Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol.3, No.3. pp. 24~33, August. 2000

남해연안 패류양식장의 부영양화 특성

이찬원[1], 권영택[1], 부민호[1], 권혁보[2], 양기섭[3]

Eutrophication Characteristics in the Shellfish Farms, the Southern Coastal Sea of Korea

by
Chan-Won Lee[1], Young-Tack Kwon[1], Hyok-Bo Kwon[2], Min-Ho Boo[1] and Ki-Sup Yang[3]

요 약

우리나라 남해연안의 해양수산자원과 경관은 생태학적인 관점에서뿐만 아니라 경제적으로도 매우 중요하다. 밀식 등 과다한 양식과 하·폐수의 유입으로 이 해역의 부영양화 현상은 더욱 심각하게 되었다. 본 연구는 1998년부터 1999년까지 여름과 겨울로 구분하여 채취한 해수와 퇴적물의 분석결과로부터 남해연안의 부영양화 상태를 파악하였고, 퇴적물 오염정도, 퇴적물로부터의 영양염류 용출과 산소소비량을 측정하였다. 또한 양식장 자가오염의 주원인중의 하나인 양식장의 부착생물에 의한 배설물량을 측정하였다. 양식장의 해수의 영양염류 농도는 일반해양보다 대체적으로 높게 나타났다. 양식장에서 채취된 여름의 퇴적물 중 COD와 총인의 농도가 겨울의 퇴적물보다 높은 경향을 보여주었다. 우리나라 남해연안의 패류양식장 퇴적물은 부영양화 물질과 저산소층 수괴의 주요 오염원으로 작용하고 있음을 알 수 있었다.

Abstract

The value of beauty and the resources in the southern coastal sea is most important not only ecologically but also economically in Korea. Since 1980s, intensive use and consequent coastal water pollution have caused an increase in the frequency of red tides outbreak in this area. In this study, seawater and sediment were collected in summer and winter of 1998 and 1999, respectively. The status of seawater eutrophication, sediment oxygen demand(SOD), and nutrients release from sediment were measured. There was an obvious trend that COD and total phosphorous concentrations of summer sediments obtained from aquaculture farms were higher than those of winter sediments. It was concluded that sediments accumulated in the shellfish farms of southern coastal sea caused oxygen deficit in the bottom layer of seawater and played an important role for eutrophication.

Keywords: Shellfish farms, SOD, Sediments, Nutrient Release, Eutrophication

(1) 정회원, 경남대학교 공간환경시스템공학부, water@kyungnam.ac.kr
(2) 경남대학교 신소재 공학부
(3) 정회원, 경남대학교 연안역 폐자원 및 환경연구센터

I. 서 론

우리 나라의 대표적인 패류양식장인 진해만과 통영연안은 지형적으로 복잡한 폐쇄성 해역으로 일부해역은 오염이 심화되어 있으며 양식해역 및 연안부는 오염도가 해마다 증가하는 추세에 있다. 마산만은 폐쇄성 해역의 지형적, 물리적 특성을 지닌 대표적인 해역으로 진해만에 속한 내만들 중 오염부하량이 매우 높은 해역이다. 진해만은 남해안 동부연안중 폐쇄성이 강한 해역으로 마산만을 제외한 6개의 주요 내만을 포함(행암만, 가덕도수로, 진동만, 운문포만, 고현성만, 칠천수로)하고 있다. 진해만은 유역 특성상 가정하수 및 산업폐수의 오염부하 뿐만 아니라, 진해만의 양식업(굴, 홍합, 피조개)과 해역 주변에 산재해 있는 축산폐수 및 분뇨처리장의 방류수에 더 관심을 집중해야 하는 것으로 보고하였다(이 등 [1991]). 또한 진해만은 해양의 기초생산력이 높아 양식업이 성행하고 있으며 1990년 양식장 면적은 진해만 전체면적의 6.4%를 차지하고 있다. 20여년 동안 지속해오고 있는 굴, 홍합 양식장에서 발생하는 배설물에 의한 침전물 발생량은 75 ton/day 정도로 퇴적층 내로 침전하는 것으로 보고하였다(이 등 [1991]). 통영연안은 1986년 이후 매년 적조가 일어나고 1996년 여름에는 저층에 저산소 수괴가 형성되어 양식 및 자연산 어패류가 다량 폐사하였다.

본 연구에서는 부영양화 제어 및 관리를 위한 지표개발을 위하여 먼저 양식장 퇴적물을 중심으로 질소와 인의 용출과 SOD(Sediment Oxygen Demand)를 조사하고 해수와 퇴적물에서의 오염물질 농도를 비교·분석하였다. 그리고 패류 양식장에서의 일 배설량(ton/㎢·day)에 의한 부하량을 산정 하였으며 연구해역의 부영양화 정도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

조사해역인 마산, 진해, 통영연안의 해수는 Van Dorn sampler로, 양식장 및 일반해양 퇴적물은 ponar grab sampler로 여름과 겨울철로 구분하여 채취하였다. 해수 중 COD, 총무기질소 그리고 인산염인의 농도는 해양환경공정시험법(해양수산부 [1998]), 퇴적물의 COD 측정은 일본 환경청 저질분석방법(일본 환경청 [1988])에 의거하여 실시하였다. 퇴적물의 T-P, TKN 분석은 Standard Methods(APHA [1995])에 따랐으며, SOD 측정은 Bowman과 Delfino[1979]의 방법에 준하여 실험실 내에서 측정하였다. 본 연구실험에 사용한 반응

