

아산만과 경기만의 유기인계 잔류농약 분포

유준⁽¹⁾, 양동범⁽¹⁾, 김경태⁽¹⁾, 이광우⁽²⁾

Distribution of organophosphorus pesticides in Asan and Kyeonggi Bay, Korea

by

Jun Yu⁽¹⁾, Dong Beom Yang⁽¹⁾, Kyung Tae Kim⁽¹⁾ and Kwang Woo Lee⁽²⁾

요 약

1999년 하계에 아산만과 경기만 해역의 유기인계 잔류농약 분포를 조사하였다. 표층해수 중 IBP는 모든 해역에서 광범위하게 분포하였다. 아산만의 표층해수 중 IBP 농도 범위는 7월과 9월에 각각 10.3-1030.1(m=339.1), ND-319.1(m=74.8)ng/L였고 경기만 표층해수 중 IBP 농도는 7월과 9월에 각각 ND-76.2(m=29.1), ND-270.3(m=46.6)ng/L였다. Diazinon, DDVP, Ethoprophos와 Chlorpyrifos는 다소 낮은 농도를 보였지만 모든 해역에서 검출되었다. 다른 유기인계 농약(Disulfoton, Parathion Methyl, Fenchlorfos, Prothiofos, EDDP)은 일반적으로 검출한계 미만이었다. 퇴적물 중에서는 Chlorpyrifos가 다른 유기인계 농약보다 널리 분포하였다. 유기인계 농약의 시공간적 분포는 각 지역에 사용되어지는 농약의 사용량과 종류에 따라 달라진다고 보여진다.

Abstract

To study the distribution of organophosphorus pesticides which are extensively used for agriculture in Korea. Surface sea water samples were taken from 2 coastal areas during July and September of 1999 and sediment samples were collected from Kyeonggi bay in July of 1999. These samples were analyzed using a Gas Chromatography/Nitrogen Phosphorus Detector(GC/NPD). In coastal waters of the study areas IBP was commonly found the most compound. Traces of Diazinon, DDVP, Ethoprophos and Chlorpyrifos were also encountered. Concentration of the other major organophosphorus pesticides(Disulfoton, Parathion Methyl, Fenchlorfos, Prothiofos, EDDP) were generally be below the detection limit of the employed analytical method. In sediment of the study areas Chlorpyrifos was found the most compound. Temporal and geographical distribution of individual organophosphorus pesticides is likely to be affected by types of agricultural practices in the watershed.

Keywords: Organophosphorus pesticides, Asan Bay, Kyeonggi Bay

(1) 한국해양연구원

(2) 한양대학교

1. 서 론

농약은 농작물, 산림 등을 해충, 미생물로부터 보호하기 위해 사용되거나, 수중 미생물을 억제하기 위해 직접 살포되기도 한다(Ferrando *et al.*, [1992]). 사용된 농약의 일부는 바람과 강물에 의해 저수지, 강, 호수, 바다로 유출되어진다. 유기염소계 농약은 환경내 긴 잔류시간과 생체내 높은 축적률 때문에 대부분의 국가에서 사용을 제한하고 있다. 오늘날에는 유기인계 농약과 카바메이트계 농약이 많이 사용된다. 일반적으로 유기인계 농약과 카바메이트계 농약은 지속성이 적은 것으로 알려졌으며 Chlorpyrifos 등 일부 유기인계 농약만이 약간의 지속성을 가지는 것으로

보고되었다(Harris and Miles[1975]). 해양환경에서 유기인계 농약은 자연적인 분해 정도와 입자성 물질에 대한 흡착 정도에 따라 지리적인 분포 변화를 보인다(Stoker and Seager[1976]). 해수중 부유물질의 농도, 미생물의 영향, pH, 온도 등도 분포에 영향을 미치는 중요한 요인이라 할 수 있다(Paris *et al.*,[1975]). 많은 유기인계 농약들은 수중 생물체에 독성을 가지고 있다. 해양 생물체에 대한 유기인계 농약의 축적과 독성은 많은 연구자들(Goodman *et al.*,[1979]; Hale[1989]; Labare and Weiner[1990]; De Bruijn and Hermens[1993])에 의해 조사 되어왔다. 우리나라의 경우 Jeon and Yang[1990]이 순천만에서, 박[1995]이 광양만에서 유기인계 잔류 농약성분

