한국환경과학회지 제11권(제4호), 297~308, 2002
J. of the Environmental Sciences

육상 양식장 인접해역의 해양학적 환경특성

조 규 대 · 이 충 일 · 김 동 선* · 양 윤 정**
부경대학교 해양학과 · *부경대학교 해양산업개발연구소 · **부경대학교 교육대학원 지구과학전공
(2002년 1월 4일 접수; 2002년 4월 15일 채택)

Oceanographic Environment Characteristics in Waters Adjacent to Fish Farm on Land

Kyu-Dae Cho, Chung-Il Lee, Dong-Sun Kim* and Yoon-Jung Yang**
Dept. of Oceanography, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea
**Research Center for Ocean Industrial and Development, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea*
***Earth Science, Graduate School of Education, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea*
(Manuscript received 4 January, 2002; accepted 15 April, 2002)

Field observations for research of oceanographic characteristics in waters adjacent to fish farm on land and water quality at area where water is supplied to fish farm and area where water is discharged from fish farm are carried out in coastal waters of Pyoson located in the southeastern region of Jeju Island in March, May, August and November of 2000. Semidiurnal tides to the northeast and southwest dominate. The mean velocities of current around neap tides and spring tides are 8.52cm · s^{-1}, 28.63cm · s^{-1}, respectively. The difference of temperature between area where water is supplied to fish farm and area where water is discharged from fish farm is about 0.6℃. Seasonal variation range for temperature and salinity is 13.5℃ and 3.5psu, individually.

Concentrations of nitrate(NO_3^-), phosphate(PO_4^{3-}), silicate(SiO_2) and COD(chemical oxygen demand) are high in autumn. Particularly, concentrations of nitrate and COD in winter and spring at station where water is supplied to fish farm are higher than these at station where water is dischared from fish farm. However, concentration of phosphate and silicate at station where is supplied to fish farm in spring, summer and autumn is higher than that at station where water is dischared from fish farm. Water quality in the study area is grade 1 and this level is kept up in the whole year.

Key words : fish farm, semidiurnal tides, water quality, Pyoson

1. 서 론

연안역은 육상환경과 접해 있어서 육상기원 물질의 유입과 기상 조건 등에 따라서 그 해황이나 해양환경특성이 변하며, 계절 변화가 비교적 뚜렷하게 나타난다. 이러한 연안역의 수질은 현대 사회의 급속한 산업발전에 따른 공장폐수나 생활하수의 유입으로 인한 부영양화와 오염생물의 대량번식 등으로 인하여 악화되고 있다. 또한, 연안이나 내만 해역에서는 수산생물의 장기간에 걸친 양식에 따른 어장의 자가 오염으로 인한 노화현상이 겹쳐서 미세조류의 대량발생 즉 적조의 출현과 같은 이상 현상이 일어나고, 그 규모도 매년 확산되는 경향이 두드러지고 있다. 더욱이, 최근에는 유해, 유독종의 적조생물의 대량발생으로 인한 어패류의 대량폐사 등으로 수산양식업은 물론이고 이로 인한 수산식품 위생상에도 큰 문제점이 제시되고 있다. 육상 양식장의 경우에는 주변 해역의 해양환경이 양식 생물의 성장 및 생존에 치명적인 영향을 끼치게 된다. 이와 같이 연안 및 육상의 양식장의 양식어류를 비롯한 유용한 수산 자원 생물의 대량폐사로 인하여 수산업계에 커다란 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 양식장 주변의 해양환경의 실태와 그 특성을 파악

Corresponding Author : Kyu-Dae Cho, Dept. of Oceanography, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea
Phone : +82-51-620-6211
E-mail : kdcho@pknu.ac.kr

하는 것이 무엇보다도 중요하며, 해역의 효율적인 이용과 관리가 절실히 요구되고 있는 곳이기도 하다.