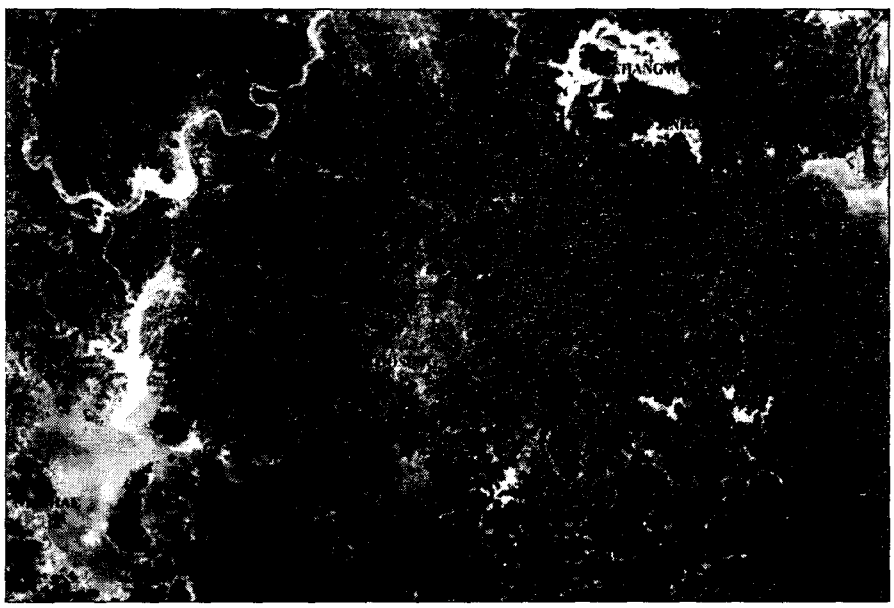

Fig.1 Map of Sampling Site in Southern coastal area
● : sampling site of seawater ● : sampling site of sediments

조의 특징과 모양은 Fig. 2와 같이 Plexiglass로 만들어지고 일반적으로 퇴적물의 표면적은 0.0227 m² 이며 V/S비율이 154 L/m²로 고안되었다. 본 반응조에서 퇴적물 위에 첨가되는 교환수(overlying water)는 실험실에서 제조한 인공해수를 사용하였다. 반응조내 물의 순환은 Peristaltic Pump를 이용하여 110~120 mL/min의 속도로 순환시키고 DO와 온도감지 센서를 반응조에 설치하며 일정시간 간격으로 측정하였다. 물의 순환은 반응조내에서 2분 이내에 완전히 순환되어야하며, 모든 SOD측정은 20±1℃ 암실의 Incubator안에서 이루어지고, 퇴적물을 반응조 바닥에서 약 4㎝정도로 채웠다. 이때 퇴적물이 요동이나, 교란 등에 의해 재부유가 일어나지 않게 주의를 요한다. 공기를 차단하여 반응조위를 덮어 너트로 조이고 1시간 동안 안정 시킨 후 실험에 임한다. 이때 Peristaltic Pump, DO meter 및 기록계를 함께 가동시킨다. DO 측정은 일정한 시간간격을 두고 계속해서 측정하여 약 2㎎/L이하까지 내려갔을 때 측정을 종료시키며, SOD 계산은 Hanes and White (Bowman and Delfino [1979])가 제안한 계산방식을 사용하였다.

DO커브는 횡좌표, 시간은 종좌표에 Plot하고 그 기울기는 DO커브로부터 최소자승법으로 구한다. 이에 따라 SOD단위는 $mgO_2/m^2 \cdot hr$로 표기되어진다.

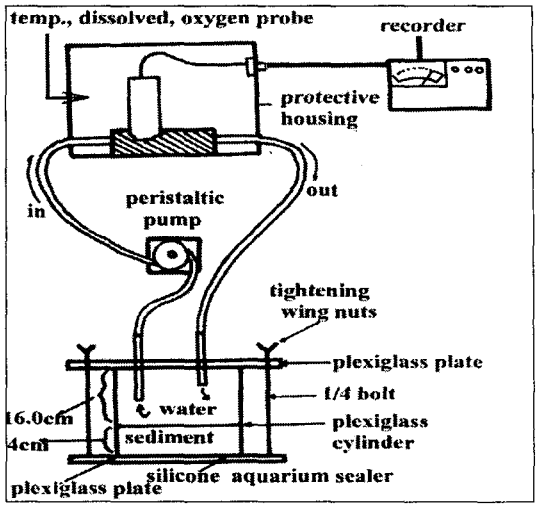

Fig. 2 Sediment Oxygen Demand reaction chamber used in laboratory experiments.