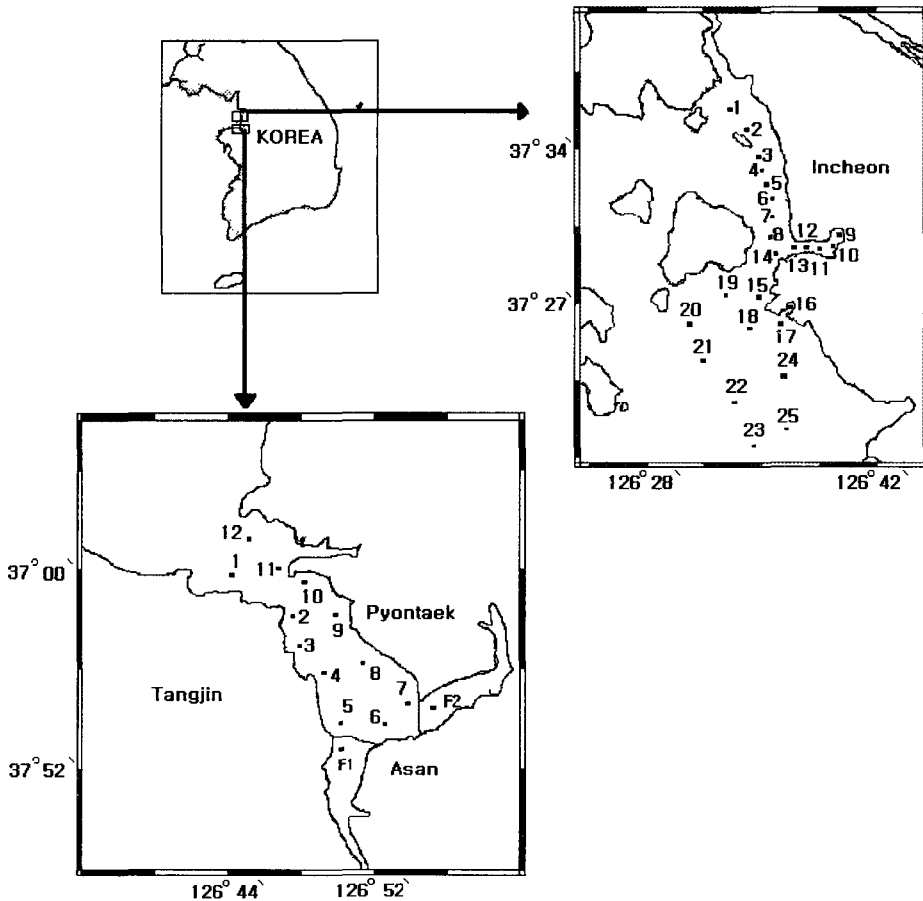


Fig. 1 Sampling stations in Kyeonggi and Asan Bay, Korea

의 분포에 관하여 보고한 바 있다. 그러나 우리나라 서해안에서는 잔류 농약성분의 분포가 조사되지 않았다. 본 연구에서는 10종의 유기인계 농약을 대상으로 아산만과 경기만의 표층수와 퇴적물에서 시공간적인 분포 양상을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지역 및 시기

아산만 해역은 1999년 7월 30일과 9월 14일에 조사되었으며, 경기만 해역은 1999년 7월 14~15일과 9월 17~18일에 조사가 수행되어졌다. 시료채취 정점은 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 아산만은 화성, 용진, 아산, 당진과 평택군에 인접한 해역으로 삼교호 및 아산호에서 유입되는 담수가 조석에 의해 혼합되는 복잡한 수괴 특성을 갖는다

고 한다(명 등[1994]). 아산만 연안지역은 대규모 방조제에 의해 담수를 농업용수로 공급하며 농약 사용이 많은 지역이다. 경기만은 대조차 환경으로서 조식뿐만 아니라 한강으로부터 유입되는 담수와 육상기원의 오염물질의 영향을 많이 받는 해역이라 볼 수 있다(Choi and Shim[1988]; 인하대해양과학기술연구소[1993]). 경기만의 조사 정점 1은 한강으로부터의 담수 유입 영향이 가장 큰 곳이며 정점 9~13은 인천 북항내에 위치하고 있다. 정점 21~23은 경기만 외해수의 성격을 가장 잘 나타내는 곳이며 담수의 영향이 가장 적은 곳으로서 하천수 유입과 해수의 혼합 정도를 비교할 때 최종 해수 비교점으로 볼 수 있다.

2.2 표층해수 중의 유기인계 농약 분석

시료는 해수표면의 오염에 따른 오차요인을 제거

Table 1 List of organophosphorus pesticides measured in this study

Pesticides ^a	IUPAC	Uses ^b	Application range ^c
DDVP (dichlorvos)	2,2-dichlorovinyl-dimethyl-phosphate	insecticide	most crop
Ethoprophos	O-ethyl-S,S-dipropyl-phosphorodithioate	insecticide	most crop
Disulfoton	O,O-diethyl-S-ethylthioethyl-phosphorodithioate	insecticide	most crop
Diazinon	O,O-diethyl-O-2-isopropyl-6-methylpyrimidin-4-yl-phosphorothioate	insecticide	rice, fruit tree, corn,
IBP	S-benzyl-O,O-di-isopropyl-phosphorothioate	fungicide	rice
Parathion methyl	O,O-dimethyl-O-4-nitrophenyl-phosphorothioate	insecticide	most crop
Fenchlorfos	O,O-dimethyl-O-2,4,5-trichlorophenyl-phosphorothioate	insecticide	cattle, sheep, pig
Chlorpyrifos	O,O-diethyl-O-(3,5,6trichloro-2-pyridyl)phosphorothioate	insecticide	foliar crop, cattle, sheep
Prothiofos	O-(2,4-dichloropheyl)O-ethyl-S-propyl-phosphorodithioate	insecticide	vegetable
EDDP(Edifenphos)	O-ethyl-S,S-diphenyl-phosphorodithioate	fungicide	rice

^a common name

^{b,c} refer to Worthing(1979)

하기 위하여 수심 0.5m의 표층수를 1L의 PC 병에 채수하였다. 시료는 채취 후 바로 dry ice로 냉동 보관하여 실험실로 운반하였고 분석이 이루어지기까지 냉동실에 보관하였다. 저장된 시료는 모두 일주일 이내에 분석되었다. 본 연구에서 분석된 유기인계 잔류 농약성분은 DDVP, Ethoprophos, Disulfoton, Diazinon, IBP, Parathion methyl, Fenclorophos, Chlorpyrifos, Prothiofos, EDDP이었다. 이들 농약의 성분과 용도는 Table 1에 나타내었다. 해수 중 유기인계 농약분석은 Tolosa *et al.*, [1996]의 방법을 약간 변형시켜 사용하였다. 유리섬유 필터로 여과된 해수시료 1L와 60mL의 dichloromethane(CH₂Cl₂)을 분액팔찌기에 담은 후 추출하였으며, 유기층(organic phase)만 무수 sodium sulfate(Na₂SO₄)가 1~2cm로 채워진 칼럼(20 cm × 1cm i.d.)에 통과시켜 250mL 둥근 플라스크에 모으고 남아 있는 해수는 다시 dichloromethane과 혼합하여 같은 방법으로 두 번 더 추출하였다. 추출액은 회전식 증발기(rotary evaporator)를 이용하여 3~5mL 까지 농축하였고 내부표준물질 chlorthion을 적당량 첨가시킨 후 1mL가 되기까지 질소가스로 농축하였다. 유기인계 잔류농약은 GC/NPD(Gas Chromatography/Nitrogen Phosphorus Detector)를 사용하여 정량하였으며 사용된 분석조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

