

Article

새만금 해양환경에서 해수 중 유기인계 농약의 시공간적 분포

이동호^{1,2} · 홍상희¹ · 심원준^{1*} · 박준건³ · 김은수³¹한국해양연구원 남해연구소

(656-830) 경남 거제시 장목면 장목리 391번지

²연변대학 분석측정센터

(133002) 중국 길림성 연길시 공원로 977번지

³한국해양연구원 해양환경연구본부

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Spatial and Temporal Distribution of Organophosphorus Pesticides in Seawater from Saemangeum Area

Donghao Li^{1,2}, Sang Hee Hong¹, Won Joon Shim^{1*}, Jun Kun Park³, and Eun Soo Kim³¹South Sea Institute, KORDI

Geoje 656-830, Korea

²Analysis and Inspection Center, Yanbian University

Yanji City, Jilin Province, China

³Marine Environment Research Department, KORDI

Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Organophosphorus pesticides (OPs) were analyzed in surface water samples from the Saemangeum environment. IBP was the most abundant among 10 OPs analyzed, and accounted for over 95% of total amount of OPs. Concentrations of IBP measured in Mangyeong River water and surface seawater ranged from 670 to 1100 ng/l and from 45 to 1000 ng/l, respectively. In general, a decreasing trend of OP concentrations towards open sea was observed. The concentrations of IBP and salinity demonstrated a strong correlation ($r^2=0.96$). This indicates that IBP showed conservative behavior in the study area, and seawater dilution is a major factor affecting distribution and variation of OPs in the Saemangeum environment.

Key words : Saemangeum, Mangyeong River, seawater, organophosphorus pesticides, organic pollutant

1. 서 론

유기인계 농약은 유기염소계 농약의 대체용으로 국내에서 대량 생산되고 또한 가장 많이 사용되고 있는 농약 종류이다. 유기인계 농약은 농업에서 주로 살균제 및 살충제로 사용되고 있다(Jamal 1997; Ray 1998). 비록 유기인계 농약이 생물과 인체의 신경계에 치명적인 영향을 미친다

고 알려져 있지만, 유기인계 농약의 뛰어난 살충효과와 빠른 분해속도로 인하여 세계 각국에서는 아직도 유기인계 농약을 매우 널리 사용하고 있는 실정이다(Pehkonen and Zhang 2002; Medina *et al.* 1999). 대부분의 유기인계 농약은 수용액 형태로 사용되며, 일부는 유제로도 사용되기도 한다. 위와 같은 많은 사용량 및 독성으로 인하여 유기인계 농약은 세계 각국 환경전문가들의 주의와 관심을 받고 있다. 지난 십여 년 동안 유기인계 농약에 관한 많은 자료들이 발표되었다. 특히 유기인계 농약에 관한 모니터

*Corresponding author. E-mail : wjshim@kordi.re.kr

링 연구가 하천수(Zhang *et al.* 2002), 해수(Yu *et al.* 2001; Li *et al.* 2005), 퇴적물(Liess *et al.* 1999) 및 생물체(Sapozhnikova *et al.* 2004) 등 각종 매질에서 매우 활발하게 진행되었다.

만경강과 동진강을 포함하고 있는 새만금 해역에는 주변에 군산, 익산, 전주, 부안 및 김제 등의 도시가 위치하고 있다. 새만금은 한국의 최대평야인 김제평야에 둘러싸여 있으며 만경강과 동진강은 이 평야를 가로 질러 새만금 해역으로 유입되고 있다. 새만금 주위에 위치하고 있는 김제평야에서는 벼농사가 많이 이루어지고 있다. 때문에 벼농사에 사용되는 유기인계 농약과 같은 각종 살균제, 살충제 및 제초제 등 유독물질들이 여러 하천 수로를 따라 새만금 해역에 유입 될 가능성이 매우 크다. 따라서 유기인계 농약과 같은 유기독성 물질들이 새만금 수질에 미치는 영향에 대한 연구와 이러한 영향에 대한 과학적인 평가가 필요하다. 이번 연구에서는 유기인계 농약을 농약 추적자로 사용하여 새만금 해역에서의 이들의 분포 및 분포 변화에 대한 연구를 진행하였다. 분석대상은 10종의 유기인계 농약(IBP, diazinon, chlorpyrifos, methyl chlorpyrifos, fention, DDVP, disulfoton, parathion, methyl parathion)으로 하였으나, 10종의 분석대상 유기인계 농약 중 IBP와 DDVP를 제외하고는 미량으로 검출되거나 모두 검출한계 이하의 값을 보여 본 논문에서는 IBP와 DDVP에 대한 결과만을 기술하고 토의하였다.