3. 결과 및 고찰

3.1 해수의 영양염류 농도

1998년 2월(겨울)과 7월(여름) 그리고 1999년 2월(겨울)과 7월(여름)에 측정한 총무기질소와 인산염

Table 1 Average concentrations of COD, nitrogen and phosphorus, and TSI(trophic state index) in the water column in 1998 February and July 1999

		COD (mg/L)	TIN (mg/L)	NH_3-N (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	TIN (μM)	PO_4-P (mg/L)	PO_4-P (μM)	TSI*
Winter	Masan bay	5.5	0.774	0.244	0.007	0.523	22.67	0.023	0.24	9
	Jinhae bay	3.3	0.475	0.110	0.088	0.277	12.65	0.015	0.16	2
	coast of Tongyoung	3.1	0.256	0.085	0.002	0.169	7.68	0.008	0.08	0.6
Summer	Masan bay	8.6	0.681	0.249	0.020	0.356	20.58	0.028	0.30	16
	Jinhae bay	5.4	0.466	0.116	0.007	0.343	12.34	0.020	0.21	4
	coast of Tongyoung	6.2	0.583	0.062	0.006	0.515	11.83	0.012	0.13	3

* : Trophic State Index(부영양화지수)

인의 평균농도를 Table 1에 나타내었다. 계절별로 마산만의 경우 총무기질소와 인산염인 농도의 계절적 변화가 크지 않았다. 그러나 양식장이 산재해 있는 통영연안은 여름의 총무기질소, 인산염인 농도가 겨울보다 증가하는 경향을 보였으며 특히 여름이 겨울에 비해 총무기질소가 2배, 인이 1.5배 증가함을 보였다.

해수의 총무기질소·인산염인 농도는 계절별, 지점별로 약간의 차이가 있으나 전체적인 경향은 마산·진해만의 농도가 통영연안보다 높았다. 조사기간 중 총무기질소의 평균 농도는 통영연안의 겨울 평균농도가 0.256 mg/L로 가장 낮았지만 대체로 0.4 mg/L 이상을 유지하여 적조발생 한계농도(0.1 mg/L)를 훨씬 초과하고 있어 해역별 수질기준으로 Ⅲ등급에 해당하였다.

질소의 존재형태별로는 질산성 질소의 농도가 가장 높았고, 암모니아성 질소의 농도분포는 0.06 ~ 0.25 mg/L로 지점별로 큰 차이를 보였는데 마산만 내만이나 육지에 직접 영향을 받는 해역에서 높게 나타났다.

인산염인의 해수평균농도는 0.008 ~ 0.028 mg/L로 적조발생한계농도(0.015 mg/L)근처의 분포를 보여주고 있으며, 해역별 수질기준으로 Ⅰ 또는 Ⅱ 등급을 나타내었다.

연안 수역의 부영양도(Trophic State Index, TSI)를 평가하는 여러가지 방법 중 剛市[1972]는 해역의 부영양화 지표로서 적조를 유발시키는 영양염 농도를 고려하여 부영양도를 판정하였다. 초기 적조발생 시 규조류의 세포수인 1,000 cells/L를 한계로 하여 규조류에 포함된 탄소량 0.83 mg/L(COD로서 1.0 mg/L)를 기준으로 용존무기질소는 7.14 μM, 인산염은 0.48 μM을 부영양화지수 1로 하여 평가하였다.

즉, 부영양도=

$$\frac{COD(mg/L)\times DIN(\mu M)\times PO4-P(\mu M)}{3.43}$$

이 식에 의하여 연구해역의 부영양화지수를 계산해보면 마산만의 경우는 계절에 관계없이 부영양화지수가 상당히 높음을 알 수 있었다. 그러나 진해만의 경우는 여름철이 겨울철에 비하여 부영양화지수가 각각 2배정도 증가하는 경향을 보여 계절적 변화가 심함을 알 수 있었다. 또한 통영연안은 겨울에는 부영양화가 진행되지 않았지만 여름에는 해역의 부영양화가 심하게 진행됨을 알 수 있었다.

퇴적물을 채취한 지점의 해수 중 질소, 인 농도의 측정결과는 Table 2와 같다. 일반해양과 양식장 모두 영양염류 농도가 겨울보다 여름이 높았으며

Table 2 Nitrogen and phosphorus concentration of seawater by different uses

Site		TIN(mg/L)		PO_4-P(mg/L)		N/P ratio*	
		Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer
Aquaculture area	A(mussel)	0.073	0.661	0.004	0.020	60 : 1	95 : 1
	B(oyster)	0.100	0.709	0.003	0.030	54 : 1	128 : 1
	C(oyster)	0.494	0.360	0.012	0.018	171 : 1	49 : 1
	D(oyster)	0.110	0.682	0.005	0.039	103 : 1	21 : 1
	Average	0.193	0.602	0.005	0.027	71 : 1	72 : 1
others	E	0.461	0.378	0.004	0.012	88 : 1	58 : 1
	F	0.405	0.496	0.004	0.026	55 : 1	71 : 1
	G	0.461	0.447	0.002	0.020	75 : 1	53 : 1
	Average	0.442	0.440	0.004	0.020	74 : 1	60 : 1
Masan harbor	H	0.661	0.758	0.012	0.028	103 : 1	83 : 1
Sewage outfalls area	I	0.930	1.173	0.027	0.039	205 : 1	131 : 1

* molar concentration ratio

특히 양식장의 수계는 일반해양보다 영양염류 농도가 대체적으로 높았다. 이러한 양식장 수계의 질소, 인 농도를 오염이 심한 해역인 마산만의 내만과 마산시 하수종말처리장 방류해역의 영양염류 농도와 비교해 보았을 때, 양식장 자체에서 발생하는 영양염류에 기인한 것으로 생각되어지는 질소와 인의 농도가 비슷한 수치로 나타나 양식장에서의 오염 정도를 판단할 수 있었다. 또한 Table 2의 질소와 인의 농도는 수산생물의 생육에 적합한 해역별 수질기준 II등급을 초과하는 수치이다.