2.3 퇴적물 중 유기인계 농약 분석

1999년 7월 경기만 조사에서는 표층 퇴적물 중 유기인계 농약성분도 분석하였다. 퇴적물은 Van Veen grab을 이용하여 채취된 퇴적물의 상층 5~10cm를 취하여 미리 세척된 갈색 유리병에 담았다. 시료는 채취 후 실험실로 운반하였고 분석이 이루어지기 전까지 냉동 보관하였다. 그 후 냉동 건조기를 사용하여 시료를 처리하였다. 냉동 건조된 시료 10g을 200mL의 hexane : acetone (1 : 1)을 사용하여 8시간 동안 추출하였다. 추출액을 rotary evaporator로 10mL까지 농축시킨 후 activated copper를 첨가하였으며 하루 정도 방치한 후 1mL까지 농축시켰다. 추출액을 정제하기 위해 5% deactivated Florisil 5g을 채운 유리 column을 사용하여 70mL hexane : acetone (1 : 1)으로 용출 하였으며 최종 부피가 0.5mL가 되도록 하였다. 그 후 과정은 표층해수 처리방법과 동일하다.

2.4 분석방법의 신뢰성

해수 중 유기인계 잔류농약 분석방법의 검출한계는 동일한 7개의 시료에 표준용액을 첨가하여 분석한 농도에 대한 표준편차와 자유도(n=6) 및 99% 신뢰수준의 계수 t값(3.14)을 곱하여 구하였다. 검출한계를 측정된 결과 DDVP는 0.58ng/L,

Table 2 GC/NPD conditions for analysis of organophosphorous pesticide residues

Gas Chromatograph : Hewlet-Packard HP 5890 Series II Plus with nitrogen phosphorus detector (NPD)	
Instrument setting	Temperature Program
Injection volume: 2 μ l	Initial temp. : 3 min. at 70 $^{\circ}$ C
Detector temp. : 300 $^{\circ}$ C	First ramp rate : 3 $^{\circ}$ C/min. to 150 $^{\circ}$ C
Injection port temp. : 250 $^{\circ}$ C	Isothermal pause : 3 min
Carrier gas : He	Second ramp rate : 2 $^{\circ}$ C/min to 180 $^{\circ}$ C
Flow rate of carrier gas : 1.5 ml/min	Isothermal pause : 0 min
Split mode : split/splitless mode	Third ramp rate : 5 $^{\circ}$ C/min to 280 $^{\circ}$ C
	Isothermal pause : 2 min
Column: HP-5 (30m×0.32 mm I.d., 0.25 μ m)	

Ethoprophos는 0.46ng/L, Disulfoton은 0.97ng/L, Diazinon은 0.81ng/L, IBP는 1.80ng/L, Parathion methyl는 0.43ng/L, Fenclorphos는 0.71ng/L, Chlorpyrifos는 0.91ng/L, Prothiofos는 0.80ng/L, 그리고 EDDP는 5.18ng/L로 나타났다. 표층 해수 중 유기인계 농약분석의 회수율은 표층해수 1L에 10종의 유기인계 농약 50ng이 혼합된 표준 용액을 첨가하여 구하였다. 평균 회수율은 DDVP : 98%, Ethoprophos는 94%, Disulfoton는 92%, Diazinon는 91%, IBP는 99%, Parathion methyl는 95%, Fenclorphos는 91%, Chlorpyrifos는 88%, Prothiofos는 80%, 그리고 EDDP는 89% 였다.

표층 퇴적물 중 유기인계 잔류농약 분석방법의 검출한계는 다음과 같다. DDVP는 0.11ng/g, Ethoprophos는 0.12ng/g, Disulfoton은 0.08ng/g, Diazinon은 0.06ng/g, IBP는 0.06ng/g, Parathion methyl은 0.05ng/g, Fenclorphos는 0.06ng/g, Chlorpyrifos는 0.06ng/g, Prothiofos는 0.11ng/g, 그리고 EDDP는 0.18ng/g 였다. 표층 퇴적물 중 유기인계 농약분석의 회수율을 구하기 위해 퇴적물 10g에 10종의 유기인계 농약 5ng이 혼합된 표준용액을 첨가하여 분석하였다. 본 분석방법을 이용한 평균 회수율은 DDVP는 88%, Ethoprophos는 87%, Disulfoton은 88%, Diazinon은 91%, IBP는 92%, Parathion methyl은 98%, Fenclorphos는 92%, Chlorpyrifos는 85%, Prothiofos는 74%, 그리고 EDDP는 89%로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해수 중 유기인계 잔류 농약 분포

1999년 7월과 9월중 조사 해역에서 검출되어진 유기인계 농약은 DDVP, Ethoprophos, Diazinon, IBP, Chlorpyrifos이었다(Table 3과 Table 4).

아산만

IBP는 조사 해역 대부분의 정점에서 폭 넓게 분포하였다. 아산만 지역에는 아산호와 삼교호, 남양호등 세 개의 대규모 방조제에 의해 담수를 농업용수로 공급하며 농약 사용이 많은 곳이다. 1999년 7월 아산만 표층수중 IBP 평균 농도는

