

수산자원보호구역 관리체제 구축을 위한 어장환경 예비진단

이대인* · 박달수** · 전경암** · 엄기혁** · 박종수** · 김귀영**†

*, ** 국립수산과학원 해역이용영향평가센터

Preliminary Diagnosis of Fishing Ground Environment for Establishing the Management System in Fisheries Resources Protection Area

Dae-In Lee* · Dal-Soo Park** · Kyeong-Am Jeon** · Ki-Hyuk Eom** ·

Jong-Soo Park** · Gui-Young Kim**†

*, ** Marine Environmental Impact Assessment Center, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-705, Korea

요 약 : 본 논문은 수산자원보호구역의 효과적이고 합리적인 관리방향에 대한 정책수립 지원과 체계적인 어장환경실태조사 시스템 구축을 위한 사전 진단적 연구접근으로서 수산자원보호구역에서 계절별로 장기적으로 모니터링된 국가해양환경측정망 등의 자료를 이용해서 어장환경의 실태와 변화를 분석하고 평가하였다. 어장환경은 오염이 진행되었거나 진행 중인 것으로 진단되었는데, 각 구역별로 수질과 저질 오염특성이 다소 다르게 나타나서 오염원과 이용실태 및 지형적 특성 등 제반 환경요소를 고려한 맞춤형 수질관리방안 수립이 요구되었다. 또한, 보호구역의 지정면적은 점차적으로 변화되어 왔는데, 2003년도와 처음 지정시의 면적을 비교해 볼 때, 총 면적변화는 -22.9~2.4% 범위로 완도·도암만은 약 2.4% 정도 미미한 증가를 보였지만, 전체 구역은 평균 약 6.4%가 감소하였고, 한산만이 가장 큰 비율로 감소하였다. 전체 면적 증·축역이 약 6.1%, 해역이 약 6.6%가 감소되었지만, 2008년 시·군별로 고시된 상황을 종합적으로 고려하면 지정면적의 감소는 대부분 육역인 것으로 사료되었다. 보호구역의 환경을 양호하게 유지하고 효과적인 관리정책을 수립하기 위해서는 실질적인 수질관리방안 뿐만 아니라 개발 및 이용실태 파악을 위한 조사와 데이터(정보)관리가 체계적으로 이루어지고 해역별로 종합 관리할 필요가 있을 것이다. 아울러 각종 관련 법률을 정비·보완해서 조사, 평가, 협의 등 관리방향과 관련된 요소를 일관성있고 체계적으로 정립할 필요가 있다고 판단된다.

핵심용어 : 수산자원보호구역, 어장환경, 수질과 저질, 지정면적, 개발 및 이용, 관리정책

Abstract : For preliminary diagnosis on current fishing ground environment and basic information for establishment of effective and rational management policy in fisheries resources protection area, water and sediment quality and changes of total area in the 10 marine protection areas designated for fisheries resources management in Korea were assessed. Results showed that environmental quality in these areas has been degraded by pollution sources, coastal utilization and development stress, etc. The pattern and degree of contamination differed by protection areas, suggesting that it is necessary for optimum environmental management plan considering the regional characteristics. The total designated area of protection areas in 2003 changed by -22.9~2.4%, on average -6.4%, compared with the first year of designation. Wando-Doam Bay showed the highest increase rate (2.4%), and Hansan Bay has the highest decrease rate (-22.9%). Decrease rate of land and sea in total area showed 6.1% and 6.6%. An integrated management of environmental data in protection areas is required for systematic assessment. Therefore, the suitable environmental and information management is needed specifically considering the environment characteristics such as development and utilization conditions of land and sea area. Furthermore, because urbanization and industrialization threatens the functions of the protection areas, authorized ministry (MIFAFF) should develop and establish monitoring and management procedures based on the related laws.

Key Words : Fisheries resources protection area, Fishing ground environment, Water and sediment quality, Designated area, Development and utilization, Management policy

* 대표저자 : 정희원, dilee@nfrdi.go.kr, 051-720-2961

† 교신저자 : kykim@nfrdi.go.kr, 051-720-2960

1. 서론

연안해역은 환경의 완충기능, 생태, 관광자원 및 각종 양식 활동 뿐만 아니라 수산생물의 서식, 산란 및 회유의 장소로서 매우 중요한 곳으로 환경 건강성과 생물 생산성 등을 고려해서 보전·관리지역(환경관리해역, 수산자원보호구역, 습지보호지역, 해양생태계보전지역, 해안·해양국립공원, 패류생산지정해역) 등으로 지정되어 있다(NFRDI, 2008). 한편, 국토의 이용 계획에서 자연환경보전지역은 자연경관, 수자원, 해안, 생태계 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호·육성을 위하여 필요한 지역으로 구분되어 있는데, 이 중 수산자원보호구역은 어장과 수산자원의 분포가 다양하고 생산이 활발해서 보전 가치성이 있고 지속적 관리가 요구되는 지역으로서 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제40조에 의거 농림수산식품부장관이 관계 행정기관의 장의 요청을 받아 수산자원의 보호·육성을 위하여 필요한 공유수면이나 그에 인접된 토지에 대해 지정 또는 변경을 도시관리계획으로 결정할 수 있도록 되어 있다.

수산자원보호구역의 지정 현황은 Fig. 1 및 Table 1과 같이 1975년부터 1982년 사이에 걸쳐 전국 10개 지구(진동만, 한산만, 남해·통영 I, 남해·통영 II, 가막만, 여자만, 득량만, 완도·도암만, 영광지역, 천수만)가 선정되어 있다(MIFAFF, 2008). 지정 당시 대부분의 수역은 양식어업이 보편화되지 않은 상태였고, 주변 육지부의 토지이용 또한 임야 등으로 대부분 개발 및 오염압력도 낮은 편이었다. 그러나 최근 들어 산업화, 도시화에 따른 유역내의 각종 개발사업의 증가와 밀식양식 등 고도의 연안이용행위가 증가하면서 어장환경이 과거보다 오염되었고, 어업권 면적과 생산량의 변화가 일어나는 등 수산자원 보호구역을 둘러싼 주변 환경의 여건이 많이 변화하였다. 특히, 보호구역 지정에 따른 토지이용과 생활권에 대한 규제로 이해당사자 사이의 갈등도 노출되고 있는 상황이어서 효율적이고 합리적인 관리방안 및 정책적 대안 마련 필요성이 제기되고 있다(MOMAF, 2004a; MOMAF, 2004b).

효과적인 수산자원의 보호와 관리는 지정 목적을 지향하고 효율적인 국토의 이용을 위한 정책계획 수립과 개선을 위해서는 보호구역의 환경실태와 변동요인 및 문제점을 정확히 진단하고, 이에 따른 합리적인 대책과 방안을 마련하는 것이 중요할 것이다. 현재까지 개별적인 지정해역 각각에서 환경특성과 물질거동 등에 관한 연구가 일부 진행되었으나(NFRDI, 2002), 전체적인 Top-down 관점에서 수산자원보호구역의 환경변화 규명과 관리라는 큰 정책적 테두리안에서 어장환경실태, 수산자원 변동 등 장기적이고 종합적인 조사는 평가는 매우 부족하고, 생물생산과 환경요인의 상호관계에서 잠재적 오염원이 될 수 있고, 지정 면적의 변화와 관련된 주변 이용 및 개발현황에 대한 파악은 더욱 미진한 실정이다.

