

광양만 해양생물에 대한 체내 중금속 농도

주현수 · 김 진 · 박종천 · 김승훈 · 정원석 · 송현철* · 이용탁* · 이우범**

서남대학교 의과대학

*광양보건대학 치위생과

**전남대학교 건설환경공학부

Heavy Metal Concentration on the Some Marine Organisms in Gwangyang Bay

Hyun-Soo Joo · Jin Kim · Jong-Chun Park · Seung-Hun Kim ·

Won-Suk Jeong · Hyeon-Cheol Song* · Yong-Tak Lee* · Woo-Bum Lee**

Department of Medicine, College of Medicine Seonam University

**Department of Dental Hygiene, College of Kwang-Yang Health*

***Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University*

ABSTRACT

Concentration of cadmium, lead, zinc, copper, vanadium, cobalt, arsenic, chromium, nickel and mercury were determined in some fish and molluscan species including *Limanda herzensteini*, *Konosirus punctatus*, *Rhinoplagusia japonica*, *Auadara granosa*, *Tapes philippinarum*, *Fulvia mutica*, *Turbo cornutus* and *Octopus vulgaris* to assess heavy metal contamination in the Gwangyang bay. The length, width and weight of shellfish collected from each sampling area and control site were investigated. The length, width and weight of shellfish in contaminated site were 65.61 ± 5.00 mm, 62.34 ± 6.94 mm and 64.45 ± 20.1 g respectively. The size of shellfish in contaminated site were larger than that of control site. The range of heavy metal concentrations were 2.326~11.914 mg Zn/kg.wet, 0.631~2.571 mg Cr/kg.wet, and the range of others were ND~0.898 mg/kg.wet. The difference of zinc and chromium concentrations between reference site and this surveyed site was relatively larger than those of the rest heavy metals in all the species tested.

Key words : Heavy metal, Fish, Molluscan, Gwangyang Bay

1. 서론

해양생물은 해수나 저질에 서식기반을 두고 생활하고 있기 때문에 연구대상 해역의 환경오염을 직·간접적으로 나타내는 생물학적 지표(biological indicator)로 사용되어 왔으며, 또한 대부분의 생물은 서식지내의 생물군집내에서 각 생물 상호간에 피식과 포식이 연결되어 있는 이른바 먹이사슬을 형성하고 있어서 환경오염물질의 먹이사슬을 통한 체내축적 및 농축현상을 나타낼 수 있으므로 그들이 서식하고 있는 기질(해수 또는 저질 등)에 대한 오염물질의 농도에 비해 수천배~수만배 이상의 생물학적 증폭현상(biological magnification)이 일어날 수 있음은 이미 잘 알려진 사실이다^{8, 11, 12}.

광양만은 한반도 남단의 중앙에 자리잡은 약 230 km²의 면적을 갖는 내만으로 북위 34°50'~35°00', 동경 127°35'~127°25'에 위치하며 우리나라의 서남해역을 대표하는 천혜의 어장 및 어족자원의 산란장으로 매우 중요한 역할을 하고 있다⁷). 그러나 1970년 중반 이후 광양만 주변의 광양제철소, 여천석유화학공단, 초남공단 등 임해공업단지의 조성과 급속한 도시화에 따라 연안환경은 점차 변화되어 해양생태계의 파괴라는 심각한 문제에 직면하고 있다^{3, 5, 6, 9}). 특히 광양만의 유입부를 따라 형성되고 있는 방조제와 컨테이너 부두의 건설은 해수유동이 적은 광양만을 더욱 정체성 수역으로 변화시킴으로써 오염물질의 희석·확산을 방해하고 퇴적물의 형성이 가속화되어 해수수질의 악화를 불러 일으키고 적조현상을 유발하는 등 적지 않은 문제가 야기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 광양만 해역의 오염현상이 진행됨에 따라 광양만 내에 서식하고 있

는 어류, 패류 및 기타 해양생물이 여러 가지 오염요인에 대해 노출되어 다양한 영향을 받고 있을 것으로 예상됨으로, 광양만 해역에 서식하고 있는 여러 가지 해양생물을 채집하여 생물체내의 오염물질 농도를 정밀분석함으로써, 각 해양생물의 중금속 축적농도를 분석하여 그 현황을 파악하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취지점

광양만 해역의 물리적 특성과 어패류의 서식 환경, 오염원의 분포 및 어업활동현황 등을 고려하여 총 3개 권역을 조사지점으로, 본 연구대상 해역과 해양특성이 유사한 전라남도 보성군 득량면 일대의 해역(득량만)을 대조해역으로 각각 선정하였다(Fig. 1).