339.1ng/L 이었으며 담수 지역인 삼교호내 정점 F1(1030.1ng/L)과 아산호내 정점 F2(1379.8ng/L)에서 높게 분포하였다(Fig. 2). 또한 아산방조제에 인접한 정점 7(726.7ng/L)에서도 담수 유입의 영향으로 높은 IBP 농도를 나타내었으며, 가장 바깥쪽인 1번 정점에서는 최소값(10.3ng/L)을 보였다. 이러한 지리적 농도분포 양상은 삼교호와 아산호내 담수 유입에 의한 결과로 보여진다. 7월중 아산만에서의 IBP농도와 염분은 음의 상관관계를 보여 육상으로부터 유입된 IBP가 연안해역에서 점차 희석되어 가는 과정을 보여주었다(Fig. 3). 1999년 9월 아산만 표층수중 IBP의 지리적 분포는 7월과 비슷한 양상을 보였으나 평균 농도에서는 4.5배정도 낮은 농도(74.8ng/L)를 보였다. 이러한 IBP의 계절적인 농도 차이는 IBP의 사용시기가 주로 7월과 8월 사이로 벼의 도열병 방제를 위해 다량으로 사용되기 때문인 것으로 여겨진다. 잉어에 대한 IBP의 LC₅₀은 5.1 mg/l로 알려져 있다(Worthing[1979]). IBP는 생물체에 대한 독성이 높지 않기 때문에 본 조사에서 측정된 농도는 해양환경에 우려될 수치는 아닌 것으로 여겨진다. Jeon and Yang[1990]은 기수, 담수, 해수역을 포함하는 순천만 지역에서 IBP의 농도는 검출한계 이하의 농도에서 최고 2.2mg/L의 농도 범위를 가지는 것으로 보고하였다. 박[1995]의 광양만 연구지역에서의 25psu 이하의 기수역에서 검출된 농도는 24.0~46.2ng/L의 범위로 나타났다. Jeon and Yang[1990]의 IBP 농도값은 IBP의 사용량이 많았던 해였고, 또한 집중적인 강우 직후 검출된 농도이므로 본 연구자료와의 직접적인 비교는 불가능한 것으로 여겨진다. 박[1995]의 IBP 농도값은 아산만 지역보다 낮은 수치를 보였으며 경기만 해역의 7월중 IBP 평균농도인 29.1ng/L와 비슷한 농도를 보였다.

7월중 표층해수의 Diazinon 평균 농도는 39.6ng/L 였으며 아산방조제 안쪽의 정점 F2에서 최대 농도인 118.0ng/L가 검출되었다. 방조제 바로 바깥쪽인 정점7에서는 담수유입의 영향으로 91.1ng/L의 농도를 나타내었다. 정점 7과 인접한 정점 6, 8에서도 Diazinon 농도가 각각 52.6, 35.7ng/L로 다른 정점 보다 높게 나타났으며 외해역인 정점 9에서는 7.0ng/L로 비교적 낮게 나타났다. 9월중 표층해수의 Diazinon은 모든 정점에서 검출되었으며 7월과 비슷한 지리적 분포 양상을 보였다. 정점 F2에서는 Diazinon 농도가 최

고값인 47.1ng/L를 기록하였으며 삼교방조제 근처의 정점 4, 5에서는 각각 16.0, 14.4ng/L를 나타냈고 외해역 정점11에서 최소값인 2.4ng/L를 보였다. 아산만에서 7월중 Diazinon의 평균농도는 9월보다 3배 이상 높은 것으로 나타났다. Diazinon은 주로 토양 살충제로써 광범위하게 사용되어지며 미국 Mississippi강의 하류지역과 Illinois 강의 강물시료에서 각각 4~10ng/L, 20ng/L로 검출된 사례가 있다(Pereira and Hostettler[1993]). Ferrando *et al.*,[1992]은 담수에서 Diazinon의 반감기가 70.54 시간이라고 보고한 바 있다. 무지개송어에 대한 Diazinon의 LC₅₀값은 3.2mg/L로 알려져 있다(EXTOXNET[1996]).

DDVP는 1999년 7월 아산만 해역의 표층수에서 정점 10을 제외한 모든 정점에서 검출되었는데 담수 지역인 삼교호내 정점 F1(11.0ng/L)과

아산호내 정점 F2(14.2ng/L)에서는 비교적 높게 나타났다. 또한 아산방조제에 인접한 정점7(17.9ng/L)에서도 담수 유입의 영향으로 비교적 높은 DDVP 농도를 나타내었으며, 가장바깥쪽인 12번 정점에서는 최소값(2.7ng/L)을 보여주었다(Table 3). 아산만 표층수에서의 평균 DDVP 농도는 7월, 9월에 각각 8.3, 4.4ng/L로 7월에 2배정도 높게 검출되었다. DDVP의 반감기는 4일이며(EXTOXNET[1996]) blood clam(*Anadara granosa*)에 대한 DDVP의 96시간 LC₅₀값은 1.79mg/L로 알려져 있다(Bharathi[1994]).

Chlorpyrifos는 아산만 해역에서 7월에는 검출되지 않았고 9월에 방조제내 정점인 F1과 F2에서만 각각 3.9, 3.6ng/L로 검출되었다. Chlorpyrifos는 주로 잎작물에 기생하는 곤충과 토양을 조절하기 위해 사용되어지며, 벼농사의

Table 3 Concentrations(ng/L) of organophosphorus pesticide residues from surface seawaters in Asan Bay (July and September, 1999).

Station	DDVP		Ethoprophos		Diazinon		IBP		Chlorpyrifos	
	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.
F1	11.0	5.4	12.3	13.5	89.2	30.5	1030.1	319.1	-*	3.9
F2	14.2	5.0	7.4	4.9	118.0	47.1	1379.8	291.0	-	3.6
1	5.4	1.8	-	0.5	13.9	6.3	10.3	30.8	-	-
2	4.4	2.9	0.8	0.7	17.5	6.8	119.1	42.5	-	-
3	13.5	3.6	-	2.2	27.5	12.1	81.1	24.7	-	-
4	4.6	7.5	1.7	2.5	29.0	16.0	151.4	36.5	-	-
5	3.3	4.7	1.5	-	20.4	14.4	225.2	33.6	-	-
6	8.7	18.3	0.1	1.4	52.6	4.2	468.1	-	-	-
7	17.9	6.1	4.7	0.5	91.1	9.4	726.7	58.1	-	-
8	21.3	1.74	2.4	0.7	35.7	7.0	240.8	54.5	-	-
9	5.0	1.36	0.7	1.3	21.0	3.6	68.8	53.5	-	-
10	-	3.6	-	-	7.0	7.5	22.3	30.6	-	-
11	3.8	-	1.4	-	21.6	2.4	117.0	35.8	-	-
12	2.7	-	-	-	9.9	2.7	107.1	36.2	-	-
Mean	8.3	4.4	2.3	2.2	39.6	12.1	339.1	74.8	-	0.5

* - : not detected

Other organophosphorus pesticides(Parathion methyl, Fenclorfos, Disulfoton, Prothiofos, EDDP) were below the detection limit at all stations.