N/P비는 해수 중 질소계 화합물(NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) 몰농도의 합과 인산염인(PO_4^{3-})의 몰농도와의 비를 나타낸 것으로 N/P비가 16보다 크면 질소계 무기영양염류가 인계 무기영양염보다 풍부하므로 인이 식물 플랑크톤의 성장제한 인자가 되며 반대로 16보다 작으면 질소가 성장제한인자가 되는 것으로 알려져 있다(국립수산진흥원 [1995], Mitsumasa [1996], 이 [1997]). 조사기간 동안 N/P비는 16을 크게 초과하였으며(Table 2), 이러한 결과는 조사지역 특히, 양식장 해역의 식물플랑크톤 성장제한인자는 인임을 알 수 있었다. 이는 국립수산진흥원[1995]이 진해만 일부해역인 진동만에서 조사한 결과와 일치한다.

이처럼 양식장 해역이 양식장이 없는 일반 해역보다 질소, 인 농도가 높은 이유 중에 하나는 연안지역에 산재한 양식장은 해류나 조류의 작용이 상대적으로 약한 곳에 위치하며 양식생물 배설물의 입자크기가 크기 때문에 양식장 하부의 퇴적물로 쉽게 침강한다(국립수산진흥원 [1993]). 기온이 상승하는 여름철에 퇴적물 내의 유기물은 산소를 소비하면서 분해되어 무산소 또는 저산소 상태로 전환된다. 이때 퇴적물 입자간 공극수에 암모니아와 인산염 농도를 상승시키며 물리적, 화학적 그리고 생물학적인 인자들에 의해 수중으로 재용출 되어진다.

3.2 양식장 퇴적물의 유기물 함량

Table 3은 양식장 저층에서 계절별로 채취한 퇴적물내의 유기물 농도를 분석한 결과이다. 퇴적물의 분석결과에서 두 가지의 뚜렷한 경향을 파악 할 수 있었다. 첫째로 여름의 퇴적물 중 유기물(COD, TKN, T-P) 농도가 높은 경향을 보여 주었다. 특히 COD와 T-P의 경우는 그 경향이 뚜렷하고 TKN의 경우 비슷한 농도를 나타내었다. 둘째로 양식장과 오염부하량이 가장 높고 수질이 가장 나쁜 마산항 및 하·폐수 방류해역과 비교할 때, COD의 경우 양식장이 아직은 덜 오염되었으나 질소와 인의 경우는 비슷한 수치를 보여주고 있어 양식장에 의한 퇴적물의 부영양화 상태를 잘 설명해 주고 있다.

Table 4에서 제시된 미국의 오염 퇴적물 판단기준 중 COD와 질소로 판단할 때 남해연안의 퇴적물이 nonpolluted로 구분되었으나 인 기준농도로 판단할 때 여름철의 퇴적물은 heavily polluted로 구분된다. 일본의 COD와 비교할 때 여름의 마산항과 하·폐수 방류해역의 퇴적물은 polluted로 구분되었다. 이는 국가마다 다른 판단 목적 또는 연안의 특성에 의하여 차이가 나는 것으로 생각된다. COD의 경우 여름이 겨울과 비교하여 5배 이상 높았으며 조사해역은 일본의 수산자원보호협회가 설정한 오염저질 COD 기준 20mg/g에 근접하거나 초과함을 알 수 있다. T-P의 경우 여름에 채취한 모든 퇴적물의 인 농도가 2~3 mg/g으로 겨울에 비하여 매우 높음을 알 수 있다.

Table 3 Concentration of COD, T-P and TKN in the bottom sediment collected in February 1998 and July 1999

Site		COD(mg/g)				TKN(mg/g)				T-P(mg/g)			
		winter		summer		winter		summer		winter		summer	
		98	99	98	99	98	99	98	99	98	99	98	99
Aquaculture Area	A(mussel)	3.0	2.0	12.0	9.0	0.66	0.45	0.29	0.43	0.31	0.13	2.86	2.55
	B(oyster)	3.4	3.0	32.0	19.0	0.52	0.47	0.23	0.50	0.16	0.07	2.38	2.01
	C(oyster)	3.0	7.2	17.6	30.0	0.51	0.56	0.27	0.36	0.04	0.11	2.64	2.65
	D(oyster)	2.0	2.0	16.8	11.0	0.70	0.30	0.33	0.43	0.09	0.05	2.07	2.55
Masan Harbor		19.3	22.4	42.0	27.0	0.41	0.59	0.37	0.57	0.10	0.20	2.95	2.88
Sewage Outfalls Area		43.0	35.2	32.0	39.0	0.66	0.80	0.33	0.94	0.10	0.11	3.09	3.23

3.3 부착성 양식생물의 부하량 추산

패류양식장의 경우 가리비는 수온이 15~20℃일 때 NH_4^+-N형태로 평균 44 mg/ind · day의 배설물을 배설한다고 보고되고 있다(Ji Rubao [1996]). 또한 국립수산진흥원의 연구보고[1991]에 의하면 굴 양식장내 1 km^2당 침전되는 유기물량은 16 ton/day로 양식장이 아닌 해역의 2.2톤 보다 7배나 많다고 보고하고 있으며 굴양식장에서의 배설물량은 약 44톤(건조중량)이 넘고 이중 약 20~30%가 양식시설 아래에 침강 · 퇴적한다고 보고했다.

