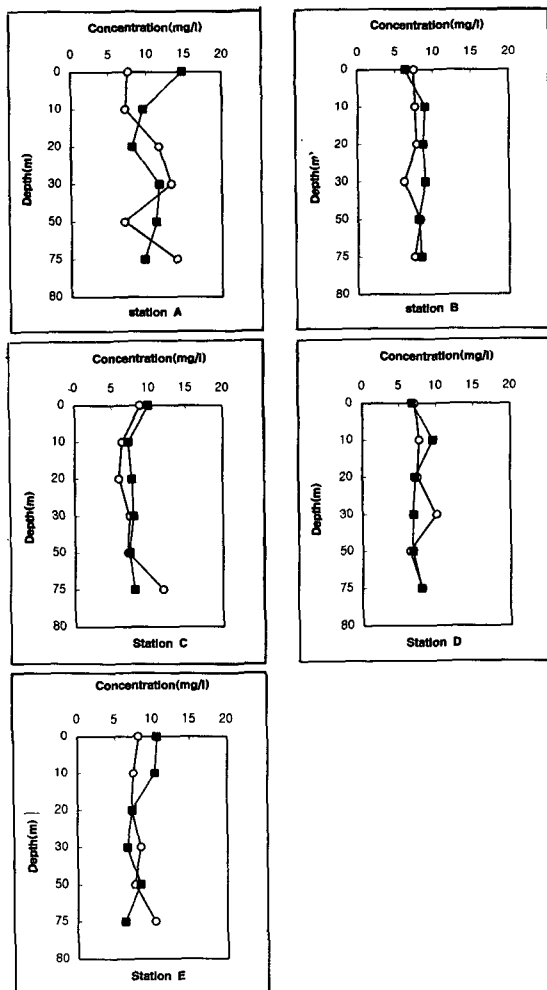


Fig. 5. Vertical profiles of TSM concentration in seawater.

-○- : August 26~27, 1996.
 -■- : October 8~9, 1996.

할 때 큰 차이는 없는 것으로 나타났다 (Tatsukawa et al., 1979; Tanabe and Tatsukawa, 1980, 1983b). 그리고, 해수에 있어서 PCBs를 비롯한 유기염소계 화합물의 연직 분포에 관한 몇몇의 연구결과에 의하면 표층에서 심층까지 비교적 균일한 농도분포를 나타내는 것으로 설명하고 있으며 (Harvey et al., 1974; Harvey and Steinhauer, 1976; Jonas and Pfaender, 1976), 본 조사에 있어서도 PCBs의 수층별 연직농도 변화는 크게 나타나지 않았고, 비교적 균일한 농도분포를 나타내고 있었고, 전반적으로 중층부근에서 약간의 증가 경향이 있는 것으로 나타났다.

3.3 총 부유물질의 분포 특성

해수중 각 정점에서의 총부유물질의 농도변화 관계를

알아보기 위하여 Fig. 5에 각 정점에서 수심별로 채수된 해수 시료의 총부유물질의 농도변화를 살펴 보았다.

각 정점에서의 표층수 중 총 부유물질의 농도범위는 6.38~14.75 mg/l을 나타내었으며, 특히 정점 A의 표층에서 7.60~14.75 mg/l의 범위로 8월보다 10월에 총 부유물질 농도가 2배 정도 높게 나타났다.

수심 10m의 경우, 각 정점에서 총 부유물질의 농도는 6.35~10.30 mg/l의 범위를 나타내었으며 표층과 비교하여 8월의 경우는 농도변화가 적었으나, 정점 A에서 10월에 농도 감소폭이 상대적으로 크게 나타났다. 또한 A, C, E 정점에서는 8월과 10월에 감소 경향을 보이고 있으나, B 및 D 정점에서는 증가 경향을 나타내었다. 수심 20m와 30m의 경우 총 부유물질의 농도는 정점 A에서 8월