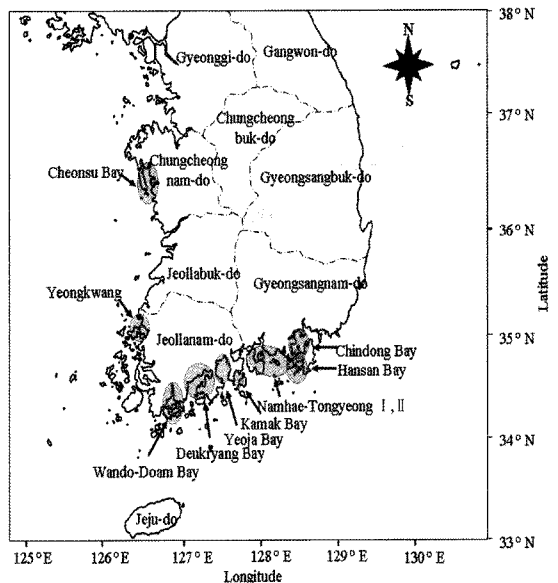


Fig. 1. Locations of fisheries resources protection areas in the Korean coastal area.

Table 1. Designated area, year, and seawater quality criteria of fisheries resources protection areas in the Korean coastal area

Name of region	Designation year	Designated seawater quality criteria
Chindong (CD)	1975.03.21	Criteria II
Hansan (HS)	1975.03.21	Criteria I, II
Namhae-Tongyeong I (NT I)	1975.03.21	Criteria I, II
Namhae-Tongyeong II (NT II)	1982.01.08	Criteria I, II
Kamak (KM)	1982.01.08	Criteria I
Yeoja (YJ)	1982.01.08	Criteria I
Deukryang (DR)	1982.01.08	Criteria I
Wando-Doam (WD)	1982.01.08	Criteria I
Yeongkwang (YK)	1981.01.08	Criteria I
Cheonsu (CS)	1978.11.22	Criteria I

또한, 수산자원보호구역의 최적관리방안 도출을 위해서는 전반적인 현황점검 및 지자체별로 관리되어 온 관련 데이터를 종합 분석해서 체계적으로 관리할 수 있는 정책시스템 구축이 선행되어야 할 것이다. 따라서 본 논문은 효과적이고 합리적인 수산자원보호구역의 관리방향에 대한 정책수립 지원과 체계적인 보호구역 어장환경실태조사 시스템 구축을 위한 사전 진단적 연구접근으로서 수산자원보호구역에서 계절별로 장기적으로 모니터링된 국가해양환경측정망 등의 자료를 이용해서 어장환경의 실태와 변화를 분석하고 평가하였다.

2. 평가자료 및 방법

수산자원보호구역의 환경현황과 변화정도를 정확하게 진단·평가하기 위해서는 시·공간적 조사오차와 분석기관의 신뢰성에서 유발될 수 있는 한계를 최소화하는 것이 중요할 것이다. 이러한 배경하에서 본 논문에서는 각 수산자원보호구역에 조사지점을 포함하고 있고 계절별로 장기적으로 모니터링하고 있는 국립수산물품질관리원의 국가해양환경측정망자료(NFRDI, 2009)를 바탕으로 대표적인 수질환경기준인자로 고려되는 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 총 질소(TN), 용존무기질소(DIN), 총 인(TP), 용존무기인(DIP), 부유물질(SS)과 엽록소(Chl-*a*) 등의 시계열 평균과 경년변화를 분석하였고, 퇴적물의 오염지시자인 COD와 황화수소의 분석자료를 평가하였다. 또한, 평가된 보호구역의 환경특성을 다른 해역과 상호·비교하였고, 각종 부영양화지수와 오염지수를 평가해서 환경상태를 예비 진단하였다. 특히, 기 조사보고서 및 관련 고시자료 등(MIFAFF, 2008; MOMAF, 2004a; MOMAF, 2004b)을 참조해서 보호구역과 관련된 지형면적 변화 및 이용실태 등을 조사하여 향후 수산자원보호구역 관리방향 수립 및 종합적인 어장환경관리시스템 구축에 대한 기초적인 자료와 정책제언을 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질환경 현황 평가 및 변화 분석

수산자원보호구역 해역별 최근 5년(2003-2007년) 층별 평균 수질을 비교·평가한 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 보호구역의 해역별 수질환경기준은 Table 1에서 보는 바와 같이 「환경정책기본법」상 대부분 I 등급으로 지정되어 있지만, 오염이 상대적으로 많이 진행된 진해만내의 진동만은 II등급, 그리고 한산만, 남해·통영 I, II지구는 지역에 따라 I 등급과 II등급으로 구분 설정되어 있다.

COD는 0.97~2.15 mg/L 범위로 거의 모든 해역에서 수질환경기준 I 등급(1 mg/L 이하)을 초과하였고, 표층이 저층보다 다소 높게 나타났다. 특히 진동만은 표층이 2.15 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었고, 완도·도암만은 약 1 mg/L 전후로 가

장 낮은 값을 보였다. 남해·통영 I 과 여자만의 표층 및 영광구역의 저층에서는 1.6~1.8 mg/L 범위로 진동만보다는 낮았지만 그 외 다른 구역보다는 다소 높은 것으로 분석되었다. 용존산소는 7.6~9.6 mg/L 범위로 표층이 저층보다 높았고, 진동만이 표·저층 간에 차이가 가장 컸다. 년 평균 값으로 볼 때는 저층 빈산소수와 형성여부(JFRCA, 1972)를 파악할 수 없으므로 하계의 자료분석이 필요하나, 기 연구내용(Kim et al., 2006; Lee et al., 2008b)을 보면 진동만과 가막만 지역은 하계에 빈산소수위가 잘 형성되는 것으로 알려져 있다.

용존무기질소는 0.075~0.215 mg/L 범위로 영광구역에서 가장 높았고, 진동만, 천수만, 완도·도암만과 한산만에서도 상대적으로 높게 나타났는데 적조발생 가능농도인 0.1 mg/L(JFRCA, 1972)를 초과하였고, 그 외 지역은 이러한 기준보다 다소 낮았다. 총 질소는 0.399~0.643 mg/L 범위로 영광구역(수질환경기준 III)을 제외하고는 모두 수질환경기준 II등급의 상태를 나타내었다. 용존무기인은 0.01~0.03 mg/L 범위로 남해·통영 I, II지역과 한산만 및 진동만에서 높았고, 여자만, 득량만과 가막만 등에서 다소 낮았지만 대부분 적조발생 가능농도인 0.015 mg/L(JFRCA, 1972)와 유사하거나 상회하는 수준을 보였다. 총 인은 0.042~0.136 mg/L 범위로 영광구역에서 매우 높은 농도를 보였고, 전반적인 수질기준은 II, III등급을 나타내었다. 또한, 이러한 영양염류는 표층보다 저층에서 높은 분포를 보였다.