양식부착생물의 배설물에 의한 침적물량은 Table 5에서 조사된 배설물량 중 국내의 연구결과를 바탕으로 Table 6에서 부착성 양식생물의 배설물에 의한 오염물질 부하량을 산출했다. 1ha당 양식대수×대당 평균수하연의 수×수하연당 부착기의 수 × 부착기당 개체수 × 생존율 = ha당 개체수 (1.988×10^6개체수)가 산출되고 ha당 개체수에 개체당 배설물량을 곱하면 ha당 배설물량이 산출된다. 이 가운데 약 20%가 양식시설 밑으로 침적되는 것으로 가정하면 양식어업이 발달한 통영연안(양식면적-굴:2284.2 ha, 홍합:67.6 ha ; 양식건수-굴:363건, 홍합:14 건)의 경우 패류양식시설 배설물에 의한 오염부하량은 BOD, T-N, T-P가 각각 213 kg/d, 7.85kg/d, 9.17kg/d로 추정된다.

부착성 패류 양식장의 경우 통영해역에는 약 68톤/d의 배설물이 23.5km^2에 침적하고, 진해만의 경우에는 약 64톤/d의 침적물이 14.2km^2의 양식장에 침적한다. 해수 유동이 통영 · 거제 해역보다 상대적으로 미약한 진해만의 단위면적당 굴 · 홍합 양식장의 부하량이 약 1.6배 크게 나타나 진해만의 주요 오염원은 부착성 패류 양식장임을 알 수 있다. 육지에서 유입되는 오염부하량의 절대치가 크지만 해역의 단위면적에 미치는 영향은 오히려 부착성 패류 양식장이 크다. 통영연안의 경우 질소 0.33kg/km^2 · d, 인 0.39kg/km^2 · d.로 나타났다.

3.4 퇴적물의 SOD

조사지점들의 SOD 분포와 용출률은 Table 7과 같

Table 4 Guidelines for classifying sediment (mg/g)

	Parameters	Nonpolluted	Moderately Polluted	Heavily Polluted
USA	Volatile Solid	< 5%	5% ~ 8%	> 8%
	COD	< 40	40 ~80	>80
	TKN	< 1	1 ~ 2	> 2
	Phosphorus	< 0.42	0.42 ~ 0.65	> 0.65
Japan	COD	Polluted : > 20 mg/g		
	Total Sulfide	Polluted : > 0.2 mg/g		

(Giesy, J. P. and Hoke, R. A. [1990])

Table 5 Excretion amount of shellfish(Oyster, Mussel)

Culture Organism	References	Research Period (months)	Range (mg/day/ind.)	Average (mg/day/ind.)	Days of culturing
Oyster	NFRDI*([1991])	10~2	64.7~82.7	74	June~next year
	Kusuki ([1981])	6~4	42~287	110	April
	Havens etc. ([1966])	5~10	500~700	270	(334 days)
Mussel	NFRDI*([1991])	10~2	30.4~63.3	52	June~next year
	Kusuki ([1981])	-	-	68	April
	Havens etc. ([1966])	8~4	14.3~149	60	(334 days)

* : NFRDI - National Fisheries Research and Development Institute

Table 6 Estimating of shellfish farm excretion rates

Parameters	Oyster	Mussel
Excretion rate per individual	74 mg/day	52 mg/day
Long lines per rope	142 ~ 200	142
Ropes per ha	17 ~ 20	20
Bunches per line	35 ~ 40	35
Individuals per bunch	40	40
Existence percentage	50 %	50 %
Number of individual per ha	1.988×10^6	1.988×10^6
Excretion rate of culturing organism	20% of total excretion	20% of total excretion
Deposition percentage	10 ~ 30 % (average 20%)	10 ~ 30 % (average 20%)
Excretion rate per ha	147 kg/day	103 kg/day
Deposition rate per ha	29.4 kg/day	20.6 kg/day

(통영시연구단, [1998])

Table 7 Nitrogen and phosphorous release rate, and sediment oxygen demand(SOD)

Parameters / Coastal area	Nitrogen(TIN) (mg/㎡ · d)	PO_4-P (mg/㎡ · day)	SOD (mg · O_2/㎡ · d)
Masan bay	615	16.5	847
Jinhae bay	300	3.0	718
Coast of Tongyoung	135	0.9	660

다. SOD는 마산만 847 mg · O_2/㎡ · d, 진해만 718 mg · O_2/㎡ · d, 통영연안 660 mg · O_2/㎡ · d 순으로 나타났다. 진해만과 통영연안의 SOD는 양식생물과 부착생물의 배설물 및 사체 등이 저층 퇴적물에 축적되어 분해시 산소소비를 증가시키는 결과로 보여진다.