수산물 시료의 채취를 위한 채집 및 현장조사는 조사기간 동안 총 3회를 실시하였으며, 대조구 조사를 별도로 2회 실시하였다.

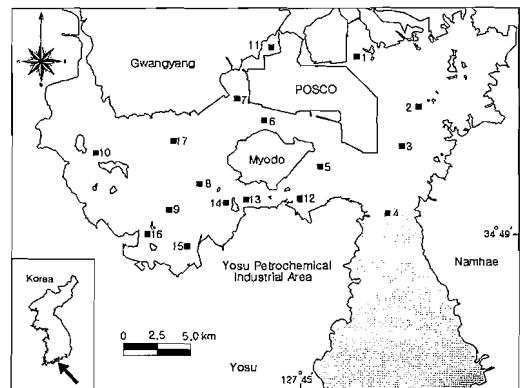


Fig. 1. Map showing Gwangyang Bay and sampling area.

2.2. 채집 및 보존

시료채집은 각 조사해역별(대조군으로서 전남 보성군에 위치한 득량만을 포함)로 3회씩을 실시하였다. 시료 채취방법은 형망 및 저인망(폭 10 m, 망목 1.5 cm)을 이용한 방법을 병행하였으며, 채집용 어선에 저인망을 설치하여 각 조사해역별로 30분간씩 인망하여 채취된 어패류 및 기타 해양생물을 선상에서 분류, 채취하였다. 채집된 시료는 PE 봉지에 옮긴 후 4℃ ice box에 넣어 실험실로 운반하였으며, 시료의 보존은 -20℃ 이하의 냉동고를 이용하여 냉동보존하여 분석하였다.

2.3. 분석방법

어패류를 대상으로 실시한 분석항목은 중금속에 포함되는 V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg 및 Pb로서 총 10개 항목을 분석하였다. 각 시료채취 장소에서 채취된 해양생물을 종류수로 2회 세척하고 패류의 경우 패각을 제거하여 육질부만을 남긴 다음, 이를 종류수로 3회 이상 세척하여 동결건조기에서 3일 동안 건조하였다. 건조시료를 막자사발에서 갈아 0.1~0.25 g의 시료를 digestion vessel에 넣고 65% HNO₃ 5 ml를 넣은 후, 1시간 이상 실온에서 방치하여 이산화탄소를 날려보내고 Microwave digestion system(CEM, MDS-2000)을 이용하여 분해하였다. 분해된 시료를 3차 종류수로 희석하여 Atomic Absorption Spectroscopy(Perkin Elmer AA 100)으로 중금속별 농도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

광양만과 대조해역을 대상으로 총 4권역에 6

회 이상의 조사를 통해 어류(서대 외 10종, 50개체), 패류(고막 외 5종, 507개체) 및 기타 해양생물(낙지 외 8종, 162개체)을 각각 채취하여 어류, 패류, 기타 수산물로 구분하고, 개체의 크기 및 중량분석, 각 수산물의 체내 중금속 함량분석 등을 실시하였다.

3.1. 채집된 패류의 특성

채취되어진 패류의 종류는 새조개, 고막, 바지락이 광양만과 대조해역에서 각각 채집되었다. 채집된 패류의 각장(length), 각고(width) 및 총중량(total weight)를 분석한 결과, 새조개(*Fulvia mutica*)의 경우 65.61 ± 5.00 mm, 각고 62.34 ± 6.94 mm, 총 중량 64.45 ± 20.1 g으로 대조구에서 채집된 것보다 개체의 크기 및 질량이 큰 것으로 조사되었다. 고막(*Aquadara granosa*)의 조사결과는 각장 37.22 ± 3.56 mm, 각고 29.45 ± 2.64 mm, 총중량 16.52 ± 4.36 g으로, 바지락(*Tapes philippinarum*)은 각장 34.49 ± 3.45 mm, 각고 28.48 ± 2.70 mm, 총중량 11.56 ± 3.31 g으로 조사되었다. 전체적으로 볼 때 광양만에서 채취된 개체의 평균크기와 중량이 대조구의 것에 비해 큰 것으로 나타났다(Table 1).