과 10월에 가장 높게 나타났고 다른 정점에 비교하여 8월과 10월의 농도 차이도 다소 큰 것으로 나타났다. 수심 50 m의 경우에 있어서 총 부유물질의 농도범위는 6.38~11.25 mg/l 범위를 나타내었고, 정점 A에서 10월에 가장 높은 농도를 나타내었으며, 또한 8월과 10월의 농도차이도 다소 크게 나타났다. 하지만 A정점을 제외한 다른 정점에서의 농도차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 수심 75 m에서의 총 부유물질의 농도는 6.36~13.98 mg/l의 범위를 나타내었으며, 정점 A에서 8월에 총 부유물질의 농도가 가장 높게 나타났다. 총 부유물질의 표층수 중 수평적 농도는 정점 A와 E에서 대체적으로 농도가 높은 것으로 나타났고, 8월과 10월에서의 농도차이도 A와 E가 다소 크게 나타났으나 B, C, D 정점에서 표층수 중 농도차이는 그다지 크게 나타나지 않았다. 이는 육수의 유입에 의한 A, E 정점에서 표층수가 영향을 다소 받고 있기 때문으로 사료된다.

특히, 정점 A에서의 총 부유물질의 연직 농도변화는 수심에 따라 일정한 경향은 보이지 않고 있었으나 수심 30 m에서 농도의 증가가 명확히 나타났다. 그러나, 정점 B를 제외하고 수심 30 m에서 8월의 경우, 농도는 증가 경향을 나타내고 있었으며 10월의 경우는 B, C, D 정점에서 연직 변화는 크지 않았다. 각 정점에서의 전반적인 경향을 보면 PCBs의 연직 농도 변화 경향은 총 부유물질의 농도 변화에 따른 유기염소계 PCBs의 농도가 각 수심에서 총 부유물질 농도와 일정한 폭으로의 변화는 아니지만 대체적으로 총 부유물질의 연직 농도 변화 경향과는 유사성을 나타내고 있었으며, 이러한 농도변화에 부유물질과의 흡착 등의 물리적 영향뿐만 아니라, 생분해 등의 제반요소에 의해서도 영향을 받을 수 있으리라 생각된다.

3.4 polychlorinated Biphenyls (PCBs)의 구성변화

PCBs의 물리·화학적 특성이 증기압과 물에 대한 용해도가 낮고 생체내의 안정성과 지용성, 특히 입자와의 친화성이 높은 것에 기인하여 해수중의 생물과정에서 생산되는 입자상 및 육지등으로부터 유입되는 입자상 유기물의 양적인·질적인 차이는 있지만, 입자에 대한 유기화합물의 친화성이 관여하여 입자상 부유물질이 해양수중의 PCBs농도의 변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

해수중의 PCBs의 이성체의 구성변화 경향을 살펴보기 위하여 해수 시료의 수심 변화에 따른 이성체 구성 비율의 예를 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 표층수에서는 주로 저염소계의 Di-PCBs가 지배적인 구성농도 비율을 가지

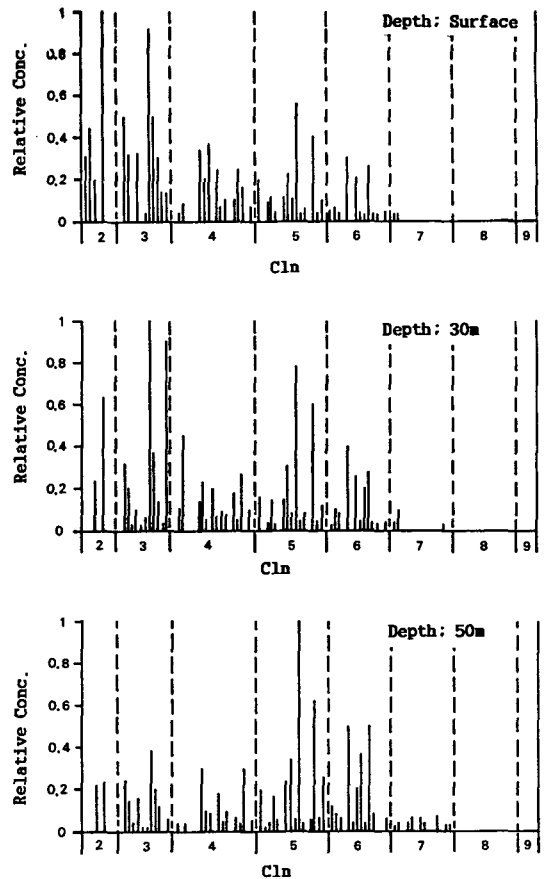


Fig. 6. PCBs isomer and congener compositions in surface, depth 30 m and 50 m seawater. Each bar shows the relative concentration (concentration of highest peak=1) of individual PCBs isomers and congeners measured by GC/MS