SOD 측정치와 저질 COD의 연관성을 살펴보면 저질 자체의 COD 농도가 높을 경우 저층퇴적물에서 요구되는 산소요구량 또한 높음을 알 수 있었다. 저질로부터의 질소, 인등의 영양염류 용출기작은 명확하지는 않으나, 저질내의 유기물이 미생물에 의해 분해되어 유기질소와 인이 간극수에 용해되거나, 산화 · 환원반응에 의하여 입자표면에 흡착된 질소와 인이 탈착되어 퇴적물의 간극수내에 축적되며 확산등으로 인해 상층으로 이동한다고 밝히고 있다(박 [1995]).

양식장은 다른 지점에 비해 SOD측정치나 영양물질의 용출이 높았는데 이는 양식장의 사체나 배설물과 같은 생분해성 유기물들이 저층에 퇴적되므로 저층의 기타 영양염류들의 농도를 증가시키며, 이들의 생화학적 분해시 많은 산소를 요구함에 따라 저층의 산소 고갈을 야기 시킨다. Honjo [1974]는 하계의 저층에 다량 축적된 유기물의 분해시 무산소층의 형성과 함께 퇴적물중의 인산염, 암모니아성 질소가 저층 수중으로 용출되어 나오며, 이들 영양염이 중층적조를 유발하기도 한다고 보고하였다.

3.5 해수의 질소와 인 등농도 곡선

마산만의 경우 폐쇄성이 매우 강한 해역으로서 여름과 겨울의 인산염인 농도 변화를 뚜렷하게 관찰할 수 없지만 진해만은 여름과 겨울의 농도변화가 크다. 또한 통영연안도 양식장이 산재한 해역을 중심으로 인산염인 농도의 계절적 변화가 매우 큼을 알 수 있었다(Fig. 2, 3, 4, 5). 총무기질소 농도는 마산만의 경우 인과 마찬가지로 변화가 크지 않은 반면에 진해만과 통영연안은 그 계절적 변화가 심함을 알 수 있었다.