3.2. 중금속함량

광양만 서식 해양생물 중 어류의 체내 중금속함량을 파악하기 위해, 채취된 여러 어류 중에서 가자미, 전어 및 서대를 대상으로 총 10가지 종류의 중금속을 분석한 결과, 바나듐을 제외한 나머지 9종의 중금속이 검출되었다. 조사 대상 3종의 어류에서 아연과 크롬으로서 전체적인 농도분포는 아연의 경우, $2.326 \sim 11.914$ mg/kg.wet이며, 크롬은 $0.631 \sim 2.571$ mg/kg.wet 이다. 그 외의 중금속은 대부분이

ND~0.898 mg/kg.wet 의 범위로서 낮은 함량을 나타내고 있으며, 특히 바나듐은 전 조사어종에서 검출되지 않았다. 패류는 고막, 바지락, 새조개, 굴, 및 소라를 선정하여 분석하였으며, 대조구는 굴과 소라의 분석결과를 비교하였다. 분석결과를 전체적으로 볼 때, 중금속별 농도 분포에서 어류와 유사한 경향을 나타내고 있으나, 어류에서 검출되지 않은 바나듐과, 검출한 계에 가깝게 나타났던 수은이 미량이기에는 하나 검출되었다는 점이 다르다. 또한 대조구에서 채집된 굴에서 본 연구대상 해역인 광양만에서 식한 패류보다 높은 농도인 아연 42.365 mg/kg.wet, 구리 16.522 mg/kg.wet로 분석되어, 일반적으로 청정해역인 대조구가 오히려 조사해역보다 높은 중금속량을 나타내는 특이함을 보였다. 어패류 외의 해양생물로서 낙지와 새우의 체내 중금속함량을 조사한 결과, 먼저 낙지의 경우, 카드뮴, 납, 아연, 구리, 코발트, 비소, 니켈 등 대부분의 중금속은 어패류의 분석결과와 큰 차이를 보이지 않는 유사한 농도 분포를 나타내고 있으나, 크롬의 농도가 어패류에 비해 낮게 검출된 점과 수은과 바나듐이 검출되지 않은 점 등에서 패류의 것과는 다르

다. 새우의 조사결과, 전체 중금속 조사항목이 검출되었으며, 농도의 분포는 대개 낙지의 중금속함량과 비슷하나 전체적으로 낙지에 비해 농도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있어서 낙지보다는 새우의 중금속 축적량이 큰 것으로 나타났다(Table 2, 3).

3.3. 분석결과와 고찰

수산물 내에 함유되어 있는 중금속의 함량은 인간의 수산물 섭취에 의해 인체로의 직접적인 유입이 이루어지게 되고 그 농도에 따라서 여러 가지 악영향을 미칠 수 있다⁸⁾. 따라서 우리나라를 비롯하여 여러 국가에서 식용가능한 수산물의 중금속 함량을 기준으로 마련해 놓고 있는 실정이다. 우리나라를 포함한 호주와 뉴질랜드의 중금속에 대한 수산물 기준을 본 연구결과와 비교하면, 본 연구에서 측정한 모든 결과가 우리나라 기준치 이하로 나타남을 알 수 있으며, 호주와 뉴질랜드의 기준에 비교할 경우 카드뮴은 최고치가 1.150 mg/kg.wet로서 뉴질랜드 기준인 1.0 mg/kg.wet를 약간 상회하며, 그 외의 중금속항목은 호주와 뉴질랜드

Table 1. Length, width and weight on shellfish collected from each sampling area and control site

Shellfish		<i>Fulvia mutica</i>			<i>Auadara granosa</i>			<i>Tapes philippinarum</i>		
Area		L(mm)	W(mm)	TW(g)	L(mm)	W(mm)	TW(g)	L(mm)	W(mm)	TW(g)
GY	Max	70.50	69.50	97.90	43.68	33.92	24.60	41.19	32.89	19.20
	Min	55.40	53.20	39.00	29.78	25.22	9.30	27.47	24.22	6.80
	M&SD	65.61	62.34	64.45	37.22	29.45	16.52	34.49	28.48	11.56
		±5.00	±6.94	±20.1	±3.56	±2.64	±4.36	±3.45	±2.70	±3.31
Contl	Max	64.30	62.50	57.60	38.20	29.80	18.90	44.90	32.80	21.60
	Min	56.70	56.20	42.20	23.40	19.80	4.60	34.80	20.50	9.90
	M&SD	61.11	59.49	50.60	29.38	23.00	9.45	38.79	28.83	13.84
		±2.45	±2.29	±5.50	±4.22	±3.43	±4.38	±2.81	±2.70	±3.22