2. 재료 및 방법

시료채취

시료채취 정점은 Fig. 1(새만금 및 만경강)에 표시하였

다. 새만금에서 2004년 7월 13일(소조기)과 20일(대조기) 두 번에 나누어 13개 정점에서 표층수를 채취하였으며, 만경강에서는 2004년 7월 20일에 염분 변화에 따라 8개 정점(MK)에서 표층수를 채취하였다. 또한 25시간 연속관측을 위하여 정점 A에서 해수시료를 2시간 간격으로 연속 채취하였다. 표층수는 세척하여 450°C에서 태운 1l 갈색병을 이용하여 표층 30 cm 이하에서 채수하였고, GF/F 여과지를 이용하여 해수를 여과한 후 6N HCl을 적당량 첨가하여 pH를 2로 조절한 후 냉장(4°C 이하) 보관하였다. 표층수 시료분석은 3일 이내에 완료되었다.

재료

검량곡선에 사용되는 유기인계 농약 혼합물질 및 1-bromo-2nitrobenzene, tributyl phosphate 및 triphenol phosphate을 포함한 모든 내부표준물질은 일본 Wako (Osaka, Japan)사에서 구입하였다. 또한 이들 표준물질들의 순도는 모두 99% 이상이다. 디클로르메탄 및 기타 유기용매는 Burdick & Jackson(USA)에서 구입하였으며 표층수의 산성 조절에 사용된 염산은 Merck사에서 구입하였다. GF/F 여과지, 무수황산나트륨, 알루미늄, 호일 및 유리피펫 등 초자기구는 450°C에서 태운 후 유기용매로 세척하여 사용하였다.

기기 분석

추출 및 정제된 추출액은 Li 등(2005)이 제시한 분석방법에 근거하여 정량 및 정성분석을 진행하였다. GC/MS의 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 유기인계 농약의 정성 및 정량분석에 사용된 이온과 상응한 내부표준물질은 Table 2에 나타내었다. 검출된 모든 분석대상물질의 농도

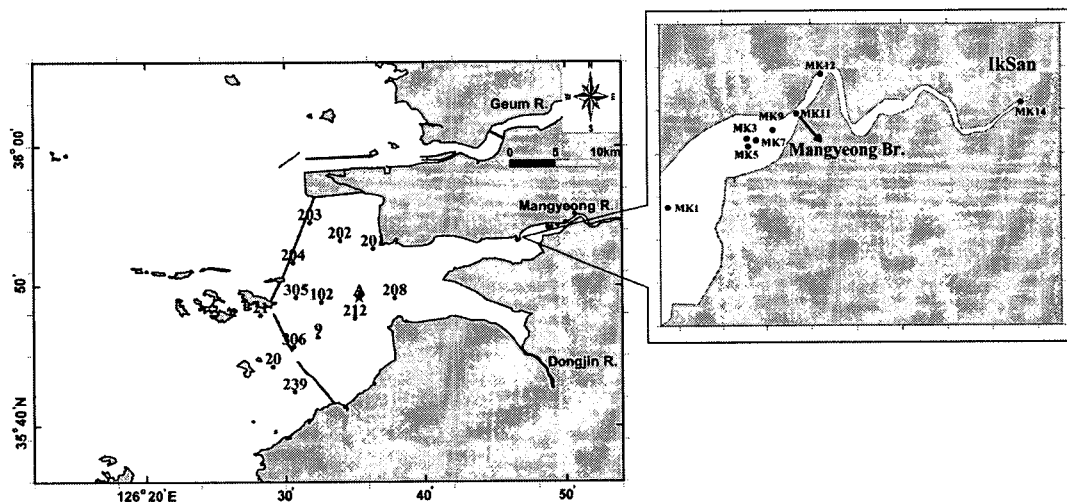


Fig. 1. Location map of surface water sampling stations. MK stations are located in Mangyeong River estuary including from freshwater to saltwater areas, and 'A' station is for 25 h stationary observation.