부유물질은 4.7~56.9 mg/L 범위로 영광구역에서 50 mg/L 이상으로 다른 지역보다 매우 높게 나타났는데, 식물플랑크톤의 현존량을 나타내는 Chl-*a*의 양은 상대적으로 낮게 나타나서 이러한 부유물질은 부유토사 등 무기물질 성분이 많은 것으로 평가되었다. 여자만, 천수만, 완도·도암만, 득량만과 가막만 등에서는 10 mg/L 이상을 보였다. Chl-*a*는 1.7~8.5 μ g/L 범위로 천수만, 여자만, 진동만의 표층 순으로 높은 양상을 나타내었다. 이러한 환경요인 중에서 무기질소와 무기인의 비율인 Redfield ratio는 모두 16이하로 나타나서 수산자원보호구역에서는 질소가 제한인자로 평가되었는데(Redfield et al., 1963), 특히 남해·통영 I, II는 그 비가 약 4이하로 나타났고, 영광구역, 완도·도암만, 천수만, 여자만 등에서는 약 8~10 범위로 상대적으로 높게 분석되어서 서해와 남해 중서부쪽이 남해 동부쪽보다 그 비가 크게 평가되었다(Fig. 3).

한편, 수산자원보호구역의 평균 수질현황을 인천연안, 광양만, 부산연안, 영일만, 고흥연안 등 다른 해역과 비교·평가한 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 시화호와 마산만의 COD가 각각 4.3과 2.9 mg/L로 수산자원보호구역 중에서 가장 높은 값을 보인 진동만보다 매우 높게 평가되었으며, 영일만과 고흥연안이 약 1 mg/L 전후로 완도·도암만과 유사한 상태를 나타내었다. Chl-*a* 또한 시화호와 마산만에서 약 14 μ g/L를 나타내어 적조발생가능농도 10 μ g/L(JFRCA, 1972) 이상의 매우 부영양화된 상태를 보였고, 그 외 지역은 약 2~5 μ g/L 범위로 천수만, 여자만과 진동만에 비해서는 낮았지만, 다른 지역과는 유사한 분포를 나타내었다.

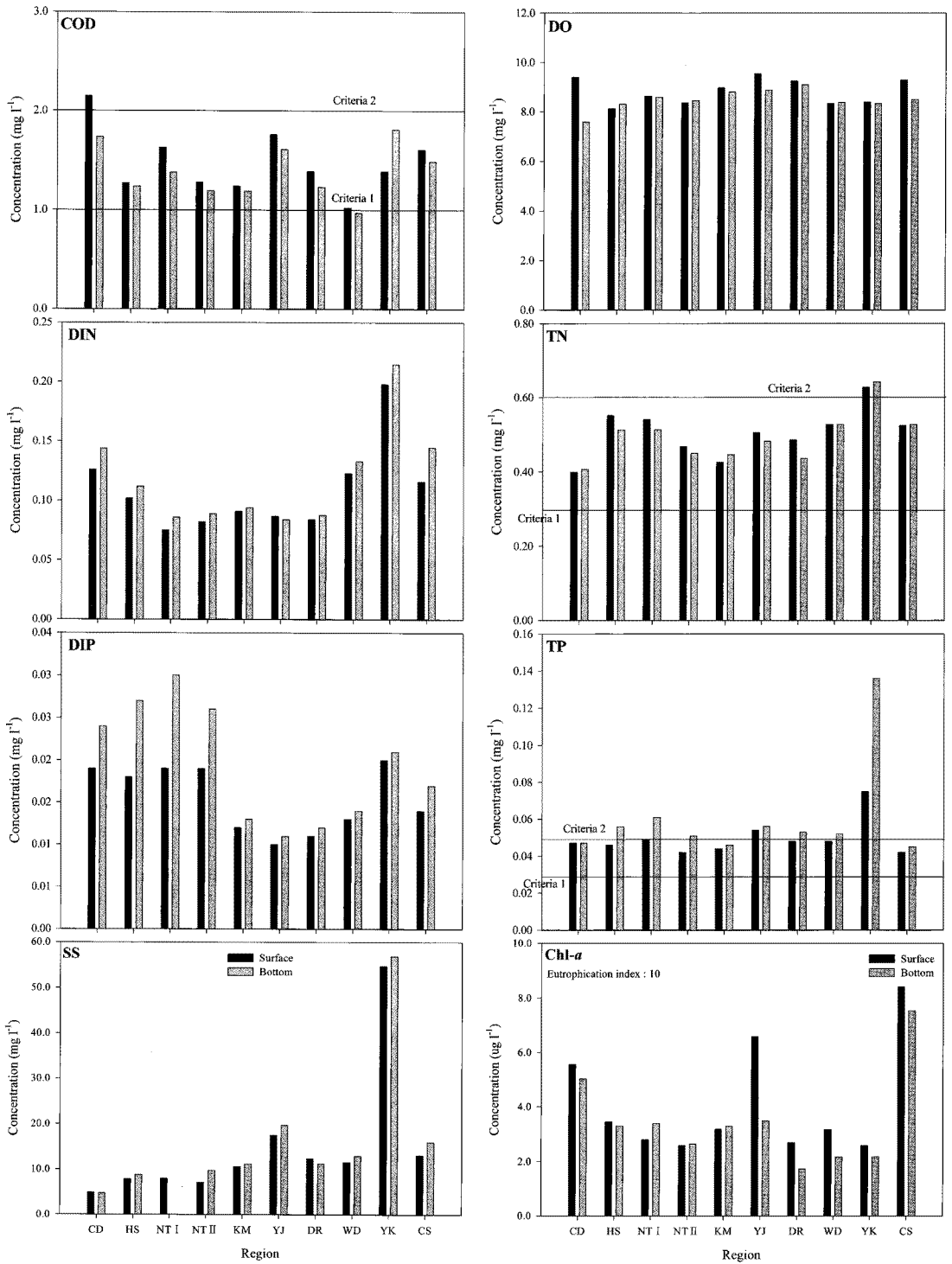


Fig. 2. Mean values of seawater quality parameters in fishery resources protection areas for 5 years (2003-2007).

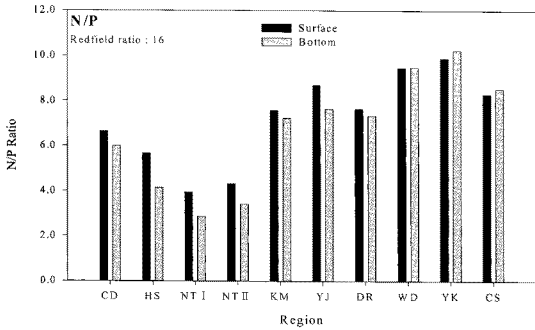


Fig. 3. Estimation of N/P ratios in seawater of fisheries resources protection areas.