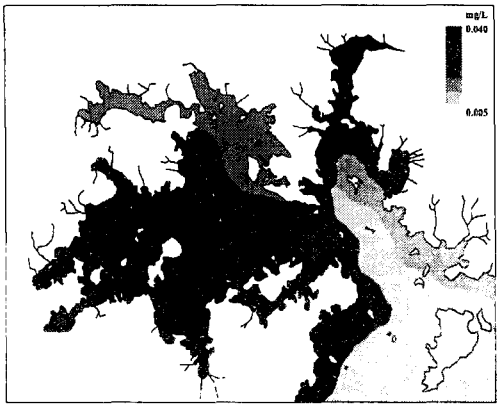

Fig. 3 Contours of Phosphorus during the summer in Masan · Jinhae bay

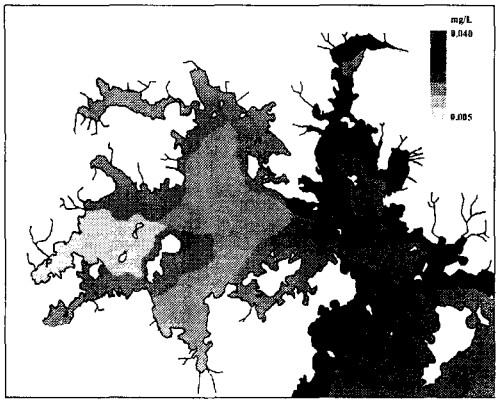

Fig. 4 Contours of Phosphorus during the winter in Masan · Jinhae bay

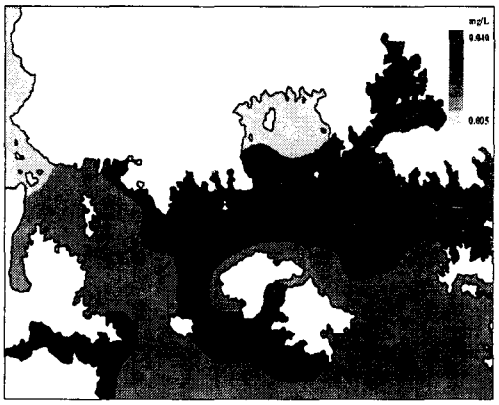

Fig. 5 Contours of Phosphorus during the summer in Coast of Tongyoung

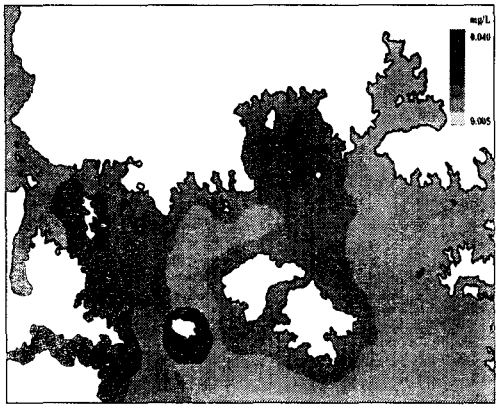

Fig. 6 Contours of Phosphorus during the winter in Coast of Tongyoung

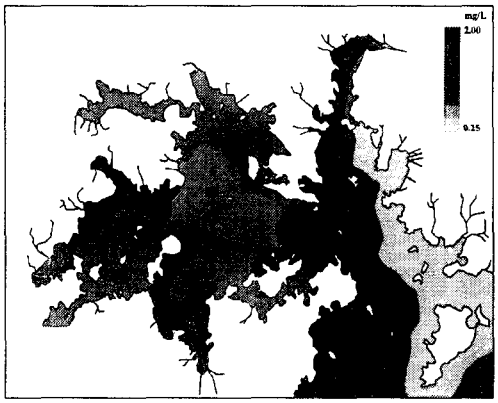

Fig. 7 Contours of Nitrogen during the summer in Masan · Jinhae bay

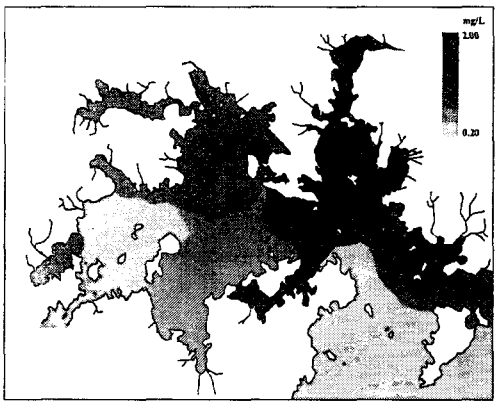

Fig. 8 Contours of Nitrogen during the winter in Masan · Jinhae bay

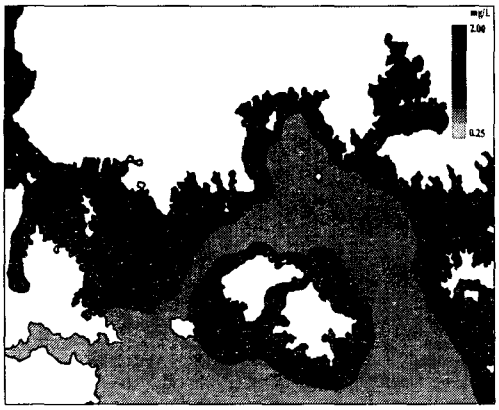

Fig. 9 Contours of Nitrogen during the summer in Coast of Tongyoung

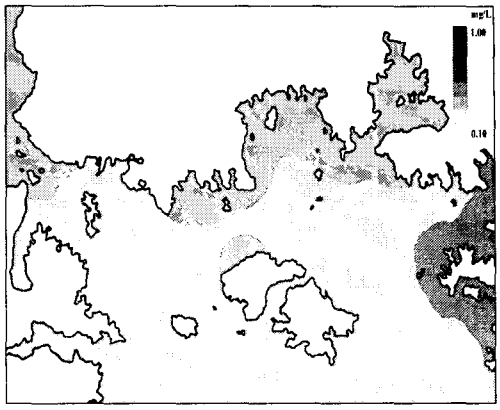

Fig. 10 Contours of Nitrogen during the winter in Coast of Tongyoung

부영양화의 주원인이 되는 영양염류의 주오염원에는 하천을 통한 유입, 퇴적물로부터의 용출, 그리고 양식장의 자가오염 등을 들 수 있다. 김 등[1995]은 진해만과 마산만에서 위의 각 오염부하를 단계적으로 40%, 60%, 80%. 100%로 저감시킬 경우 식물성 플랑크톤 생성에 미치는 영향을 보면 하천 오염부하량을 80% 저감시켰을 때 마산만 해역의 식물플랑크톤 농도가 약 50% 정도 감소되었고, 100% 저감했을 경우는 적조발생 가능농도(300mg Cell/L)이하로 감소됨을 보였으나 진해만에는 큰 영향을 주지 않았다고 보고하였다. 또한 저질의 오염부하를 단계적으로 저감할 경우 마산만에는 큰 농도변화를 보이지 않았고 진해만에는 약 20~40% 정도의 식물플랑크톤 생성을 억제하는 영향을 나타내었다고 보고하였다. 따라서 하천에 의해 영향을 받는 마산만의 경우는 해수 중 총무기질소와 인산염인의 계절별 농도 편차가 크지 않지만 양식장이 산재한 진해만, 통영연안은 양식장의 자가오염과 퇴적물로부터의 영양염류 용출로 인하여 여름이 겨울에 비하여 해수 중 총무기질소와 인산염인의 농도가 높은 것으로 생각된다.

육상기인 오염물질의 경우 오염원이 다양하여 관리 및 방지가 힘든 반면, 해상기인 오염물질은 오염원이 양식장에 편중되어 있어 양식장의 윤작과 바다갈이를 통해 밀식과 연작으로 인한 양식장의 노화를 막고 수확량의 증대를 기할 수 있다. 그러나 바다 밑의 오니를 흡입해서 외해에 투기해야 하는 바다갈이는 1ha에 700만원에 상당하는 비용이 들고, 바다갈이 기술의 부족으로 인해 저층의 오니를 뒤집어 놓아 유화수가 상승하여 굴이 모두 죽게 될 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 양식장 오니준설선의 전문기업이 생겨나고, 정부의 적극적인 지원이 뒤따라야 할 것이다.