Table 4 Concentrations(ng/L) of organophosphorus pesticide residues from surface seawaters in Kyeonggi Bay (July and September, 1999)

Station	DDVP		Ethoprophos		Diazinon		IBP		Chlorpyrifos	
	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.
1	-*	-	-	7.1	28.0	28.6	76.2	26.9	-	-
2	5.6	-	4.1	-	27.8	14.6	74.3	23.5	7.6	-
3	-	-	5.0	-	26.0	1.1	73.9	53.1	9.6	-
4	-	-	5.3	2.5	23.2	10.0	63.1	29.4	7.0	-
5	-	-	3.8	4.5	26.9	6.6	71.3	24.9	8.4	-
6	-	-	4.9	-	26.3	1.1	61.9	28.9	-	-
7	7.7	-	5.1	4.6	23.3	11.5	36.8	37.7	9.7	-
8	-	-	-	6.5	20.1	9.3	32.7	23.4	-	-
9	-	-	-	59.6	21.8	-	29.8	67.9	8.2	-
10	-	-	4.8	29.7	28.5	-	41.3	53.4	9.0	-
11	-	19.3	-	91.3	18.1	-	30.2	270.3	5.7	-
12	-	11.0	-	53.8	21.4	4.0	45.6	114.5	7.6	-
13	-	-	-	1.1	23.4	0.2	51.9	36.7	-	-
14	-	-	5.3	-	-	20.9	-	16.1	-	-
15	-	-	5.0	11.7	15.7	-	-	36.5	8.8	-
16	-	-	-	-	-	13.2	-	36.0	-	-
17	-	-	-	2.2	17.2	-	38.7	47.4	-	-
18	-	-	6.1	-	-	-	-	18.8	7.7	-
19	-	-	-	-	-	-	-	36.5	-	-
20	-	-	-	-	-	6.5	-	32.5	6.9	-
21	2.0	-	-	1.7	-	-	-	71.4	-	-
22	9.4	-	-	-	-	-	-	23.0	9.2	-
23	-	-	4.9	2.3	-	-	-	26.3	-	-
24	-	-	5.5	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	5.7	-	-	10.8	-	29.9	-	-
Mean	1.0	1.2	2.6	11.1	13.9	5.5	29.1	46.6	4.2	-

* - : not detected

Other organophosphorus pesticides(Parathion methyl, Fenchlorfos, Disulfoton, Prothiofos, EDDP) were below the detection limit at all stations.

아산만과 경기만의 유기인계 잔류농약 분포

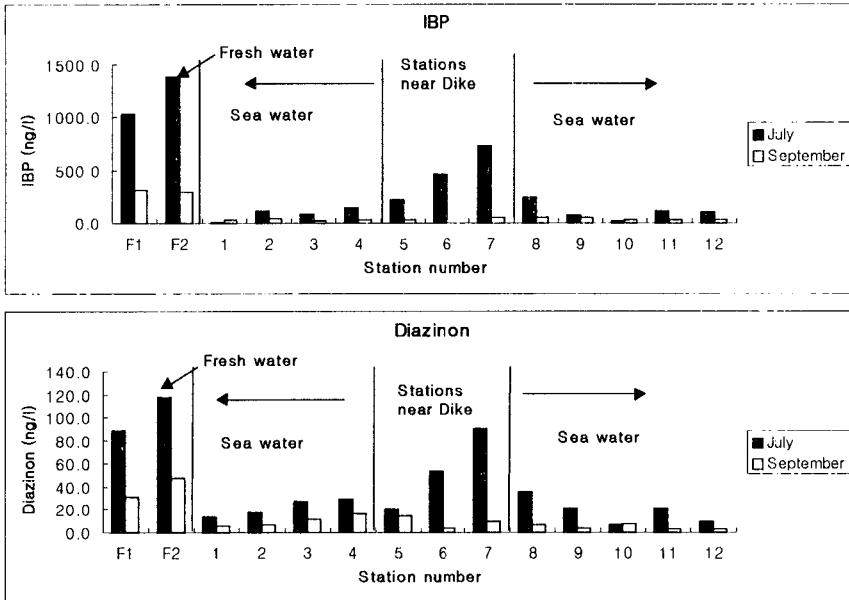


Fig. 2 Concentrations of organophosphorus pesticides in Asan Bay(July and September, 1999).

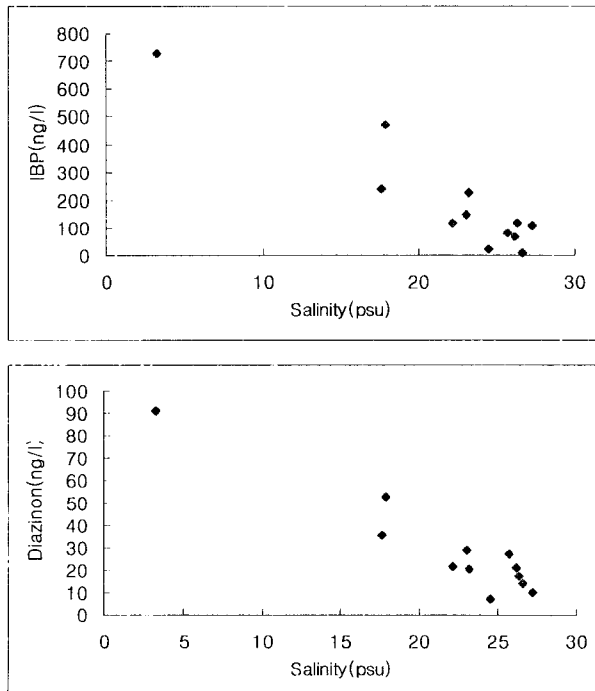


Fig. 3 Relationships between salinity and organophosphorus pesticides in Asan Bay(July, 1999).