는 내부표준법을 이용하여 그 값을 구하였다.

추출

여과된 해수 1 l에 일정량의 surrogate 표준물질을 첨가한다. 디클로르메탄 60 ml을 해수에 첨가한 후 액-액 추출법을 이용하여 유기인계 농약을 추출한다. 이 추출과정을 3번 반복한다. 추출액에 함유되어 있는 수분은 삼각 깔때기에 담겨져 있는 무수황산나트륨을 이용하여 제거한 후 250 ml 플라스크에 모은다. 회전식 증발기를 이용하여 추출액을 약 3 ml 정도로 농축한다. 약간의 무수황산나트륨을 첨가하여 추출액에 잔존하는 수분을 제거한 다음 추출액을 8 ml vial에 옮긴다. 고순도(99.999%) 질소가스를 이용하여 추출액을 0.5 ml까지 농축한다. GC 내부표준물질

을 일정량 첨가한 후 GC/MS/SIM 기법을 이용하여 정성 및 정량 분석을 진행한다.

3. 결과 및 고찰

하천수 및 해수에서의 유기인계 농약 분석은 농약 사용량이 가장 많은 7월에 집중적으로 진행하였다. 유기인계 농약 유입원의 농도수준과 유입정도를 알아보기 위하여 만경강을 중심으로 염분의 변화에 따른 유기인계 농약의 농도변화를 조사하였으며, 새만금 해양환경에서의 유기인계 농약의 농도분포 변화는 소조기와 대조기에 각각 조사를 진행하였다. 또한 시간변화에 따른 유기인계 농약의 농도변화를 알아보기 위하여 25시간 연속관측을 새만금 내에서 진행하였다. 또한 이들의 분석결과를 이용하여 유기인계 농약과 염분 함량과의 상관관계를 연구하였다. 10종의 유기인계 농약 중에서 IBP 및 DDVP를 제외한 기타 분석대상물질은 시료 채취 시기와 관계없이 해수시료에서는 검출되지 않았거나 매우 낮은 농도로 검출되었다.

Table 1. Operation conditions of gas chromatography and mass spectrometry.

GC condition
Column : DB-5 (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm Film)
Temperature program :
70°C (1 min) → 150°C (10°C/min, 5 min)
→ 280°C (10°C/min, 10 min)
Carrier gas : He 40 kPa, 50 ml
Injection port temp : 280°C
Injection mode : splitless
Injection volume : 2 μl
MS condition
Interface temp : 280°C
Scanning range : m/z 35-400
Ionization voltage : 70 eV
Monitoring method : selected ion monitoring (SIM)

만경강에서의 유기인계 농약 분포

만경강에서 검출된 유기인계 농약농도를 Table 3에 나타내었다. DDVP와 IBP의 검출농도 범위는 각각 11~23 ng/l 및 670~1140 ng/l이었다. 가장 낮은 농도는 만경강 하구에 위치한 정점 MK1에서 검출되었으며 가장 높은 농도는 정점 MK14(DDVP) 및 MK11(IBP)에서 각각 검출되었다. 만경강 상류 정점에서 검출되는 유기인계 농약의 농도는 하류 정점에서 검출되는 유기인계 농약의 농도보다 약 2배 높게 검출되었다. 만경강에서 검출된 유기인계 농약 DDVP와 IBP의 농도변화의 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 비록 유기인계 농약(DDVP 및 IBP)의 농도가 상류

Table 2. Ions for selected ion monitoring of organophosphorus pesticides.

Analytes	Retention time (min)	Quantification ions (relative intensity)	Confirmaiton ions (relative intensity)
DDVP	7.889	185(100)	109(544)
IBP	19.905	204(100)	288(69), 125(70)
Tributyl phosphate (surr.)	16.497	211(100)	155(217)
Triphenyl phosphate (surr.)	26.151	326(100)	325(75), 233(12)
1-Bromo-2-nitrobenzene (GCIS)	9.271	201(100)	203(96), 155(102)

Table 3. Concentrations of analytes determined from Mangyeong River.