양식장이 많이 분포해 있는 남해안의 경우 크고 작은 섬과 반도, 만, 곶이 많으며, 해안선의 드나듦이 복잡한 리아스식해안으로 어패류의 산란장 및 생육장으로서 주요한 역할을 한다.[1] 이와 같은 장점이 있는 반면, 이러한 지형학적인 특성으로 인해 외해수와의 물질 수송 및 교환이 원활하지 못할 가능성 또한 배제할 수가 없다. 서해안의 경우는, 수심이 얕고, 조류가 강하며 그리고 조석간만의 차이가 큰 것 등과 같은 수리학적 특성을 보인다. 이러한 특성은 서해안의 내 · 외해역 간에 활발한 해수 교환을 촉진할 뿐만 아니라 주요 수질 인자가 계절에 따라 다양한 분포 특성을 유지하는 요인으로 작용한다.[2]

본 연구대상 해역은 제주도의 남동쪽 해안에 위치하고 있는 표선 연안역으로서, 수산 양식 등 어업활동이 활발하게 이루어지고 있는 곳이다. 그러나 제주도의 경우 우리 나라 남해안과는 달리 연안의 굴곡이 적으며, 또한 해안선이 단조로운 구조로 되어 있어 해수의 유동이 원활하여 외해수와의 교환이 원활하게 이루어지는 곳이다.[3] 연안역의 해양환경은 영양염부하와 같은 인위적인 환경과 이류, 확산, 수온, 염분, 바람 등과 같은 기상 · 해양구조의 변동과 관련한 다양한 요인에 의해서 영향을 받게 된다. 따라서 이에 대한 충분한 기초 자료 조사가 요구된다. 그러나 현재까지는 양식장 인접 해역과 대조구해역에 대한 조사가 집중적으로 이루어지거나, 양식장 취수구와 배수구를 중심으로한 해양환경 조사는 미흡한 실정이다.

특히, 어류 양식업에서 수조내의 수온은 어류의 성장율에 매우 큰 영향을 미친다. 이와 같은 이유로 우리 나라의 양어장의 경우, 겨울철에 수온을 양식어종의 적수온으로 상승시켜 양어 수조에 공급시키는 방식을 취하고 있다. 이와 같은 적정수온을 유지시키는 방법은 인건비 및 사료비와 더불어 양식어의 원가 상승에 주원인이 되고 있다. 따라서 연료비의 절감을 위해 현재의 시스템에 적용할 수 있는 새로운 형태의 고효율 폐열회수 열교환기 개발이 진행되고 있다. 이를 위해서는 먼저 양식장 주변 해역 및 양식장으로 취수구와 배수구역을 중심으로 한 해양환경 조사가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 육상 수조식 양식장 인접해역의 해양학적 특성 파악과 아울러 연안 해역으로부터 양식장에 공급되는 취수구 해역과 양식장에서 해양으로 배출되는 배수구의 수질 상태를 파악하여 양식생물의 생산력 증대에 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 자료

육상 수조식 양식장 인접해역의 해양환경 특성을 조사하기 위해 2000년 동계(3월11일~12일), 춘계(5월10일~11일), 하계(8월 19일~20일) 그리고 추계(11월 23일~24일)에 해양관측을 실시하였다(Fig. 1). 동계(3월) 관측이후 춘계, 하계 그리고 추계에는 취수구(정점 A) 오른쪽 해역에 3개의 정점을 추가하여 조사하였다.

해양관측은 물리적(해류 및 CTD관측) · 화학적 해양환경 인자(영양염, COD(Chemical Oxygen Demand)) 측정을 중심으로 이루어졌다. 해류관측은 RCM9(Aanderaa, Norway)을 이용하여 대조기와 소조기 무렵에 양식장 취수구가 위치한 정점 A의 수심 5m에서 10분간격으로 25시간동안 실시되었다. CTD(conductivity, temperature, depth, Seabird 19)

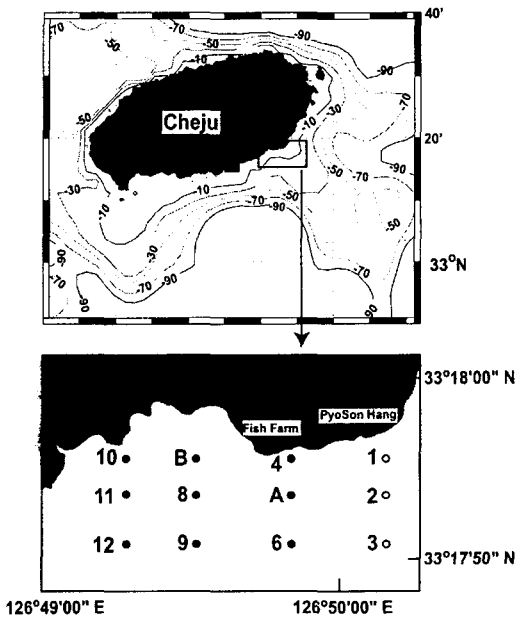

Fig. 1. study area, Numerals in upper figure indicate depth.
■ : tide station and meteorological station of Sogwipo
• : observation stations in March of 2000
◦ : added observation stations in May, August and November of 2000
A : area where water is supplied into fish farm
B : area where water is discharged form fish farm