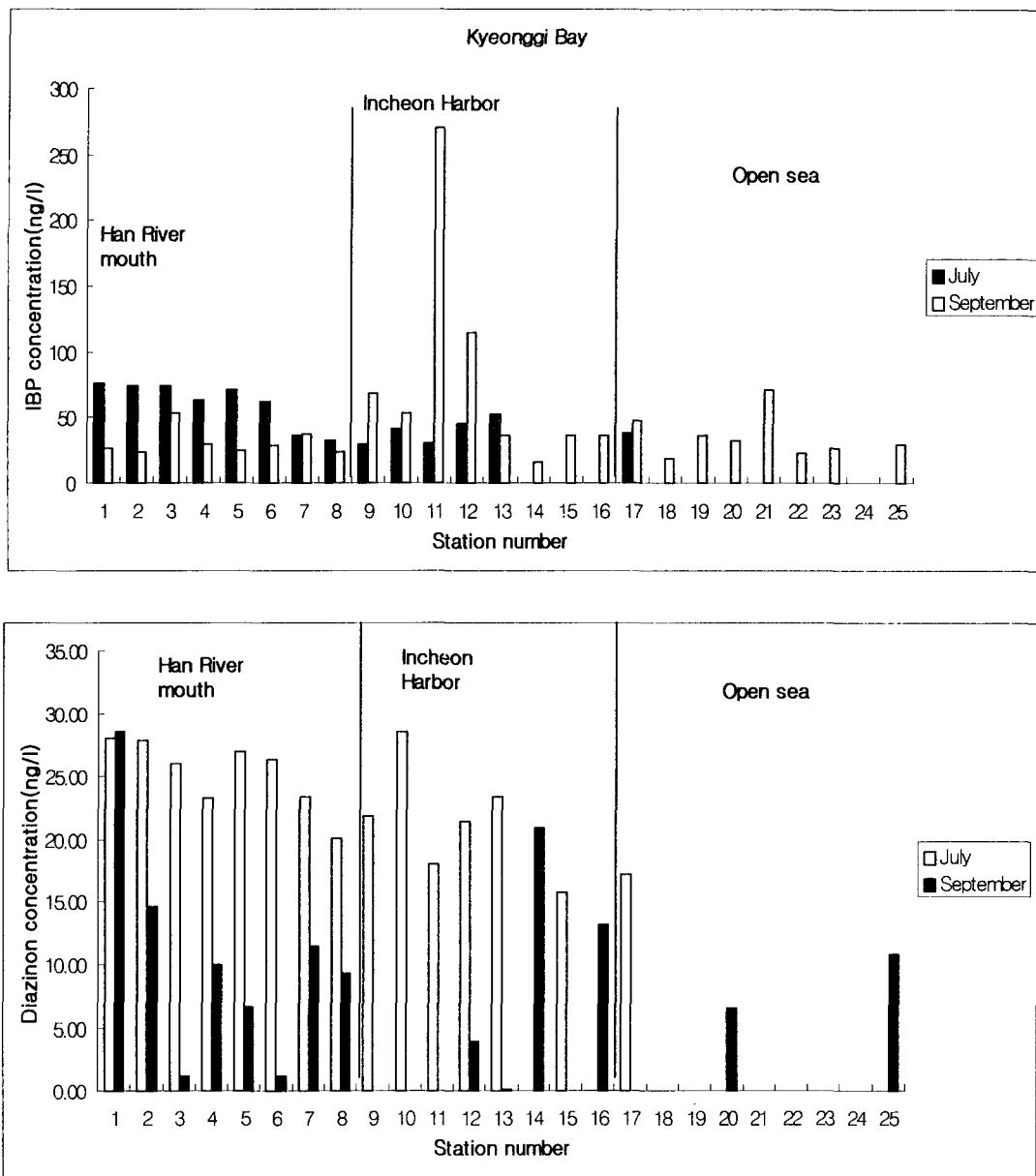


Fig. 4 Concentrations of organophosphorus pesticides in Kyeonggi Bay(July and September, 1999).

도열병 방제에도 쓰여진다고 한다. Chlorpyrifos의 물리 화학적 성질은 대부분의 다른 유기인계 농약들과 차이가 있어 수중에 덜 용해되며 대부분의 다른 유기인계 화합물에 비해 지속성이 길

다고 한다(Readman *et al.*, [1992]). 곤쟁이 (*Mysidopsis bahia*)에 대한 Chlorpyrifos의 LC₅₀ 값은 0.035 μ g/l로 알려져 있다(Schimmel *et al.*, [1983]).