Analytes	Concentrations (ng/l)							
	MK14	MK12	MK11	MK9	MK7	MK5	MK3	MK1
DDVP	23.4	20.3	17.3	15.5	11.8	13.5	14.7	11.3
IBP	820	1050	1140	972	923	888	755	670
Total	843	1070	1157	987	935	902	770	682

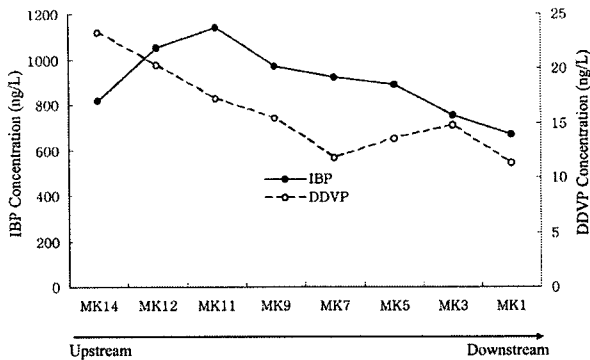


Fig. 2. Distribution of organophosphorus pesticides in surface water from Mangyeong River.

지역에서 하류지역으로 가면서 낮아지는 경향을 보이고 있지만 일부 정점에서는 농도 값들이 커지거나 작아지는 변화를 보이고 있다. 이러한 현상은 만경강과 인접하여 있는 지천들의 영향에 의한 것으로 사료된다.

만경강 하구(MK1-14) 및 새만금 해역(Fig. 1 정점 참고)의 물 중에서 검출된 DDVP 및 IBP의 농도를 국내 연안에서 기준에 보고된 농도와 비교하여 Table 4에 나타냈다. DDVP의 경우 만경강에서는 11.3~23.4 ng/l, 새만금 해역에서는 0.2~48 ng/l의 범위를 보여 기준에 근산, 당항, 사천, 광양, 아산 및 경기만에서 보고된 농도 보다는 다소 높은 값을 보였다. IBP의 경우는 만경강에서 670~1140 ng/l, 새만금 해역에서 45~1026 ng/l의 농도범위를 보여 기준에 보고된 자료에 비하여 높게 검출되었다(Table 4). 만경강의 IBP 농도 최고값(1140 ng/l)의 경우는 두 곳의 담수 정점이 포함된 아산만의 자료(1379 ng/l)와 유사하였으나, 나머지 해역에 비해서는 최고 10배 이상의 높은 값을 보이고 있다. 만경강에서 조사된 DDVP와 IBP의 농도가 다른 해역에 비하여 높은 이유는 이번 연구가 사전 조사에서 가장 높은 농도를 보인 7월에 이루어진 결과로 사료된다. 외국의 연구에서도 토양 및 과채류 잔류 농도를 제외한 환경시료 중의 DDVP와 IBP 모니터링에 관한 문헌은 매우 제한적이며, 특히 하구 및 연안 해역에서의 연구

는 거의 전무한 실정이다. 제한적이거나 문헌상에 보고된 자료와 비교하여 보면, DDVP의 경우 영국 Tweed강의 물 시료에서 미검출-6 ng/l의 농도 범위로 검출된 것으로 보고되었으며(Robson and Neal 1997), 네덜란드의 Scheldt 하구에서는 담수와 해수를 통틀어 미검출-7 ng/l의 농도 범위로 보고되었다(Steen et al. 2001). IBP의 경우는 일본 Kasumigaura 호수의 물 시료에서 미검출-6500 ng/l의 농도 범위로 보고된 바가 있으며(Nohara and Iwakuma 1996), 동일 연구에서 IBP 농도는 년 중 6~7월에 최고값을 보이고 분석대상 유기인계 농약 중 가장 높은 값을 나타내, 벼의 도열병의 방제에 주로 사용되는 IBP의 환경 중의 농도의 분포 양상이 만경강의 경우와 유사한 경향을 보였다.