를 이용하여 수심별 수온(℃), 염분(psu)을 측정하였다. 그리고 영양염(질산염(nitrate, NO_3^-), 인산염(phosphate, PO_4^{3-}), 규산염(silicate, SiO_2)) 및 COD (chemical oxygen demand)분석을 위해 각 정점별로 500㎖를 채수하여, Strickland and Parsons (1972)[4]의 비색법으로 측정하였다. 연구해역과 우리나라 주요 연안별 수질 특성을 비교하기 위해 1999년도 해양수산부 국립수산진흥원에서 조사한 COD와 인산염, 질산염 자료를 사용하였다.

2.2. 방법

육상 양식장 주변 해역의 물리적·화학적 해양환경 인자의 변동 특성을 보기 위해 다음과 같은 방법을 이용하였다.

육상 양식장 주변 해역의 해류의 흐름을 파악하기 위해 대·소조기 무렵에 25시간 관측된 자료를 이용하여 해류의 속도와 방향을 나타내는 stick vector diagram을 나타내었다. 양식장으로 해수가 유입되는 취수구에 인접한 정점 A와 양식장에서 해양으로 유출되는 배수구에 인접한 정점 B에서 수온, 염분의 계절 변화를 비교하였다.

그리고 취수구와 배수구가 위치한 수심 5m를 기준으로 수온, 염분 그리고 질산염, 인산염, 규산염과 같은 영양염과 COD의 계절별 수평 분포도를 작성하였다. 그리고 1999년도 해양수산부 국립수산진흥원에서 조사한 해양환경 자료를 이용하여 우리나라의 전국 연안역과 본 관측이 실시된 양식장 주변 해역의 해양환경조사 결과를 비교하였다.

3. 결 과

3.1. 해류 및 CTD 관측결과

육상 수조식 양식장 인접해역의 해양학적 특성파악과 아울러 취수구와 배수구의 수질 상태를 조사 규명하기 위하여 양식장이 위치한 연안역에서 3월, 5월, 8월 그리고 11월에 해양관측을 실시하였다(Fig. 1).

Fig. 2는 양식장의 남서쪽(Fig. 1)에 위치한 서귀포 측후소에서 측정한 3월, 5월, 8월 그리고 11월달의 기온(℃) 및 강수량(mm)의 일별 자료를 나타낸 것이다. 최고 기온은 8월달 28℃였으며, 최저기온은 3월달의 4℃로서, 계절변동폭은 24℃였다. 11월달을 제외한 3월, 5월, 8월달은 해양환경조사시에 강우가 기록되었다.

Fig. 3은 육상 양식장으로 해수가 유입되는 취수구에 인접한 정점 A에서 3월, 5월, 8월 그리고 11월달에 25시간 동안 10분 간격으로 측정한 해류의 유향 유속을 보여준다. 연안역에서 해류의 흐름은 조류의 영향을 크게 받는다. 따라서 해수 유동의 변화가 큰 대조기와 소조기 무렵을 이용하여 해류 측정을 하였다. 소조기 무렵인 3월과 5월과 그리고 대조기 무렵인 8월과 11월의 관측 결과를 보면 북동-남서 향류의 반일주조 흐름이 뚜렷하게 나타났다. 연구해역 인접한 서귀포 검조소 기준의 소조기는 3월 13일, 5월 11일이었으며, 대조기는 8월 11일, 11월 26일 이었다. 대조기와 소조기무렵의 유속을 비교하여 보면, 소조기때의 평균 유속은 8.52cm/sec이며, 최대 유속은 16.62cm/sec 그리고 최저 유속은 0.2cm/sec 였다. 반면 대조기 무렵의 평균 유속은 28.63cm/sec, 최대 유속은 72.85cm/sec 그리고 최저 유속은 0.98cm/sec였다. 대조기 무렵과 소조기 무렵 때의 평균 유속의 차이는 약 20cm/sec의 차이를 보였다.