* Contl : Control group; Max : maximum value; Min : minimum value; L : length; W : width; TW : total weight; GY : Gwangyang Bay; M&SD : mean value and standard deviation

의 기준에 적합한 것으로 비교되었다. 또한 기존 보고자료와 본 연구결과를 비교하였을 때, 광양만을 대상으로 1996년 남해수산 연구소의 미발표 보고자료와 본 연구결과가 중금속의 범위에서 농도의 분포범위가 거의 중복되거나 다소 높으며, FDA에 의한 보고와 비교시 납의 결과에서 약간 상회하고, 나머지 중금속류는 모두 유사한 농도의 범위에 속하는 것으로 비교할 수 있었다(Table 4). 또한 일본 鹿兒灣의 조사결과(크롬 0.02~2.80 mg/kg.wet), 미나마타병이 발생하였을 당시의 수산물에 함유된 수은의 농도(0.04~0.25 mg/kg.wet)에 비교시 본 연구결과가 크게 낮음을 알 수 있다. 송 등(1997)은 온산만 일대의 해역에서 패류의 일종인 총알고둥의 카드뮴 함량을 분석하여 0.11

~11.81 $\mu\text{g Cd/g d.w.}$ 로 보고한 바 있으며⁴⁾, 백과 이(1998)는 진주담치에서 1.40~25.09 $\mu\text{g/g d.w.}$ 으로 각각 보고하였다¹⁾. 본 연구의 결과에서 패류 중 소라의 카드뮴 농도범위는 0.004~0.009 mg/kg.wet로 나타나 기존의 온산만을 대상으로 한 연구에 비해 낮은 수치로 판단되나 산출된 결과가 습중량과 건중량 등으로 다르게 표시되어 있어 정확한 비교를 하기는 어렵다. 본 연구에서 광양만과 여러 가지 해황이 비슷하나 특별한 중금속오염원이 없어 대조해역으로 선정한 득량만의 조사결과에 광양만 어패류의 중금속 분석결과를 비교했을 때, 크롬, 납 등의 항목은 농도구간이 거의 중복되어 있으나, 나머지의 중금속류는 대조군의 것 이 비해 상당히 높은 농도로서 비교되었다.

Table 2. The heavy metal(Cd, Pb, Zn, Cu, and V) concentration of marine organisms collected from Gwangyang Bay and control site

Heavy metal		Cd	Pb	Zn	Cu	V		
Sample		(mg/kg.wet)	(mg/kg.wet)	(mg/kg.wet)	(mg/kg.wet)	(mg/kg.wet)		
Fish	LH	Range	0.003~0.006	0.030~0.058	2.326~10.830	0.156~0.455	ND	
		M&SD	0.0045±2.12	0.044±0.019	6.578±6.01	0.306±0.21	-	
	KP	Range	0.016~0.019	0.110~0.121	11.802~11.914	0.852~0.898	ND	
		M&SD	0.018±0.002	0.115±0.007	11.858±0.079	0.875±0.03	-	
	RJ	Mean	0.022	0.136	7.217	0.711	ND	
	Shell-fish	AG	Range	0.053~0.098	0.033~0.163	3.864~13.919	0.254~0.965	ND
M&SD			0.077±0.018	0.095±0.06	8.319±4.40	0.587±0.337	-	
TP		Range	0.040~0.041	0.050~0.052	2.368~9.650	0.310~0.824	0.001~0.055	
		M&SD	0.041±0.001	0.051±0.001	6.009±5.149	0.567±0.363	0.028±0.038	
FM		Range	0.015~0.167	0.010~0.861	4.510~13.437	0.310~0.824	ND~1.708	
		M&SD	0.059±0.041	0.279±0.289	10.513±2.842	1.830±1.334	0.425±0.554	
OS		Mean	1.120	0.155	42.365	16.522	0.082	
TC		Mean	0.028	0.022	2.306	0.717	ND	
Others		OV	Range	0.004~0.009	0.054~0.138	2.124~6.750	0.257~2.500	ND
			M&SD	0.006±0.003	0.095±0.059	4.437±3.271	1.379±1.586	-
	SP	Range	0.001~0.128	0.031~0.186	7.656~16.728	10.439~14.315	0.081~0.084	
		M&SD	0.065±0.089	0.109±0.110	12.192±6.415	12.377±2.741	0.083±0.002	