소조기와 대조기에 따른 유기인계 농약 분포변화

표층해수에서의 유기인계 농약은 7월에 집중적으로 조사하였다. 소조기와 대조기에 따른 유기인계 농약의 농도 변화와 분포변화를 알아보기 위하여 조사 시기는 7월 13일(소조기) 및 7월 20일(대조기) 두 차례로 나누었다. 1차년도 및 2차년도 연구결과에 기초하여(Li et al. 2005), 새만금 내해에서의 해수시료는 동진강과 만경강 수로를 따라 일정한 거리를 두고 채취하였으며 새만금 외해에서의 해수 채취는 외해수와 내해수의 유통이 자유롭게 이루어지는 정점(정점 20, 21 및 239)에서 진행되었다(Fig. 1). 소조기와 대조기 조사에 의한 유기인계 농약 분포변화를 비교분석 하기 위하여 시료채취는 두 시기 모두 같은 정점에서 진행되었다.

Table 5에 새만금 표층해수에서 검출된 유기인계 농약 농도 분포를 소조기와 대조기로 나누어 나타내었다. 만경강 표층수에서 검출된 유기인계 농약의 검출경향과 마찬가지로 표층해수에서도 IBP와 DDVP를 제외한 기타 유기인계 농약들은 검출되지 않았거나 검출한계 이하였다. Table 5에 나타낸 바와 같이 소조기(7월 13일)에 검출된 IBP의 평균농도는 313 ng/l이었으며 검출농도 범위는 45~1026 ng/l이었다. 또한 대조기(7월 20일)에 검출된

Table 4. Comparison of DDVP and IBP concentrations in seawater from the coastal environments of Korea.

Study area	Concentrations (ng/l)		Reference
	DDVP	IBP	
Gunsan	ND - 26.5	ND - 528	Yu et al. (2001)
Danghang Bay	ND - 20.7	ND - 172	"
Sacheon Bay	ND - 3.2	ND - 75.4	"
Gwangyang Bay	ND - 6.9	42.1 - 105	"
Asan Bay	ND - 21.3	ND - 1379	Yu et al. (2002)
Gyeonggi Bay	ND - 19.3	ND - 270	"
Mangyeong River	0.2 - 23.4	670 - 1140	This study
Saemangeum	0.2 - 48	45 - 1026	This study

Table 5. Concentration of organophosphorus pesticides and salinity in surface seawater from Saemangeum (neap tide on 13th, July 2004 and spring tide on 20th, July 2004).

Stations	DDVP (ng/l)		IBP (ng/l)		Salinity (‰)	
	Neap tide	Spring tide	Neap tide	Spring tide	Neap tide	Spring tide
st201	7.1	48	1026	598	18.95	20.5
st202	1.8	13	500	457	24.83	20.99
st203	0.7	6.2	440	507	27.29	23.09
st102	0.9	9.6	320	337	28.64	27.43
st204	2.3	2.1	267	490	28.21	26.53
st305	2.8	0.8	213	270	28.57	27.36
st21	0.8	0.2	128	215	28.02	28.02
st208	6.3	18	448	461	26.44	26.03
st212	5.1	7.2	326	301	28.25	26.36
st9	2.9	5.6	151	187	28.62	27.63
st306	3.2	2.5	48	136	28.57	27.58
st20	0.9	0.8	57	77	28.66	28.09
st239	0.5	0.6	45	74	28.79	27.79
Range	0.5~7.1	0.6~48	45~1026	74~598	19.0~28.8	20.5~28.1

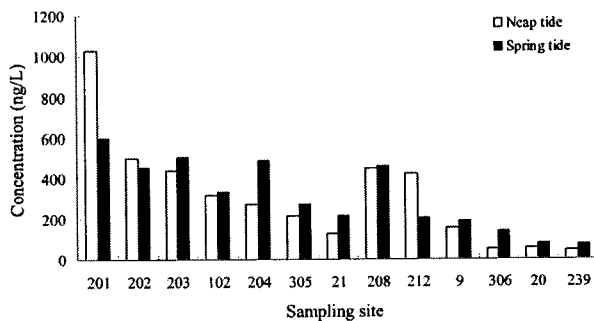


Fig. 3. Comparison of distribution pattern of organophosphorus pesticide concentrations in surface waters during neap and spring tides.