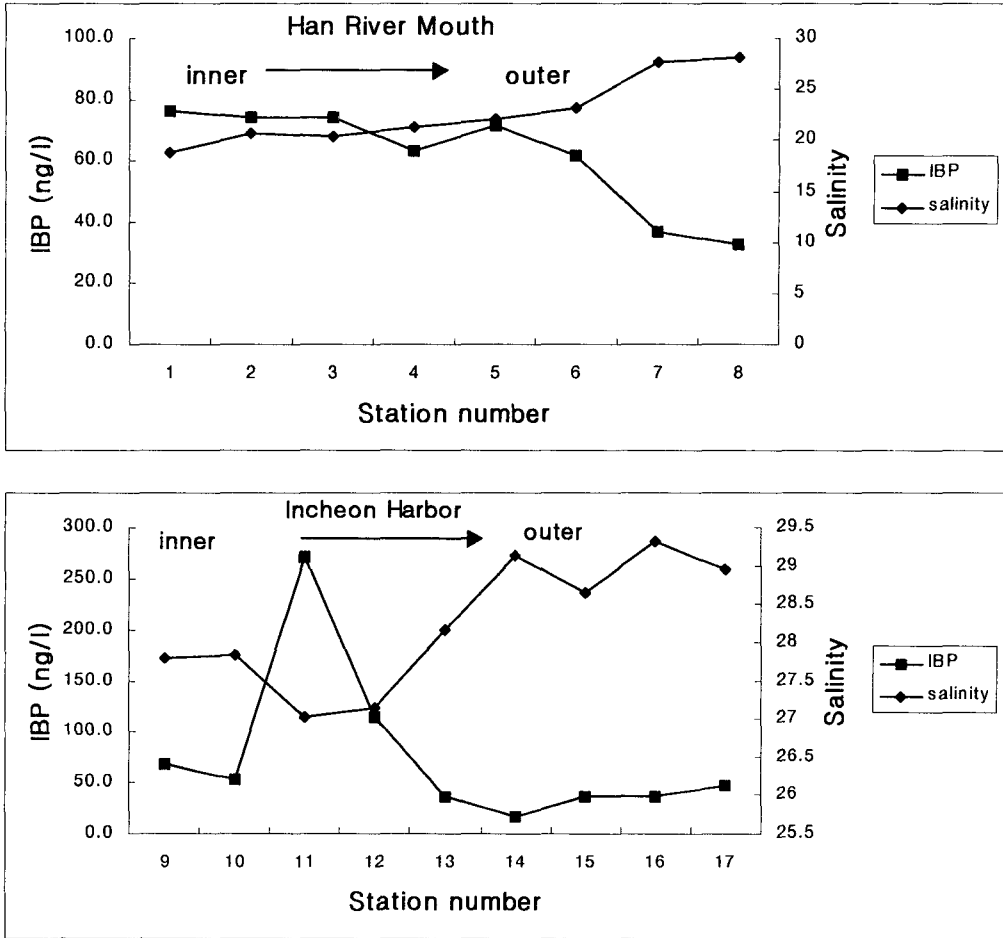


Fig. 5 Relationship between salinity and IBP in Kyeonggi Bay.

경기만

1999년 7월 표층해수 중 IBP 평균농도는 29.1ng/L이었으며 한강 담수의 영향을 많이 받는 강화수로 안쪽에 위치한 정점 1(76.2ng/L)에서 가장 높았고, 수로를 따라 정점 8(32.7ng/L)에 이르기까지 점차적으로 감소하는 추세를 나타내었다(Fig. 4). 인천 북항 내의 정점 9(29.8ng/L) ~ 정점 13(51.9ng/L)에서도 높은 IBP 농도를 나타내었는데 이는 가좌천등 하천유입과 기타 비점오염된 유입에 의한 영향으로 생각된다. 표층해수 중 IBP는 북항 안쪽에서 바깥쪽으로 갈수록 낮아지는 추세를 보였고 외해역인 정점 18~25에서는 검출한계미만으로 나타났다. 9월에는 표층해수중

IBP농도가 인천 북항내의 정점 11(270.3ng/L)에서 최고치를 보였으며 7월보다 높은 평균값을 나타내었다(Table 4). 경기만 표층해수 중 IBP의 농도는 7월에는 강화수로에서 높은 값을 보인 반면 9월에는 강화수로보다 인천 북항내에서 높은 값을 보였다. 따라서 7월에는 한강 담수의 영향이 우세한 반면 9월에는 가좌천이나 다른 비점오염원이 우세하게 작용하는 듯 하다. 7월과 9월중 경기만에서의 표층해수 중 IBP농도와 염분은 음의 상관관계를 보여 육상으로부터 유입된 IBP가 연안해역에서 점차 희석되어 가는 과정을 보여주었다(Fig. 5).

경기만 표층수에서의 7월중 Diazinon 농도는

Table 5 Concentrations(ng/g dry wt.) of organophosphorus pesticide residues from surface sediments in Kyeonggi Bay (July, 1999)

Station	DDVP	Ethoprophos	Diazinon	IBP	Chlorpyrifos
1	-*	-	-	1.8	5.0
2	0.6	-	-	1.7	0.2
3	-	-	-	-	-
5	-	-	0.2	0.9	0.1
8	0.3	0.1	0.2	1.4	0.2
9	1.1	0.3	-	-	-
11	-	-	-	-	0.5
13	-	-	0.5	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	0.7
21	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
Range	ND**-1.1	ND-0.3	ND-0.5	ND-1.8	ND-5.0

* - : not detected

** ND : not detected

Other organophosphorus pesticides(Parathion methyl, Fenchlorfos, Disulfoton, Prothiofos, EDDP) were below the detection limit at all stations.

전반적으로 한강 담수 영향권과 가좌천 유입 영향권에서 높은 값을 보였으며 외해에서는 분포하지 않았다. 계절별 농도 비교시, 7월중 농도가 9월중 농도보다 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 조사해역 표층수 중의 Diazinon 농도분포는 IBP와 유사한 경향을 보였는데 이는 Diazinon이 벼농사에도 사용되는 살충제로 IBP처럼 널리 사용되기 때문이라 여겨진다.

3.2 퇴적물 중 유기인계 잔류농약의 분포

경기만 표층 퇴적물에서의 7월중 유기인계 잔류농약의 분포는 Table 5에 나타내었다. 검출된 유기인계 농약은 DDVP, Ethoprophos, Diazinon, IBP, Chlorpyrifos 였다. Chlorpyrifos는 다른 유기인계 농약보다 높은 농도로 분포하였다

(ND-5.0ng/g dry wt.). 정점 1은 한강으로부터의 담수 유입 영향이 큰 지역으로 퇴적물중 Chlorpyrifos 농도가 최고 5.0ng/g을 나타내었으며 학익천이 유입되는 정점 17에서는 0.7ng/g를 보였다. 정점 21과 23은 경기만 외해수의 성격을 가장 잘 나타내는 곳이며 담수의 영향이 가장 적은 곳으로 퇴적물 중 Chlorpyrifos 농도가 검출한계 미만으로 나타났다. Chlorpyrifos는 입자에 잘 흡착하려는 성질과 지속성으로 인해 퇴적물 중 중요한 유기인계 잔류농약으로 여겨진다. Readman *et al.*,[1992]은 육상에서 사용되는 유기인계 농약중 Chlorpyrifos와 Parathion등 단지 몇종만이 해양 퇴적물에 도달한다고 보고하였다. Schimmel *et al.*,[1983]은 Chlorpyrifos가 다른 농약들보다 입자성 물질에 잘 흡착되어진다고 보고하였으며 Readman *et al.*,[1992]은 열대해양환경

인 Costa Rica의 Rio Parismina 퇴적물에서 최고 34ng/g dry wt.의 Chlorpyrifos 농도를 보고한 바 있다.