* M&SD : mean value and standard deviation; LH : flat fish, *Limanda herzensteini*;
 KP : dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*; RJ : a sole, *Rhinoplagusia japonica*;
 AG : ark shell, *Auadara granosa*; TP : short-necked clam, *Tapes philippinarum*;
 FM : cockle, *Fulvia mutica*, OS : oyster; TC : conch, *Turbo cornutus*
 OV : a small octopus, *Octopus vulgaris*; SP : shrimps

Table 3. The heavy metal(Co, As, Cr, Ni, and Hg) concentration of marine organisms collected from Gwangyang Bay and control site

Sample		Heavy metal	Co (mg/kg.wet)	As (mg/kg.wet)	Cr (mg/kg.wet)	Ni (mg/kg.wet)	Hg (mg/kg.wet)
Fish	LH	M&SD	0.017~0.022	0.007~0.022	2.482~2.501	0.231~0.855	ND
		M&SD	0.019±0.003	0.015±0.01	2.492±0.01	0.543±0.44	-
	KP	M&SD	0.039~0.041	0.057~0.070	2.311~2.571	1.096~1.123	0.002~0.003
		M&SD	0.040±0.001	0.064±0.009	2.441±0.184	1.109±0.019	0.0025±0.001
	RJ	Mean	0.051	0.082	0.631	0.485	0.016
Shell-fish	AG	Range	0.021~0.091	0.027~0.063	0.198~1.336	0.159~0.393	ND~0.003
		M&SD	0.052±0.031	0.047±0.013	0.827±0.443	0.239±0.159	0.001±0.001
	TP	Range	0.057~0.153	0.022~0.083	0.178~0.514	0.259~0.657	0.007~0.018
		M&SD	0.105±0.068	0.053±0.043	0.346±0.238	0.458±0.281	0.013±0.007
	FM	Range	0.008~0.857	0.011~1.248	0.133~1.681	0.109~2.194	ND~0.034
		M&SD	0.223±0.219	0.323±0.379	1.146±0.508	0.873±0.616	0.006±0.012
	OS	Mean	0.059	0.137	1.236	0.597	0.036
	TC	Mean	0.006	0.009	1.142	0.050	ND
Others	OV	Range	0.006~0.033	0.022~0.030	0.325~0.718	0.056~0.196	ND
		M&SD	0.019±0.019	0.026±0.005	0.521±0.278	0.126±0.099	-
	SP	Range	0.053~0.084	0.051~0.119	0.364~0.719	0.508~0.644	0.003~0.031
		Range	0.068±0.022	0.085±0.048	0.541±0.251	0.576±0.096	0.017±0.020

* M&SD : mean value and standard deviation; LH : flat fish, *Limanda herzensteini*;

KP : dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*; RJ : a sole, *Rhinoplagusia japonica*;

AG : ark shell, *Auadara granosa*; TP : short-necked clam, *Tapes philippinarum*;

FM : cockle, *Fulvia mutica*, OS : oyster; TC : conch, *Turbo cornutus*

OV : a small octopus, *Octopus vulgaris*; SP : shrimps

Table 4. The criteria and reference data of heavy metal concentration in marine organisms

HM.	Criteria(ppm, mg/kg)			Reported data(ppm, mg/kg)				
	Korea	Australia	New Zealand	England ¹⁾ (WW)	Kwang- yang bay ²⁾	Eastern by FDA ³⁾	Control site ⁴⁾	This study ⁴⁾
As				0.94~33.4		0~2.8	0.009~0.022	0.011~1.248
Cd		0.2	1.0	0.001~0.007	0.02~0.05	0.25~1.12	0.028~0.040	0.015~1.150
Cr				0.07~0.24		0.047~2.1	0.178~1.142	0.133~1.574
Pb	2.0	1.5~2.0	2.0	0.06	0.01~0.32	0.6~0.7*	0.022~0.050	0.01~0.861
Zn		40.0	40.0	2.8~6.9	7.8~11.3	-	2.306~2.368	3.864~13.919
Cu		30.0	30.0	0.12~0.4	0.32~0.64	-	0.310~0.717	0.188~4.627
Hg	0.5	0.5~1.0	0.5	0.06~1.45	0.006	-	ND~0.007	ND~0.034

¹⁾ : Reish, D. J., et al., "Effect of Pollution on Marine Organisms", Wat. Env. Res., 68(4), pp. 785-787, 1996.