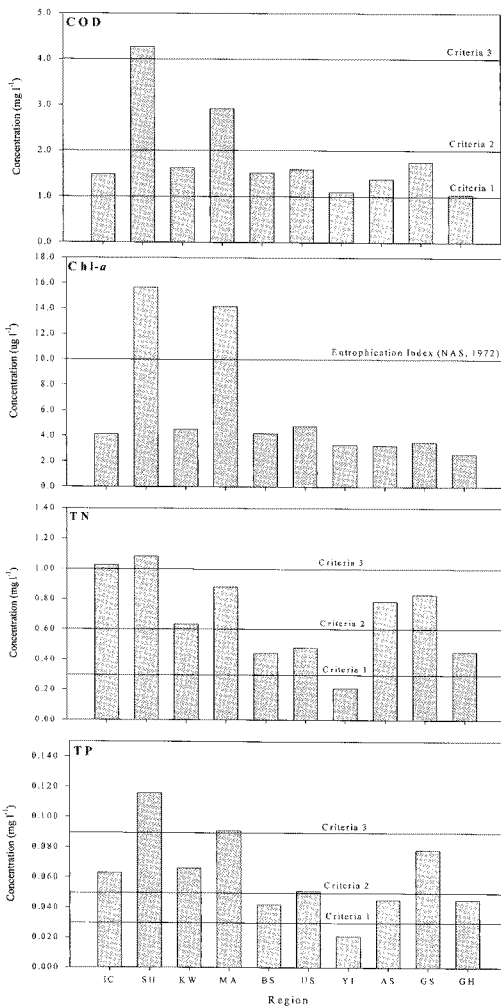


Fig. 4. Mean values of seawater quality parameters in major coastal areas for 5 years (2003-2007).

IC, Incheon; SH, Shihwa lake; KW, Kwangyang; MA, Masan; BS, Busan; US, Ulsan; YI, Youngil; AS, Asan; GS, Gunsan; GH, Goheung.

총 질소는 시화호, 인천연안, 마산만, 군산연안과 아산만이 수산자원보호구역 중 가장 높은 농도를 나타낸 영광구역 보다 높은 III등급의 수질을 나타내었고, 총 인 또한 시화호, 마산만, 군산연안, 광양만과 인천연안에서 대체적으로 수산자원 보호구역보다 높았으며 영일만은 오히려 낮게 평가되었다.

종합적으로 살펴보면, 수산자원보호구역 중에서 진동만이 유기오염지표인 COD가 높고, 무기영양염류와 Chl-a가 다소 높게 나타나서 가장 큰 오염상태로 진단되었고, 영광구역에서는 총 질소와 총 인 및 SS가 가장 높았으며, 천수만과 여자만에서는 Chl-a가 상대적으로 높게 나타난 특성을 보였다. 상대적으로 남해·통영 I, II지구에서 오염도가 낮았지만, 대부분 구역이 다소의 변동은 있지만 설정된 수질환경기준을 초과하는 것으로 평가되었다. 이러한 수산자원보호구역의 수질환경은 오염이 심화된 시화호, 마산만, 군산연안 등에 비하면 오염도가 낮았지만, 과거에 비해 수질이 다소 저해된 것으로 평가되었고, 각 구역별로 수질오염특성이 다소 다르게 나타나서 오염원과 이용실태 및 지형적 특성 등이 다름을 반영하였고, 이에 따라서 향후 환경특성을 고려한 맞춤형 수질 관리방안 수립이 요구되는 것으로 검토되었다.

해역별 평균 표층 수질의 최근 10년 경년 변동추이(1998년~2007년)를 평가한 결과를 Fig. 5에 제시하였다. COD는 계절별로는 하계에 증가하고 추계와 동계에 감소하는 패턴을 보였고, 하계에는 진동만, 천수만과 여자만의 농도가 컸다. 진동만은 2006년 8월에 최대 5 mg/L 이상 증가하였다. 총 40회 분석결과, 해역수질기준 I등급인 1 mg/L 이하가 나타난 횟수는 완도·도암만이 21회로 가장 많았으며, 진동만은 나타나지 않았다. 남해·통영II, 천수만, 영광과 가막만이 13회~10회 범위였고, 나머지 구역은 6회~8회의 범위로 대부분 추계와 동계로 분석되었다. 농도 3 mg/L 이상 나타난 횟수는 진동만, 천수만과 여자만이 3회였으며, 남해·통영 I 과 영광지역이 1회로 나타났다. 특히, 천수만, 여자만과 영광지역은 1 mg/L 이하가 나타난 시기도 많아서 수질변동 폭이 큰 것으로 평가되었다. 시계열로는 대부분 구역에서 뚜렷한 증감추세를 나타내지 않았지만, 가막만과 득량만에서는 과거보다 수질이 감소하는 경향을 나타내었다.

Chl-a도 8월에 가장 높은 값을 보였는데, 진동만은 과거에는 가장 큰 분포를 보였고, 2005년과 2006년에는 천수만이 그리고 2007년에는 여자만에서 8월에 매우 높은 농도를 보인 것으로 분석되었다. 분석대상 32회 중 적조발생 가능농도 10 µg/L 이상을 보인 횟수는 진동만과 천수만이 각각 6회와 4회로 가장 많았고, 여자만이 2회 그리고 남해·통영 I, 가막만, 완도·도암만과 영광지역이 1회로 나타났다. 최근 들어 천수만은 하계에 16~64 µg/L 범위로 매우 높은 농도를 보이는 것이 특징이었다. 시계열로는 진동만이 과거에 비해 다소 감소하는 경향을 보였지만, 가막만, 여자만, 득량만과 천수만은 점차 증가하는 양상을 보였고, 다른 구역은 과거에 비해 큰 폭의 변동양상을 보이면서 미미한 증가경향을 보이는 것으로 평가되었다.