IBP의 평균농도는 308 ng/l이었으며 검출농도 범위는 74~598 ng/l이었다. 두 시료채취시기 (소조기 및 대조기) 모두 새만금 외해에 위치한 정점 st239에서 가장 낮은 농도로 IBP가 검출되었으며 가장 높은 농도는 만경강하구 정점인 st201에서 검출되었다. 동진강 및 만경강 하구 정점에서 검출된 IBP의 농도는 소조기에 높게 검출되었으며 기타 정점에서는 대조기에 높게 검출되었다. 이들의 결과를 Fig. 3에 비교하여 나타내었다. 그림에서 보여주듯이 정점 st201, st202, st212를 제외한 기타 정점에서 검출된 IBP 농도는 소조기에 비하여 대조기에 더욱 높게 검출되었다. 수위가 낮은 소조기에 비하여 수위가 높은 대조기에 유기인계 농약의 농도가 새만금해역에서 높게 검출되는 것은 강우에 의하여 소하천들이 비점원 오염원을 형성하면서 새만금으로 대량 유입되었기 때문이라 사료된다. 이

러한 연구 결과는 Table 5에 나타낸 염분으로부터 설명이 가능하다. 즉 대조기 때에 측정된 염분 함량 값이 소조기 때보다 더 낮게 검출되었다.

조석 주기에 따른 유기인계 농약 분포변화

조석 변화에 따른 유기인계 농약의 농도변화를 알아보기 위하여 25시간 연속관측을 새만금 내해에서 진행하였다(Fig. 1, 정점A). 연속관측은 7월 21일 12시부터 7월 22일 12시까지 25시간동안 진행하였다. 새만금 관측지역에서의 조석주기는 7월 21일 12시 31분에 저조, 17시 50분에 고조, 7월 22일 0시 26분에 저조, 6시 52분에 고조, 13시 14분에 저조 등 시간으로 변화하였다. Table 6에 유기인계 농약의 대표화합물인 IBP의 농도와 염분 함량을 나타내었다. Table 6에서 보여주듯이 염분은 23.05~27.79‰의 변화범위를 보이고 있으며 평균 염분은 26.13%이었다. 유기인계 농약의 농도도 염분과 마찬가지로 조석에 따른 변화를 보였다. IBP의 평균 농도는 240 ng/l이었으며 검출농도 범위는 110~374 ng/l이었다. IBP의 농도는 조석 주기에 따른 뚜렷한 변화주기를 보였다. 따라서 Fig. 4에 보여주듯이 IBP의 농도는 염분의 변화와 일치하게 대응되는 변화를 보이고 있다. 이러한 변화는 새만금해양환경에서의 유기인계 농약의 분포 및 변화는 하천수로부터 유입되는 유기인계 농약의 양과 해수에 의한 혼합에 의하여 영향을 받고 있음을 시사하고 있다. Fig. 5A에서 보여주듯이 염분의 변화에 따라 유기인계 농약의 농도는 현저한 희석효과를 보이고 있다. 염분 26% 이하에서는 유기인계 농약의 농도가 서서히 변화하지만 염분 26% 이상에

Table 6. Continuous measurement of concentrations of IBP (ng/l) and salinity (‰) for 25 hrs.

Time (T)	21th July							22nd July					Mean	
	12	14	16	18	20	22	24	02	04	06	08	10		12
IBP	336	374	238	179	182	269	295	336	194	122	110	243	247	240
Salinity	24.46	23.28	26.04	27.79	27.62	25.12	24.66	23.05	26.72	29.83	29.44	25.94	25.75	26.13

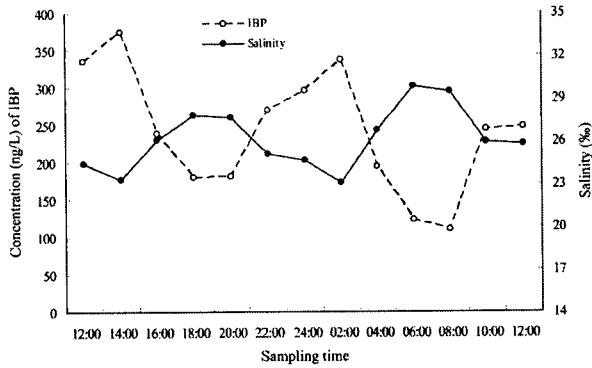


Fig. 4. Variation of IBP levels and salinity by tidal cycle.