며, Tri-PCBs의 구성농도도 다소 높은 비율을 차지하는 경향을 나타내고 있었다. 수심 30 m의 경우에서는 Tri-PCBs가 지배적인 농도구성 비율을 나타내었으며, 표층에 비교하여 Di-PCBs의 구성농도 비율이 다소 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 또한 수심 50 m의 경우에 있어서는 Penta-PCBs의 구성농도 비율이 가장 높았으며, 그 다음으로 Tri-PCBs의 농도비율이 높게 나타났고 표층에 비교하여 Di-PCBs의 구성농도 비율이 상당히 낮아지는 양상을 나타내었다. 그리고 표층을 비롯하여 전시료에서 Octa-이상의 PCBs는 검출되고 있지 않았지만, 표층에 비교하여 Hexa- 및 Hepta-PCBs의 구성농도 비율이 심층으로 갈수록 높아지는 경향을 나타내었다.

이는 해수중에서 소실이 최종적으로 해수중의 부유물질 등에 침적되어 해양저층으로 침강 등 물리적 작용의 영향이 큰 것으로 사료되며, 또한 PCBs의 물성적인 특

성에 의해 해수중에서 침층으로 갈수록 고염소화물의 소실이 늦어지기 때문에 사료된다.

요 약

본 연구조사는 동해남부 대마난류계에서의 PCBs의 분포특성을 파악하기 위하여 1996년 8월과 10월에 걸쳐 5개 정점을 선정하여 각 정점의 수심별의 수온, 염분 및 용존산소를 측정하여 수괴 분석을 실시하였으며, 또한, 각 정점별, 수심별의 PCBs의 분석을 실시하였다.

수괴의 분포특성을 조사한 결과 수온 및 염분약층은 수심 30m부분에 존재하고 있었으며, 대마난류 중층수는 30m이하로 간주되었으며, 대마난류의 표층수는 한국근해에서 대마도쪽으로 확장되는 양상을 보였다.

PCBs의 분석결과 표층수는 8월의 경우 대마도쪽으로 갈수록 농도가 약간 낮아지는 경향을 보이다가, 대마도 쪽에서 다시 약간의 증가경향이 관찰되었다. 표층 해수중에서의 PCBs의 평균농도는 0.29 ng/l정도 였으며, 중층에서의 평균농도는 0.31 ng/l정도로 표층에 비교하여 중층에서의 농도가 약간 증가하는 것으로 나타났다.

해수중 PCBs의 농도는 부유물질의 농도변화 경향과 유사성을 나타냈으며, 농도의 수평 및 연직변화는 그다지 크게 나타나지 않아 비교적 균일한 농도분포를 나타내고 있었다. 해수의 수심별 PCBs의 상대농도 조성비는 표층에서 Di- 및 Tri-PCBs의 비율이 높았지만, 침층으로 갈수록 Peta-PCBs의 상대농도 조성비율이 높은 것으로 나타나, 수심의 변화에 따른 PCBs의 구성비와 소실에 차이가 있는 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(해양과학분야)에 의해서 수행되었다. 관계자분께 감사하는 바이다.

참 고 문 헌

Bidleman, T.F., E.J. Christensen, W.N. Billings and R. Leonard. 1981. atmospheric transport of organochlorines in the North Atlantic Gyre. *J. Mar. Res.*, 39, 443~469.
 Duinker, J.C. and M.T.J. Hillebrand. 1979. Behavior of PCB, pentachlorobenzene, hexachlorobenzene, α -HCH, β -HCH, γ -HCH, dieldrin, endrin, and p , p' -DDD in the Rhine-Meuse estuary and adjacent coastal area. *Nether. J. Sea Res.*, 13, 256~281.