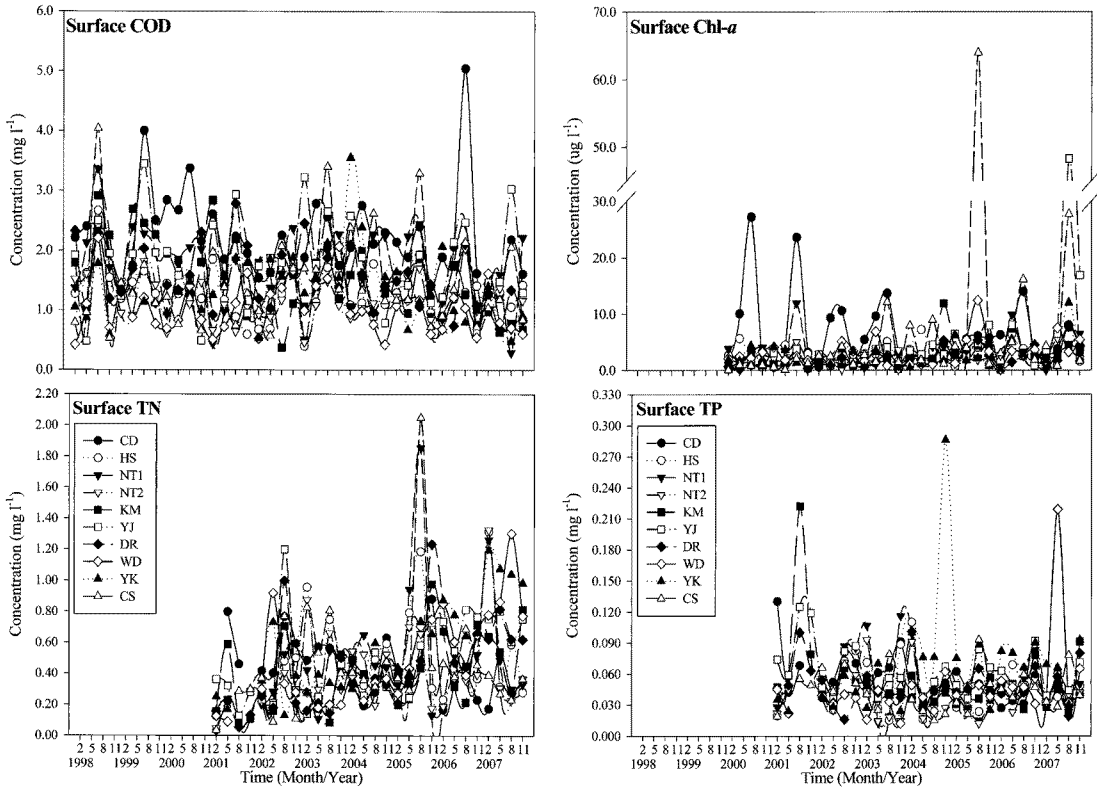


Fig. 5. Seasonal variation of seawater quality parameters in fisheries resources protection areas for 10 years(1998-2007).

총 질소는 28회 분석 중 1.0 mg/L 이상 보인 횟수는 영광 지역이 3회로 가장 많았고, 한산만과 남해·통영 I 이 2회였으며, 남해·통영II, 여자만, 득량만, 완도·도암만과 천수만이 1회로 나타났으며, 0.3 mg/L 이하가 나타난 횟수는 가막만, 득량만, 완도·도암만과 남해·통영II 가 13회~10회였으며, 천수만, 한산만, 진동만과 남해·통영 I 이 8회~6회 범위였다. 지역별로 다소 변동 폭이 있지만 대부분 8월에 증가하는 양상을 보였고, 2005년 8월에 천수만에서 2 mg/L 이상의 peak는 이 시기의 Chl-a의 증가와 연관이 되는 것으로 추측되었다. 시계열별로는 Chl-a와 유사하게 진동만은 다소 감소하였지만, 다른 구역은 뚜렷한 증가추세를 나타낸 것이 특징이었다. 총 인은 28회 분석 중 0.09 mg/L 이상 보인 횟수는 영광지역이 4회로 가장 많았고, 여자만과 남해·통영 I 이 3회였으며, 진동만, 남해·통영II, 가막만과 득량만이 2회로 나타났으며, 0.03 mg/L 이하가 나타난 횟수는 남해·통영II가 12회로 가장 많았으며, 한산만, 남해·통영 I 과 천수만이 8회~7회 범위였고, 여자만은 전무하였다. 대부분 8월에 증가하는 양상을 나타내었다. 시계열별로는 총 질소와 같이 뚜렷한 추세를 나타내지 않았지만, 한산만, 완도·도암만과 영광 지역 등에서 과거보다 변동 폭이 커지면서 미미하게 증가하는 양상을 보였다.

3.2 각 구역에 설정된 수질환경기준과의 편차 정도 비교

수산자원보호구역에 설정된 해역별 수질환경기준(Table 1)과의 편차 정도를 Fig. 6에 제시하였다. 년 평균값과 수질이 가장 악화될 수 있는 하계 평균값을 이용해서 상호 비교하였다. COD는 한산만의 년 평균과 남해·통영II 지역을 제외하고는 모든 구역에서 환경기준을 초과하였고, 특히 년 평균보다 하계시 그 편차가 더욱 크게 나타나는 것으로 평가되었다. 구역별로는 년 평균 값으로 볼 때는 완도·도암만, 여자만, 가막만, 득량만과 천수만이 컸으며, 하계 수치로 볼 때는 천수만, 여자만과 진동만이 큰 것으로 나타났고, 한산만, 남해·통영지역과 영광지역 등에서는 수질관리에 따라 환경기준 회복정도가 좀 더 쉬울 것으로 분석되었다. 총 질소는 진동만에서 설정기준 이하로 나타나서 오염이 심한 특성과 설정기준에 비해 상대적으로 영양염류 농도가 낮게 평가되어서 수질기준 적용에 대한 세밀한 검토가 필요한 것으로 나타났고, 남해·통영II와 가막만의 하계시에도 기준보다 낮게 나타났지만, 그 외 모든 지역 특히, 천수만, 영광지역, 완도·도암만 등에서는 그 편차가 크게 나타났다.

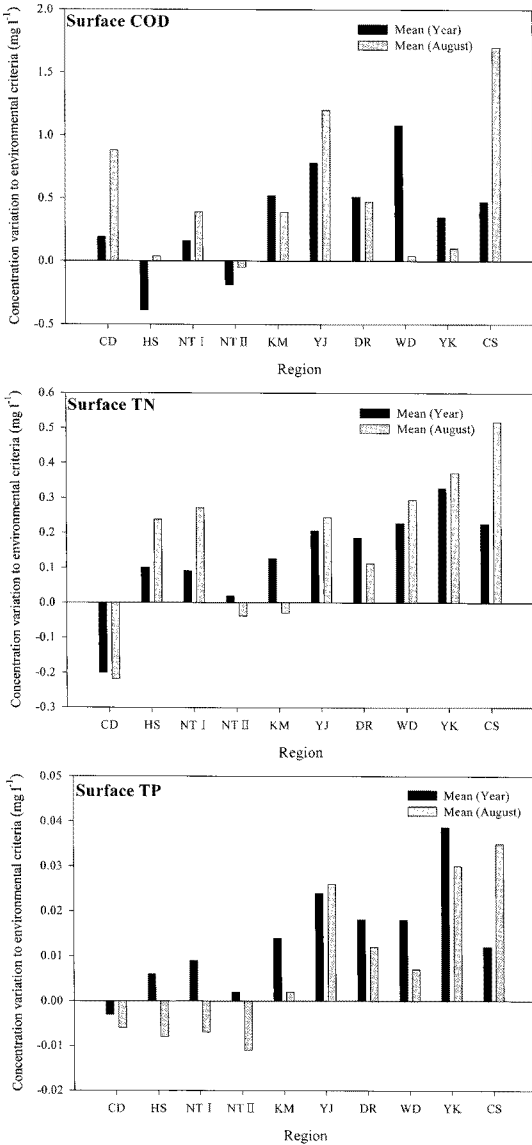


Fig. 6. The deviation value of observed mean value with designated seawater quality criteria in surface layer of fisheries resources protection areas.