서는 유기인계 농약 농도의 급격한 변화를 볼 수 있다. Fig. 5B, C 및 D에 각각 동진강 해역과 만경강 상류 및 만경강 해역에서의 유기인계 농약 농도와 염분 함량의 상관관계를 각각 나타내었다. Fig. 5C(만경강 수로지역)에 나타낸 바와 같이 하천유역별로부터 얻어진 유기인계 농약과 염분은 모두 매우 좋은 상관관계를 보여주고 있다.

이는 물에 대한 유기인계 농약(IBP)의 높은 용해성으로부터 기인된 것이라고 사료된다. 또한 IBP와 같이 다른 유기오염물질에 비해 분해속도가 상대적으로 빠른 유기인계 농약들도 하천으로 유입된 후 대부분이 분해과정 없이 주변 해양에 유입되고 있음을 시사하여 주고 있다. Fig. 5B와 D에서 보여주듯이 동진강 및 만경강 해역(염분 함량 $\geq 26\text{‰}$)에서의 유기인계 농약은 유사한 희석효과를 보이고 있다. 1차년도 및 2차년도 조사에서 밝히었듯이 새만금 해역에서의 수용성 유기인계 농약의 분포는 하천으로부터 유입된 오염물질의 해수희석 효과에 의하여 이루어지고 있음을 알 수 있다(Li et al. 2005).

4. 결 론

IBP와 DDVP가 새만금 해양환경에 존재하는 주요 유기인계 농약이다. 만경강 하천수(표층)에서 검출된(7월) DDVP와 IBP의 검출농도 범위는 각각 11~23 ng/l 및 670~1140 ng/l이었다. 소조기와 대조기에 검출된 IBP의 농도 범위는 각각 45~1026 및 74~598 ng/l이었다. 새만금 내해

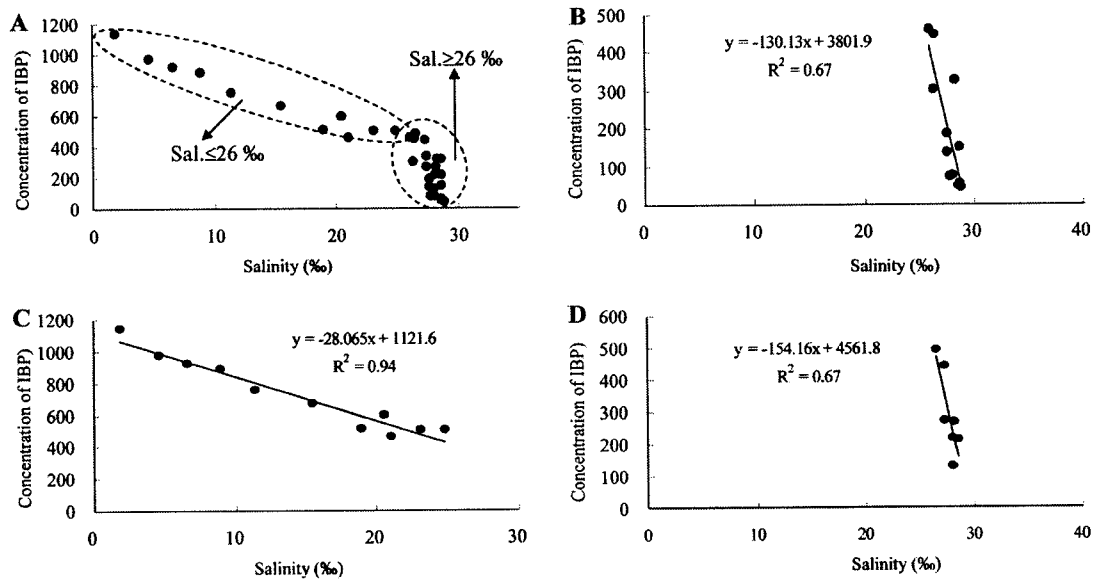


Fig. 5. Relationship between concentrations of organophosphorus pesticides and salinity in surface water from (A) whole stations surveyed, (B) Dongjin River area, (C) upstream of Mangyeong River, and (D) downstream of Mangyeong River.