4. 결 론

아산만, 경기만 표층수와 퇴적물의 유기인계 분포 특성에 대한 본 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 표층수중 IBP는 모든 해역에서 광범위하게 분포하였으며 담수유입 영향을 받는 곳에서 비교적 높았고 외해역으로 가며 점차 감소하는 경향을 보였다. IBP의 생태계내 독성은 다른 유기인계 농약에 비해 상대적으로 낮아 아산만, 경기만에서의 농도가 환경에 우려될 정도는 아니라고 본다.
- 2) 표층수에서 Diazinon, DDVP, Ethoprophos, Chlorpyrifos는 IBP 농도와 비교시 상대적으로 낮은 농도로 검출되었다.
- 3) 퇴적물 중 Chlorpyrifos는 높은 지속성과 입자에 흡착하려는 성질 때문에 검출된 다른 유기인계 농약(Diazinon, DDVP, Ethoprophos, IBP)에 비해 광범위한 농도 분포를 나타내었다.

표층 해수와 퇴적물 중 유기인계 농약의 분포는 농경지에서 유입되는 담수의 영향과 농약의 사용량 그리고 여러 가지 환경요인에 의해 좌우되어진다고 볼 수 있다. 따라서 유기인계 잔류농약의 지구화학적 순환을 이해하기 위해서는 해양환경내의 정기적인 측정에 의한 자료 축적이 선행되어야 한다고 본다.

후 기

이 연구는 해양수산부의 해양수산연구개발사업인 “황해 연안오염 저감대책”의 1999년도 연구비 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

[1] 명철수, 유재명, 김용서, 1994, 아산만 해역의 동물플랑크톤 분포, 한국해양학회지, 29, 103~111.
 [2] 박점숙, 1995, 광양만에서의 잔류 유기인 농약

성분. 부산수산대학교 석사학위논문, 1~50.

[3] 인하대해양과학기술연구소, 1993, 연안해역 오염도 조사. 인천지역의 수질보전대책 수립을 위한 실태조사용역보고서, 인천시, pp. 520.

[4] Bharathi, CH., 1994, Toxicity of insecticides and effects on the behavior of the blood clam *Anadara granosa*. Water, Air and Soil Pollution, 75:87~91.

[5] Choi, J. G. and J. H. Shim, 1988, The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. IV. The successional mechanism and the structure of the phytoplankton community. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23:1~12.

[6] De Bruijn, J. and J. Hermens, 1993, Inhibition of acetylcholinesterase and acute toxicity of organophosphorus compounds to fish: A preliminary structure-activity analysis. *Aquat. Toxicol.*, 24:257~274.

[7] Extension Toxicology Network (EXTOXNET), 1993, Cornell University, Ithaca, NY.

[8] Ferrando, M.D., V.Aiarcon, A. Fernandez-Casalderrey, M. Gamon, and E. Andreu-Moliner, 1992, Persistence of some Pesticides in the aquatic environment. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 48:747~755.

[9] Goodman, L.C., D.J. Hansen, D.L. Coppage, J.C. Moore, and E. Matthews. 1979, Diazinon:chronic toxicity to and brain Acetylcholinesterase inhibition in the sheepsheadminnow, *Cyprinodon variegatus*. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 108:479~488.

[10] Hale, R.C. 1989, Accumulation and biotransformation of an organophosphorus pesticides in fish and bivalves. *Mar. Environ. Res.*, 28:67~71.

[11] Harris, C.R. and J.R.W. Miles, 1975, Pesticide residues in the Great Laked Region of Canada. *Residue Review*, 57:27~79.

[12] Jeon, D.S. and J.S. Yang, 1990, Determination of organophosphorus pesticides in Suncheon Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25:21~25.

[13] Labare, M.P. and R.M. Weiner, 1990,

Interactions between *shewanella colwellina*, *Oyster larvae* and hydrophobic organophosphate pesticides. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56:3817~3821.

[14] Paris, D.F.D.L. Lewis and N.L. Wolfe, 1975, Rates of degradation of malathion by bacteria isolated from aquatic system. *Environ. Sci. Technol.*, 9:135~138.

[15] Pereira, W.E. and F.D. Hostettler, 1993, Nonpoint source contamination of the Mississippi River and its tributaries by herbicides. *Environ. Sci. Technol.*, 27:1542~1552.

[16] Readman, J.W., L.L. Weekwong, L.D. Mee, J. Bartocci, G. Nilve, J. A. Rodriguez-Solano, and F. Gonzalez-Farias, 1992, Persistent organophosphorus pesticides in Tropical marine environments. *Marine Pollution Bulletin*, 24:398~402.

[17] Schimmel, S. C., R. L. Garas, J. M. Patrick, Jr., and J. C. Moore. 1983, Acute toxicity, bioconcentration, and persistence of AC 222, 705, benthocarb, chlorpyrifos, fenvalerate, methyl parathion, and permethrin in the estuarine environment. *J. Agric. Food Chem.*, 31:104~113.

[18] Stoker, H.S. and S.L. Seager, 1976, Environmental chemistry of air and water pollution(2nd edition) Foresman and Company, Dallas, 157~175.

[19] Tolosa, I., J. W. Readman and L.D. Mee. 1996, Comparison of the performance of solid-phase extraction techniques in recovering organophosphorus and organochlorine compounds from water. *Journal of chromatography* 725:93~106.

[20] Worthing, C.R. 1979, the pesticides Manual- A World Compendium, 6th ed. The British Crop Protec.