총 인도 진동만에서는 설정기준보다 낮게 나타났고, 한산만과 남해·통영지구의 하계에도 설정기준보다 낮게 나타났다. 질소와 마ган자로 천수만, 영광지역과 여자만에서 편차가 높게 평가되었다. 이러한 영양염류농도가 기준보다 낮게 나타난 곳은 여러 가지 원인을 있겠지만, 식물플랑크톤 증식과의 관계와 그 해역특성에 비해 영양염류 기준이 높게 설정되어 있는 등을 고찰할 필요가 있다. 즉, 일괄적인 해양환경 목표기준 적용시 항목별로 기준과의 편차가 다를 수 있으므로 해역수질관리시 수질항목 목표기준을 차등적으로 또는 구

체적인 농도범위로 설정해서 접근하는 것이 효율적이라 판단되었고, 향후 이러한 점을 종합적으로 개선 검토할 필요가 있다고 사료되었다.

3.3 부영양화 및 오염지수 평가

상기의 수산자원보호구역별로 분석된 최근 5년 평균 수질 항목자료를 이용해서 부영양화 및 오염지수(Nemerow, 1991; Okaichi, 1985; Vollenweider and Kerekes, 1982) 평가한 결과를 Table 2에 나타내었다. 단일 수질항목에 의한 평가는 그 항목에 대한 정량적인 오염과 환경기준과의 관계를 개략적으로 구별할 수 있으나, 개개의 항목에 대한 판정 결과가 서로 다르게 나타날 수 있어서 복수의 항목을 이용해서 단위와 환경기준에 대한 표준화를 통한 지수의 적용이 유용한 수단이 될 수 있다.

즉, 복수의 항목을 이용한 표준화 지수는 부영양화와 오염을 판단하는데 유용한 수단이다. 단일항목에 의한 평가 중 Vollenweider and Kerekes(1982)의 Chl-*a*에 의거하면 중영양 단계는 3.0~11 $\mu\text{g/L}$, 부영양단계는 2.7~78 $\mu\text{g/L}$ 범위이므로 우리나라 수산자원보호구역은 중영양-부영양수준이고, 천수만, 여자만과 진동만의 정도가 심하며, 특히 하계는 부영양화 정도가 증가하는 것으로 평가되었다. 복수의 수질항목을 이용한 평가에서 그 결과 값이 1이상이면 부영양화 또는 그 해역에 적용된 수이용 목적과 환경기준을 초과한 상태를 의미하므로 수질관리를 통한 수질회복방안을 강구해야 할 것이다. Okaichi(1985)의 산정방법((COD (mg/L) × DIN ($\mu\text{g-at/L}$) × DIP ($\mu\text{g-at/L}$)/3.43))에 의한 결과에서도 진동만, 남해·통영II, 영광지역과 천수만은 부영양화 단계를 초과했고, 다른 지역은 계절에 따라 부영양화에 근접한 것으로 나타났다.

한편, 우리나라 해역 수질환경기준 요소인 COD, TN과 TP를 종합적으로 이용해서 Nemerow(1991)와 Kim(2001)의 오염지수 산정방법에 의거하면($PI_i = \sqrt{1/2} \sqrt{\max.(Ci/Lij)^2 + \text{mean}(Ci/Lij)^2}$), 해역 수질환경기준 I 등급 적용시 지수가 1을 초과해서 전 해역에서 이 등급을 만족하지 않았고, 하계에는 좀 더 오염이 심화되는 것으로 나타났다. 만약 환경기준을 II등급으로 적용한다면, 년 평균 측면에서는 진동만과 여자만 및 영광지역이 다소 기준을 초과하고, 대부분 이 기준에 근접한 것으로 나타났지만, 하계에는 남해·통영II, 가막만, 득량만과 완도·도암만을 제외하고는 대부분 지역이 이러한 기준도 초과하는 것으로 평가되었다. 2000년 이후 각 구역에서의 오염지수 변화추이는 Fig. 7과 같이 다소의 변동을 보이지만 진동만을 제외하고는 대체적으로 서서히 증가하는 경향을 보이는 것으로 평가되었다. 따라서, 수산자원보호구역의 오염과 부영양정도가 해역마다 다소 차이이지만 대부분 오염되었거나 진행 중인 것으로 분석되었다.

Table 2. The estimation results of eutrophication and pollution index in surface layer of fisheries resources protection areas for 5 years (2003-2007)

Region	Vollenweider and Kerekes (1982)		Okaichi (1985)		Nemerow (1991)	
	OECD eutrophication index		Eutrophication index		Pollution index based on criteria I	
	Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)		A function of COD, DIN, and DIP		A function of COD, TN, and TP	
	Mean (year)	Mean (August)	Mean (year)	Mean (August)	Mean (year)	Mean (August)
CD	5.5	8.3	3.5	4.9	1.9 (1.0) ^a	2.4 (1.2) ^a
HS	3.5	4.8	1.6	0.8	1.7 (0.9) ^a	2.0 (1.0) ^a
NT I	2.8	3	1.6	0.6	1.7 (0.9) ^a	2.1 (1.1) ^a
NT II	2.6	3	1.3	2.5	1.5 (0.8) ^a	1.4 (0.7) ^a
KM	3.2	3.1	0.9	0.3	1.4 (0.8) ^a	1.3 (0.6) ^a
YJ	6.6	12.82	1.0	1.1	1.8 (1.0) ^a	2.1 (1.1) ^a
DR	2.7	3.9	0.9	0.5	1.6 (0.9) ^a	1.4 (0.8) ^a
WD	3.2	4.1	1.1	0.7	1.6 (0.9) ^a	1.7 (0.9) ^a
YK	2.6	4.2	3.7	2.8	2.3 (1.3) ^a	2.0 (1.1) ^a
CS	8.5	25.76	1.8	2.4	1.7 (0.9) ^a	2.6 (1.3) ^a

()^a : pollution index based on criteria II

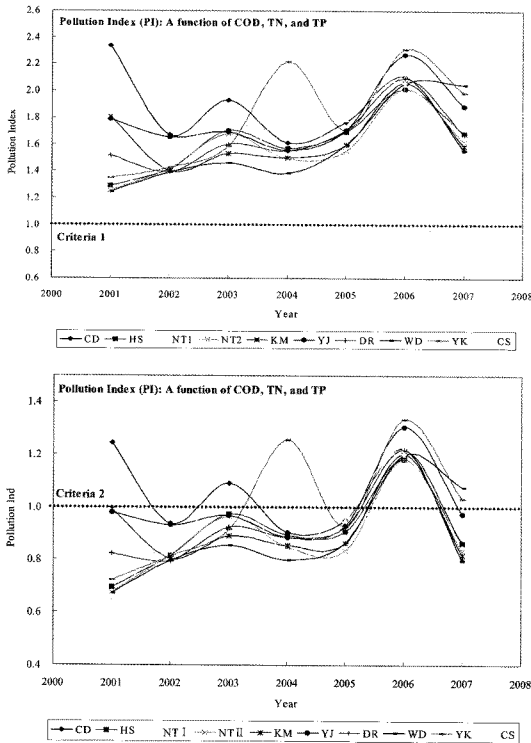


Fig. 7. The annual variation of Pollution Index (PI) in fisheries resources protection areas.