²⁾ : National Fisheries Research and Development Institute, The Report on the Heavy metal Concentrations of Marine Organisms in Gwangyang Bay. 1996.

³⁾ : The Data referred from FDA Research Report

⁴⁾ : The results of analysis of heavy metals on Shellfish

HM : heavy metals, WW : wet weight, DW : dry weight

4. 결 론

광양만 해역에 서식하고 있는 어류, 패류 및 기타 해양생물을 대상으로 V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb 등 총 10개 항목의 중금속을 분석하고, 그 결과를 각 권역별, 해양생물의 종류별로 비교, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 광양만과 대조해역에서 채취된 어패류 및 기타 해양생물은 총 719개체로서 이중 어류가 10종 50개체, 패류가 5종, 507개체, 기타해양생물이 8종, 162개체였으며, 새조개를 기준으로 할 때 패류의 평균 각장은 65.61 ± 5.00 mm, 각고 62.34 ± 6.94 mm, 총 중량 64.45 ± 20.1 g 이었다. 각 해양생물의 중금속을 분석한 결과 어패류 및 기타해양생물의 종류별, 중금속별로 농도의 범위가 각각 다르게 나타나고 있으나, 중금속별 비교에서 아연의 경우, $2.326 \sim 11.914$ mg/kg.wet 이며, 크롬은 $0.631 \sim 2.571$ mg/kg.wet로 나타났다. 그 외의 중금속은 대부분이 ND $\sim$ 0.898 mg/kg.wet의 범위였다. 광양만 해역에 서식하는 해양생물의 체내 중금속 함량은 우리나라의 수산물 기준치의 이하로 판정되었으며, 호주와 뉴질랜드의 기준과 비교시 카드뮴을 제외한 나머지 전체의 중금속이 기준치에 적합한 것으로 나타났다. 또한 기존의 보고 자료와의 비교에서도 전체적으로 몇몇 항목을 제외하면 거의 유사한 농도의 범위에 속하는 것으로 비교되었다.

사 사

본 연구과제는 환경부지정 전남지역환경기

술개발센터의 연구비 지원에 의해 수행한 연구 과제입니다.

참고문헌

1. 백수민, 이인숙. 온산연안에 서식하는 진주담치(*Mytilus edulis*)의 중금속 생물농축에 관한 연구. 한국생태학회지, 21:217-224 (1998).
2. 남해수산연구소. 광양만 서식수산물의 중금속 함량 조사결과보고서. 미발표 보고서 (1996).
3. 서호영, 서해립. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지, 11:26-34 (1993).
4. 송미연, 최병래, 박경숙, 이인숙. 온산만의 퇴적물과 총알고둥(*Littorina brevicula*)내 중금속 분포. 한국생태학회지, 20:51-60 (1997)
5. 위인선, 전순배, 이종빈, 나명석. 광양만 미생물 군집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지, 11:11-16 (1993).
6. 유수현. 서남해역에서 성게의 배우자와 배아를 이용한 연안해수 환경평가에 관한 연구. 전남대학교 석사학위논문, 73pp. (1992).
7. 유춘만, 주현수, 박종천, 이우범, 이원교. 말뚝성게(*Hemicentrotus pulcherrimus*)의 배우자를 이용한 광양만 해수의 생물학적 수질평가. 한국환경생물학회지 16:319-327 (1998).
8. 이수형. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염연구. 한국패류학회지, 10:24-40 (1994).
9. 주현수, 박종천, 김진, 이우범, 이성우. 광양만의 퇴적물에 대한 이화학적 조성 및 중금

- 속 함량. 한국육수학회지, 33(1):31-37 (2000)
10. 平野敏行編, 沿岸域保全のための海と環境科學. 東京, 570p. (1986).
11. Phillips, D.J.H. and D.A. Segar. Use of bio-indicator in monitoring conservative contaminants: programme design imparatives. Mar. Pollut. Bull. 17:10-16 (1986).
12. Phillips, D.J.H. Quantitative Aquatic Biological Indicator : Their Use to Monitor Trace Metal and Organochlorine Pollution. Applied Science Publishers, London. 460p. (1980).
13. Reish, D. J., et al. "Effect of Pollution on Marine Organisms", Wat. Env. Res., 68(4):785-787 (1996).