4. 결론

1. 퇴적물을 채취한 지점의 해수중 질소와 인의 측정결과에 의하면 일반해양과 양식장 모두 영양염류의 농도가 겨울보다 여름이 높았으며 또한, 양식장의 해수 농도가 일반해양보다 영양염류 농도가 대체적으로 높게 나타났다.

2. 부착성 패류 양식장의 경우 통영해역에는 약 68톤/d의 배설물이 23.5km^{2}에 침적하고, 진해만의 경우에는 약 64톤/d의 배설물이 14.2km^{2}의 양식장에 침적하는 것으로 추산되었다. SOD는 마산만 847 mg · O_2/㎡ · d, 진해만 718 mg · O_2/㎡ · d, 통영연안 660 mg · O_2/㎡ · d 로 측정되었으며, 저질자체의 COD 농도가 높을 경우 저층 퇴적물에서 요구되는 산소요구량 또한 높음을 알 수 있었다.

3. 퇴적물의 분석결과에서 두 가지의 뚜렷한 경향을 파악 할 수 있었다. 첫째로 여름의 퇴적물 농도가 높은 경향을 보여 주었다. 특히 COD와 인의 경우는 그 경향이 뚜렷했다. 둘째로 양식장과 오염부하량이 가장 높고 수질이 가장 나쁜 마산항 및 하 · 폐수 방류해역과 비교할 때, 질소와 인의 경우 비슷한 수치를 보여주고 있다.

4. 본 연구의 결과를 종합할 때 우리나라 남해연안의 패류양식장 퇴적물은 양식장 부영양화 물질과 저산소층 수괴 형성의 주요 오염원으로 작용하고 있으며 준설에 의한 오염퇴적물 제거의 필요성을 보여 주었다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 중점연구소 지원과제인 '연안생태 시스템의 특징에 따른 적조원인 물질 부하량 제어 및 관리를 위한 지표개발'의 일부로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 국립수산진흥원, 1991, 연안 양식어장 환경용량 산정에 관한 연구, 과학기술처, 19~88
[2] 국립수산진흥원, 1993, 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구, 과학기술처, 3~156
[3] 김종구, 유선재, 박청길, 1995, "진해만 해역의 하계 부영양화 모델링", 대한환경공학회지, Vol. 17, No. 3. 215~223.
[4] 박동규, 1995, "남해연안 해양퇴적물의 저질산소요구량과 영양염류 용출", 경남대 학교 환경보호학과 석사학위논문, 33~41.
[5] 이영식, 1997, "히로시마만에 있어서 부영양화의 원인", Journal of KSEE, Vol., 19, No. 3, 379~389.
[6] 이찬원 등, 1991, 진해만 일원 오염실태 조사보고서, 환경처.
[7] 통영시연구단, 1998, 제15회 시군행정연수대회 : 경남 연안해역의 오염방지와 환경보전 종합관리방안, 통영시, 9~71.
[8] 해양수산부, 1998, 천해 양식어업 업종별 생산량 및 어업권 현황, 1997년 해양 수산통계연보.
[9] 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험방법, 해수편, 12~52.
[10] APHA · AWWA WEF, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Amer. Public Health Ass., Washington D.C., 91~115.
[11] George T. Bowman and Joseph J. Delfino. 1979, "Sediment Oxygen Demand Techniques : A Review and Comparison of Laboratory and In Situ System", Was. Res., Vol. 14, 491~499.
[12] Giesy, H. and Hoke, R. A., 1990, "Freshwater sediment quality criteria : toxicity bioassessment in sediment : chemistry and toxicity of inplace pollutants (edited by Baudo, R., Giesy, J. P. and Muntao, M.)", Lewis publishers, Ann Arbor, MI, 391.
[13] Havens, D. S. and R. Moralles-Alamo, 1996, "Aspect of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders", Limnol. Oceanorg., 11, 487~489.
[14] Honjo, T., 1974, "Studies on the mechanisms of red tide occurrence in Hakata bay. Ⅳ. Environmental conditions during the blooming season and essential factors of red tide occurrence", Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 79, 77~121.(In Japanese)
[15] Ji Rubao, Mao Xinghua and Zhu Mingyuan, 1996, "The Impact of Mariculture on The Sanggou Bay Ecosystem", Integrated Management of Semi-Enclosed Bays, 79~84.
[16] Kusuki, U., 1981, "Fundamental studies on the deterioration of oyster growing ground", Bull. Hiroshima Fish. Exp. Stn., 11, 20~72.
[17] Mitsumasa Okada, 1996, "Japanese Experience and Current Problems in Organic Pollution and Eutrophication Control in Coastal Area", Journal of KSEE, Vol., 18, No. 4, 379~389.
[18] 日本環境廳, 1998, 低質調査方法 とその解說, 日本環境測定分析協會, 1~168.
[19] 岡市友利, 1972, 內灣赤潮の發生機構. 3. 淺海の汚染と赤潮の發生. 日本 水産資源保護協會 水産研究業書 23., 58~76.