3.4 퇴적물환경 현황 평가 및 변화 분석

수산자원보호구역별 퇴적물 오염정도를 평가하고 다른 해역과 비교하기 위해 2000~2005년의 화학적산소요구량 및 산화발성황화물(AVS) 함량에 대한 년 평균 값과 경년변동 범

위를 Fig. 8에 나타내었다. 퇴적물에 대한 환경기준은 국내의 경우 아직까지 설정되어 있지 않지만, 일본의 수산환경수질기준(JFRCA, 1972)에 의하면, 오염퇴적물의 판정기준으로 화학적산소요구량 20 mg/g · dry, 산화발성황화물 0.2 mg/g · dry 으로 설정하고 있으며, 우리나라의 경우 양식장 적지기준으로 이러한 값을 채택하고 있다.

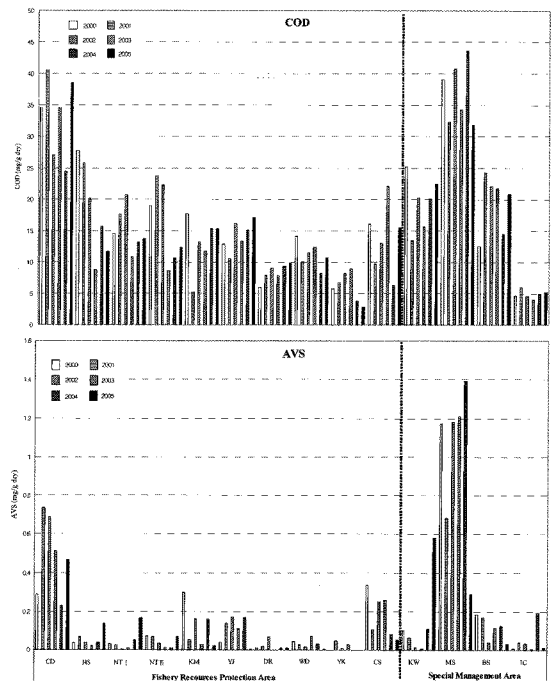


Fig. 8. Distribution of COD and AVS in coastal sediment of fisheries resources protection areas. KW, Kwangyang; MS, Masan; BS, Busan; IC, Incheon.

만, 천수만, 한산만과 영평구역이 각각 18.3, 18.1과 15.7%로 가장 큰 비율로 감소하였다. 전체 지정면적은 처음 지정시 한산만과 완도·도암만이 각각 약 712.4 km²와 644.4 km²로 가장 컸으며, 2003년도 기준으로도 동 구역이 가장 큰 것으로 나타났다. 해면은 처음 지정시에 한산만이 약 421.7 km²로 가장 컸으며, 2003년도는 남해·통영II가 약 386.2 km²로 가장 크게 평가되었다.

앞서 언급한 바와 같이, 이러한 면적변화 평가는 2003년도 자료 기준으로 처음 지정시와 비교·평가한 내용으로 전체적인 변화경향을 일부 파악할 수 있지만, 지정 이후 세밀한 시간적 변동상황과 지정면적의 변화가 크다고 예상되는 2004년 이후의 현황파악에는 한계가 있다. 현재 이러한 수산자원보호구역의 해역별 면적변화 등에 관한 분석은 많은 어려움을 내포하고 있는데, 기초자료(관리부 등)에서 불명확한 부분이 많고 체계적인 관리가 미비하다고 사료되어 기본적으로 이에 대한 개선이 필요하였다. 이러한 면적변화 파악은 수산자원보호구역의 관리와 정책방향 수립에 매우 중요한 요소이므로 더욱 세밀한 분석과 평가가 수반되어야 할 것이고, 나아가서 어장면적변화 추이, 어업권과 생산량 등 어장이용률을 세부적으로 조사해서 전체적인 어장이용실태를 파악할 필요가 있다고 사료되었다.

2) 관리방향과 정책제언

전술한 바와 같이, 보호구역의 환경을 양호하게 유지하고 효과적으로 관리하는 방안을 수립하기 위해서는 유역의 오염원 파악에 의한 세밀한 수질관리가 필요하고, 육상의 개발 및 해면의 이용실태파악이 중요하다. 이를 위해서는 조사와 데이터관리가 체계적으로 이루어지고 해역별로 종합 관리할 필요가 있을 것이다. 특히, 대부분 수산자원보호구역은 농어촌지역에 위치하여 점오염원에 의한 영양염류 삭감은 물론 강우시기 등 비점오염원에 대한 대책이 절실히 요구되는 실정이다. 또한, 보호구역내 또는 인근에 조선관련 산업단지가 조성되거나 계획되어 있고, 골프장 건설과 준설 등 유해물질 유입과 해역에 영향을 줄 수 있는 많은 이용행위가 지속적으로 계획되어 있어 체계적인 관리와 영향예방 방안이 절실히 요구되는 상황이다. 또한, 대부분의 수산자원보호구역이 환경관리해역과 중첩되는 점을 감안한다면, 수산자원보호구역에 대해 환경보전해역 환경개선계획 등과 연계하여 실효성 있는 관리계획을 수립·추진해야 할 것이다.

미국은 해양보호구역을 주요특성별(보존대상, 보호수준, 범위 등)로 유형화하여 관리하고 있고, 호주는 수산자원보호구역과 기타 보호구역과 중복될 수 없도록 하였지만, 인접하는 배후지역의 수계를 관리하는 등 육상오염원 관리를 체계적으로 하고 있으며, 캐나다는 지역사회 중심으로 예상되는 갈등을 최소화하는 실천프로그램을 실행하고 있는 점을 감안하여 보호구역의 지정과 조정시 현상파악을 통한 이해당사자들의 의견을 충분히 수렴하고, 관리시는 배후수계의 철저한 오염원 관리와 주기적인 실태조사를 면밀하게 이행하는 한편, 영

향을 줄 수 있는 이용행위와 개발계획시는 주무부처의 주도적인 평가 검토체제가 구축되어야 할 것으로 판단되었다(Lee et al., 2008a).