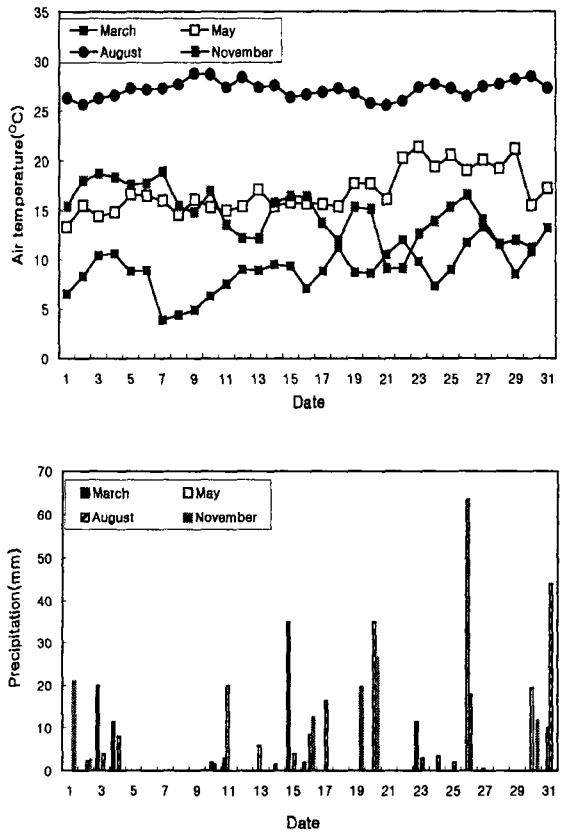

Fig. 2. Variation of air temperature(top) and precipitation (bottom) at Seguipo adjacent to study area in March, May, August and November of 2000. (Observation periods : 11th-12th in March, 10th-11th in May, 19th-20th in August and 23-24th in November).

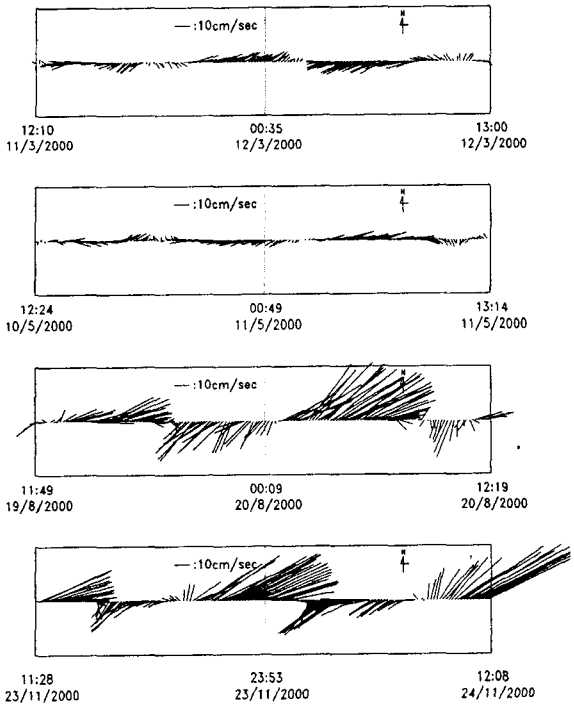

Fig. 3. Stick vector diagram of current measured at St. A in Mach May, August and November of 2000.

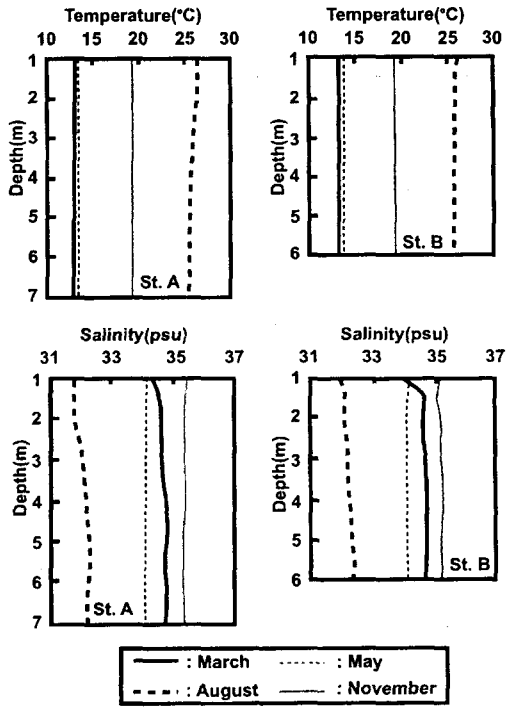

Fig. 4. Vertical distribution of temperature, salinity at St. A and St. B in March, May, August and November of 2000.