중간 지역에서 25시간 연속관측을 진행하여 얻은 IBP의 평균 농도는 240 ng/l이었으며 검출농도 범위는 110~374 ng/l이었다. 본 연구로부터 아래의 결론을 유도할 수 있다. 1) 유기인계 농약은 만경강 및 동진강을 주요 오염원으로 하며 그 농도는 여러 지천에 설치되어 있는 수문의 개방여부와 관련이 있다. 2) 만경강 하구 및 동진강 하구를 제외한 방조제 안쪽 해수에서의 유기인계 농약 농도는 소조기와 대조기의 변화에 따라 크게 변화하지 않는다. 3) 만경강과 동진강으로부터 유입되는 오염물질(유기인계 농약)의 양이 일정하다면 새만금 해수에서의 유기인계 농약 변화에 가장 큰 영향을 주는 인자는 담수와 해수의 물리적인 혼합이다.

사 사

본 연구는 해양수산부에서 실시된 “새만금 해양환경보전을 위한 조사연구 용역(PM19504)”의 사업비 지원으로 수행되었습니다. 논문을 심사해 주시고 좋은 의견을 주신 두 분의 심사자에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- Jamal, G.A. 1997. Neurological syndromes of organophosphorus compounds, adverse drug reaction. *Toxicol. Rev.*, 16, 133-170.
- Li, D., M. Dong, W.J. Shim, S.H. Hong, J.R. Oh, U.H. Yim, J.H. Jeung, N. Kannan, E.S. Kim, and S.R. Cho. 2005. Seasonal and spatial distribution of nonylphenol and IBP in Saemangeum Bay, Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 51, 966-974.
- Liess, M., R. Schulz, M.H-D. Liess, B. Rother, and R. Kreuzig. 1999. Determination of insecticide contamination in agricultural headwater streams. *Water Res.*, 33, 239-247.
- Medina, D., A. Prieto, G. Ettiene, I. Buscema, A. Abreu, and V. Abreu. 1999. Persistence of organophosphorus pesticide residues in Limon River water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 63, 39-44.
- Nohara, S. and T. Iwakuma. 1996. Residual pesticides and their toxicity to freshwater shrimp in the littoral and pelagic zones of Lake Kasumigaura. *Jpn. Chemos.*, 33, 1417-1424.
- Pehkonen, S.O. and Q. Zhang. 2002. The degradation of organophosphorus pesticides in natural waters: A critical review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 32, 17-72.
- Ray, D.E. 1998. Chronic effects of low level exposure to anticholinesterases-a mechanistic review. *Toxicol. Lett.*, 102-103, 527-533.
- Robson, A.J. and C. Neal. 1997. Regional water quality of the river Tweed. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 173-192.
- Sapozhnikova, Y., O. Bawardi, and D. Schlenk. 2004. Pesticides and PCBs in sediments and fish from the Salton Sea, California, USA. *Chemosphere*, 55, 797-809.
- Steen, R.J.C.A., J. van der Vaart, M. Hiep, B. Van Hattum, W.P. Cofino, and U.A.Th. Brinkman. 2001. Gross fluxes and estuarine behavior of pesticides in the Scheldt estuary (1995-1997). *Environ. Pollut.*, 115, 65-79.
- Yu, J., D.B. Yang, K.T. Kim, and K.W. Lee. 2002. Distribution of organophosphorus pesticides in Asan and Kyeonggi Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Mar. Environ. Eng.*, 5, 38-50. (in Korean)
- Yu, J., D.H. Li, K.T. Kim, D.B. Yang, and J.S. Yang. 2001. Distribution of organophosphorus pesticides in some estuarine environments in Korea. *J. Fish. Sci. Technol.*, 4, 201-207.
- Zhang, Z., H. Hong, X. Wang, J. Lin, W. Chen, and L. Xu. 2002. Determination and load of organophosphorus and organochlorine pesticides at water from Jiulong River estuary, China. *Mar. Pollut. Bull.*, 45, 397-402.

Received Jun. 19, 2006

Accepted Sep. 5, 2006