ther. *J. Sea Res.*, 13, 256~281.
 Harvey, G. R. and W. G. Steinhauer and H. P. Miklas. 1974. Decline of PCB concentrations in North Atlantic surface water. *Nature*, 252, 387~388.
 Harvey, G. R. and W. G. Steinhauer. 1976. Transport pathways of polychlorinated biphenyls in Atlantic water. *J. Mar. Res.*, 34, 561~575.
 Jonas, R. B. and F. K. Pfaender. 1976. Chlorinated hydrocarbon pesticides in western North Atlantic Ocean. *Environ. Sci. Technol.*, 10, 770~773.
 Kannan, K., Tanabe, S., R. J. Williams, and Tatsukawa, R. 1994. Persistent organochlorine residues in foodstuffs from Australia, Papua New Guinea, Solomon Islands : concentration levels and human dietary exposure. *Sci. Total Environ.*, 153, 29~50.
 Lim, D. B. and S. D. Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 4 (2), 71~82.
 Loganathan, B. G. and K. Kannan. 1991. Time perspectives of organochlorine contamination in the global environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 22, 582~584.
 Miyata, H., K. Takayama, J. Ogaki, T. Kashimoto and S. Fukushima. 1987. Monitoring of PCDDs in Osaka bay using blue mussel. *Chemosphere*, 16, 1817~1822.
 Norstrom, R. J. and D. C. G. Muir. 1994. Chlorinated hydrocarbon contaminants in arctic marine mammals. *Sci. Total Environ.*, 154, 107~128.
 Scura, E. D. and V. E. Muclure. 1975. Chlorinated hydrocarbons in sea water: Analytical method and levels in the northeastern Pacific. *Mar. Chem.*, 3, 337~346.
 Simonich, S. L. and R. A. Mites. 1995. Global distribution of persistent organochlorine compounds. *Science*. 269, 1851~1854.
 Takagi, M., Murayama and S. Soma. 1975. PCB contents in several species of Flatfish collected in the Eastern Bering Sea. *Bull. Japanese. Soc. Sci. Fish.*
 Tanabe. S. and R. Tatsukawa. 1980. Chlorinated Hydrocarbons in the North Pacific and Indian Oceans. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 36, 217~226.
 Tanabe. S., R. Tatsukawa, M. Kawano and H. Hidaka. 1982. Global distribution and atmospheric transport of chlorinated hydrocarbons: HCH (BHC) isomers and DDT compounds in the western Pacific, eastern Indian and Antarctic Oceana. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 137~148.
 Tanabe, S. and R. Tatsukawa. 1983a. Chlorinated hydrocarbons in the Southern Ocean. *Mem. Nat. Inst. Polar Res.*, 27, 64~76.
 Tanabe, S. and R. Tatsukawa. 1983b. Vertical transport and residence time of chlorinated hydrocarbons in the open ocean water column. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 39, 53~62.
 Tanabe. S. 1985. Distribution, Behavior and fate of PCBs

- in the Marine Environment. J. Oceanogr. Soc. Japan, 41, 358~370.
- Tanabe, S., Gondaira, F., A. N. Subramanian., A. Ramesh., D. Mohan., P. Kumaran., V. K. Venugopalan and R. Tatsukawa. 1990. Specific pattern of persistent organochlorine residues in human breast milk from South India. J. Agric. Chem, 38, 899~903.
- Tatsukawa, R, S. Tanabe and T. Yoshida. 1979. Man-made organics, In, Kaiyo Kanyo chosaho, ed. by The Oceanogr. Soc. Japan, koseisha Koseikaku, Tokyo 232~269 (in Japanese)
- Ramesh, A., S. Tanabe., K. Kannan., A. N. Subramanian., P. L. Kumaran and R. Tatsukawa. 1992. Characteristic trend of persistent organochlorine contamination in wildlife from a tropical agricultural watershed, South India. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 23, 26~36.
- Yang, H. S, S. S. Kim., C. G. Kang and K. D. Cho. 1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula. III. Chemical characteristics of water masses in the polar front area of the Central Korea East Sea. Bull. Korean Fish. Soc. 24 (3), 185~192 (in Korean).
- 竹下降三 · 武田明治 · 土屋 輝. 1973. 環境汚染分析-PCB, 大日本圖書, 30~67.

1997년 6월 2일 접수

1997년 7월 7일 수리