Fig. 4는 취수구(정점 A)와 배수구(정점 B)가 위치한 정점에서 3월, 5월, 8월, 11월 관측 시기별 수온과 염분의 연직분포도를 나타낸 것이다. 취수구와 배수구에서 수온의 연직 분포를 보면, 연직 방향으로는 거의 균일한 상태를 보이면서, 계절적으로는 차이를 보이고 있다. 즉 하계(8월), 추계(11월), 춘계(5월) 그리고 동계(3월) 순으로 높게 나타났다. 이것은 대기로부터 해양으로 유입되는 태양복사에너지의 계절변화와도 관련이 깊다. 그리고 양식장으로 해수가 유입되는 취수구와 양식장을 순환하여 유출되는 배수구가 위치한 곳의 연직 평균 수온의 차이는 Table 1에 나타내었다. 취수구와 배수구에서 연직 평균 수온의 변동폭은 각각 13.13℃와 12.47℃였다.

염분 농도의 연직 분포를 특성을 보면, 수온의 경우처럼 전 수층에서 거의 균일한 분포를 보여준다.

염분 농도는 생물의 체액과 체외의 환경수 사이의 삼투압조절에 영향을 끼치게 된다. 염분의 연직분포를 보면 수온의 경우와는 달리 추계(11월), 동계(3월), 춘계(5월) 그리고 하계(8월) 순으로 높게 나타났다. 염분 농도의 계절변동 폭은 3.5psu로 추계에 농도가 가장 높은 35psu, 하계에 가장 낮은 31.5psu를 보였다.

Table 1. The vertical mean temperature of St. A and St. B

Month	March		May		August		November	
Station	St. A	St. B	St. A	St. B	St. A	St. B	St. A	St. B
Mean temperature(℃)	13.22	13.32	13.76	13.89	26.35	25.79	19.41	19.23

Fig. 5(a)는 3월(위)과 5월(아래)의 수온과 염분의 수평 분포도를 나타낸 것이다. 3월달 수온의 수평분포 범위는 13.3~13.5℃이며, 염분은 34.8psu로 수평적으로 거의 균일하였다. 5월달의 경우 수온은 약 0.3℃정도 상승하였으나, 염분은 0.7psu정도 낮아졌다. 그러나 공간적으로는 그 차이가 작게 나타났다. Fig. 5(b)는 8월(하계)과 11월(추계)의 수온과 염분의 수평 분포도를 나타낸다. 수온은 25.9~26℃의 분포를 보이며, 염분은 약 32.2psu로서 수평적으로 거의 균일하였다. 하계의 경우 동계와 춘계보다 수온은 12.5℃ 정도 상승하였으며, 염분은 2.0~2.8psu 정도 낮게 나타났다. 11월(추계)의 경우 수온은

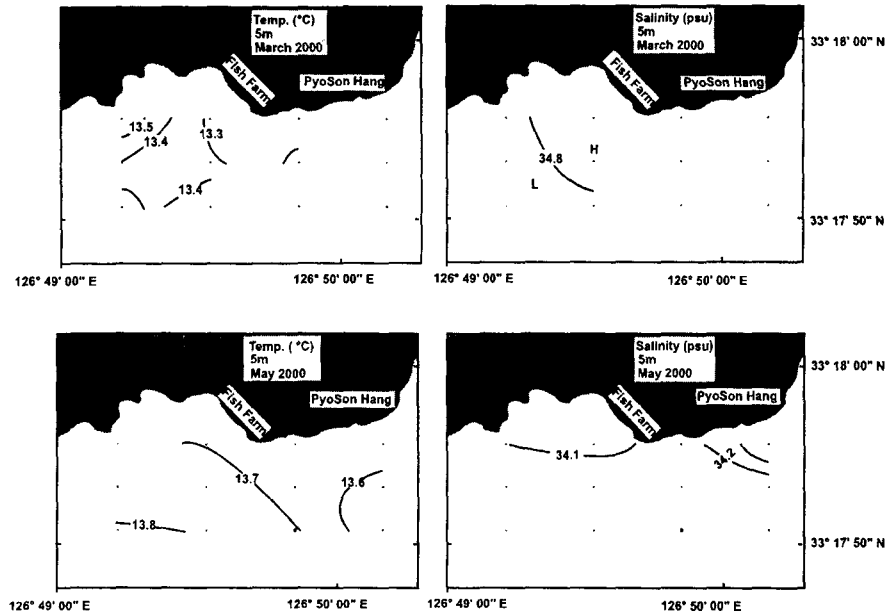

Fig. 5(a). Horizontal distribution of temperature and salinity at a depth of 5m in March(top) and May(bottom) in 2000.