본 논문에서는 보호구역의 해양환경현황을 사전 진단 평가하기 위해서 국가해양환경측정망 자료를 이용했는데, 계절별로 모니터링된 10년 이상의 장기적인 데이터 분석을 통해 계절변화와 오염특성 등 유용한 정보를 도출할 수 있고, 10개 지구 전체의 상호 특성을 비교할 수 있었다. 그러나 각 구역별로 평가된 조사정점이 2~6개 범위여서 만 자체의 세부적인 공간변동 등을 해석하는 데에는 제한이 있을 수 있고, 또한 세밀한 시간변동 특성을 평가하는데 한계가 있을 수 있으므로 향후 본 연구에서 진단한 결과를 바탕으로 좀 더 종합적이고 집중적인 조사가 이루어져야 할 것이다. 즉, 상시모니터링 시스템은 현재와 같이 수행하고 종합 모니터링에는 수산자원, 해양환경(중금속, 유해물질), 부유생물, 저서생태계 등 종합적인 조사가 필요하다.

최근 개정된 수산법령(2008년 7월)에 의하면, 수산자원보호구역의 관리를 위하여 관할 관리관청에서는 토지와 공유수면에 대해 매년 1회 이상 이용실태를 조사하도록 되어 있고, 보호구역내에서 시행할 수 있는 도시계획사업 및 관리관청의 허가를 받아 할 수 있는 행위와 허가기준 등을 규정하고 있어서 이에 대한 철저한 이행과 데이터 관리 및 분석이 필요하다. 수산자원보호구역내 환경관리를 위해서는 단순한 수질조사나 유역내 각종 행위제한과 같은 소극적인 관리방식을 탈피해서 수저질 조사항목 외에 생태계 전반(식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서동물, 어란·자치어 등 생물학적 항목)에 대한 항목을 추가해야 함은 물론 우선적으로 서식생물자원의 분포와 변동, 서식처내 생물들의 먹이망 파악 등 과학적인 실태를 파악하는 것이 시급하다고 판단된다. 수산자원보호구역의 효율적인 관리를 위해서는 각종 관련 법률(수산법, 어장관리법, 수산자원관리법, 해양환경관리법 등)을 정비·보완해서 조사, 평가, 협의 등 관리 전반에 대한 세부사항을 일관성있고 체계적으로 수립할 필요가 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 논문은 효과적이고 합리적인 수산자원보호구역의 관리방향에 대한 정책수립 지원과 체계적인 어장환경실태조사 시스템 구축을 위한 사전 진단적 연구접근으로서 수산자원보호구역에서 계절별로 장기적으로 모니터링된 국가해양환경측정망 등의 자료를 이용해서 어장환경의 실태와 변화 및 각 보호구역의 면적변화를 분석하고 평가하였다. 어장환경은 오염이 진행되었거나 진행 중인 것으로 평가되었는데, 각 구역별로 수질오염특성이 다소 다르게 나타나서 오염원과 이용실태 및 지형적 특성 등을 고려한 맞춤형 수질관리방안 수립이 요구되었다. 또한, 보호구역의 지정면적은 점차적으로 변화되어

왔는데, 2003년도와 처음 지정시의 면적을 비교해 볼 때, 총 면적변화는 -22.9~2.4% 범위로 완도·도암만은 약 2.4% 미미한 증가를 보였지만, 전체 구역은 평균 약 6.4%가 감소하였고, 한산만이 가장 큰 비율로 감소하였다. 전체 면적 중 육역이 약 6.1%, 해역이 약 6.6%가 감소되었지만, 2008년 시·군별 고시된 상황을 고려하면 지정면적의 감소는 대부분 육역인 것으로 사료되었다. 보호구역의 환경을 양호하게 유지하고 효과적인 관리방안을 수립하기 위해서는 실질적인 수질 관리 뿐만 아니라 개발 및 해면의 이용실태 파악을 위한 조사와 데이터관리가 체계적으로 이루어지고 해역별로 종합 관리할 필요가 있을 것이고, 또한, 각종 관련 법률(수산업법, 어장관리법, 수산자원관리법, 해양환경관리법 등)을 세밀하게 정비·보완해야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(RP-2009-ME-026)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] JFRCA (Japan Fisheries Resources Conservation Association)(1972), Water quality criteria of fisheries environment, JFRCA, pp. 1-24.

[2] Kim, J.B., S.Y. Lee, J. Yu, Y.H. Choi, C.S. Jung and P.Y. Lee(2006), The characteristics of oxygen deficient water mass in Gamak Bay, J. Kor. Soc. Mar. Environ. Eng., 9, pp. 216-224.

[3] Kim, K.S.(2001), Seasonal variation of marine water quality and eutrophication index in Mokpo harbour, J. Kor. Soc. Mar. Environ. Eng., 4, pp. 3-15.

[4] Lee, D. I., K. H. Eom and G. Y. Kim(2008a), Improvement of the consultation systems governing fishery resource management in the development of coastal areas, J. Kor. Fish. Soc., 41, pp. 399-404.

[5] Lee, I.C., Y.J. Oh and H.T. Kim(2008b), Annual variation in oxygen-deficient water mass in Jinhae Bay, Korea, J. Kor. Fish. Soc., 41, pp. 134-139.

[6] MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry & Fisheries)(2008), The Geographical map of fishery resources protected zone(Sea area and adjacent land). The notification of the Ministry for Food, Agriculture, Forestry & Fisheries, Article 2008-146.

[7] MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries) (2004a), A study on the adjustment of fishery resources protection zone (I), MOMAF report, pp. 1-429.

[8] MOMAF(Ministry of Maritime Affairs & Fisheries) (2004b), A study on the adjustment of fishery resources protected zone (II), MOMAF report, pp. 1-436.

[9] Nemerow, N.L.(1991), Stream, lake, estuary and ocean pollution, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 271-286.

[10] NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute)(1988), A comprehensive study for assessment of environment on the fisheries resources conservation area, NFRDI technical report, 75, pp. 1-285.

[11] NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute)(2002), Report on environmental assessment of coastal aquaculture grounds, NFRDI, 11-1520635-000010-14, pp. 1-401.

[12] NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute)(2008), Annual monitoring report of Korean marine environment 2007, NFRDI report, 12, pp. 1-408.

[13] NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute)(2009), The monitoring data of national marine environment, Retrieved from <http://portal.nfrdi.re.kr/envirodata> on March 11.

[14] Okaichi, T(1985), The cause of red-tide in neritic water, JFRCA, pp. 58-75.

[15] Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards(1963), The influence of organisms on the composition of sea water, In: The Sea, Vol 2, M.H. Hill, ed. Wiley, New York, pp. 26-77.

[16] Vollenweider, R. A. and J. J. Kerekes(1982), Eutrophication of waters, Monitoring, Assessment and Control, OECD, Paris. pp. 301-315.

원고접수일 : 2009년 04월 22일

원고수정일 : 2009년 05월 22일 (1차)

: 2009년 06월 16일 (2차)

게재확정일 : 2009년 06월 25일