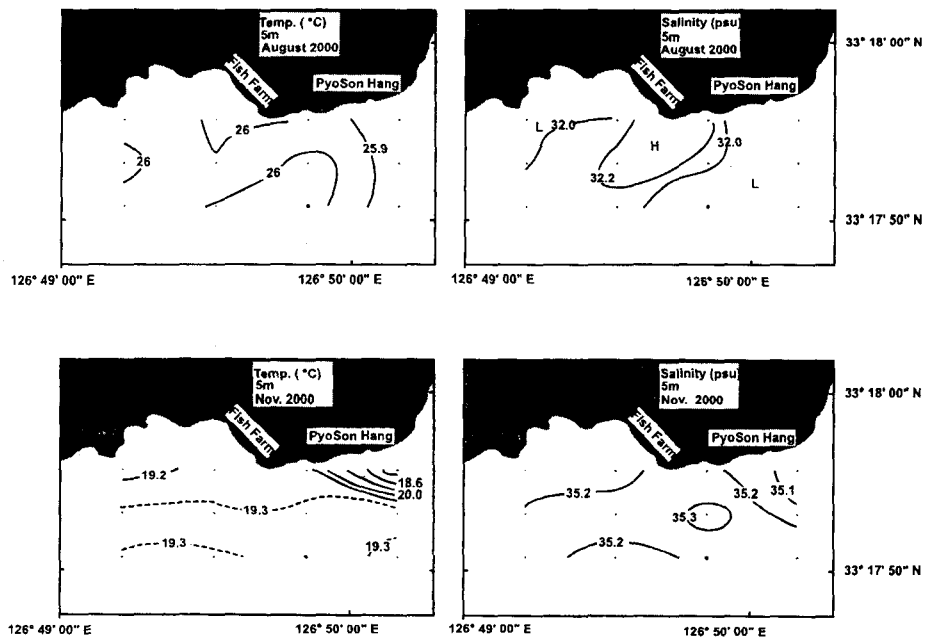

Fig. 5(b). Horizontal distribution of temperature and salinity at a depth of 5m in August(top) and November(bottom) in 2000.

18.6~20℃의 분포를 보였으며, 염분 농도는 35.1~35.3psu의 범위를 나타내었다. 8월보다 수온은 6℃ 정도 낮아졌으며, 염분 농도는 3psu정도 높아졌다. 그리고 정점 1을 중심으로 상대적으로 저온, 저염수가 분포하였다. Fig. 5(a)와 (b)에서 나타난 수온, 염분의 수평분포 특성을 보면, 공간적인 값의 차이는 작게 나타난 반면, 계절 변동은 수온이 12.5℃이고 염분의 계절 변동치는 3psu 정도 였다.

3.2. 화학적 해양환경 인자의 측정 결과

해양의 어장환경에 크게 영향을 미치는 화학적 요인중에는 질산염(nitrate, NO_3^-), 인산염(phosphate, PO_4^{3-}), 규산염(silicate, SiO_2) 등과 같은 영양염류가 있다. 해수 중에 용존되어 있는 질산염, 인산염, 규산염과 같은 영양염류는 해양에서 기초생산자인 식물플랑크톤과 해조류가 광합성을 하는 데 없어서는 안되는 중요한 물질이다.

Fig. 6은 2000년 3월달 질산염, 인산염, 규산염등의 영양염류와 COD의 수평분포를 나타낸 것이다. 해양에서 규산염은 규조의 증식에, 질산염과 인산염은 편모조류의 증식에 제한 인자로 작용한다. 그리고 COD는 해수중 산소를 소모하는 유기물질의 양을 나타내는 지표로서 사용된다.

3월달 질산염(6.0~7.0μg-at./l), 인산염(0.29~0.3μg-at./l) 그리고 규산염(7.0~8.5μg-at./l) 농도의 수평분포를 보면 배수구역이 취수구역보다 질산염은 1.0 μg-at./l , 인산염은 0.02μg-at./l , 규산염은 1.5μg-at./l 정도 높게 나타난 반면 COD(0.1~0.3㎖/l)는 취수구가 배수구 보다 0.1㎖/l 정도 높게 나타났다.

Fig. 7은 5월달 영양염과 COD의 수평농도 분포를 나타낸 것이다. 질산염, 인산염, 규산염 그리고 COD농도의 수평분포 범위는 각각 0.2~0.9μg-at./l , 0.3~0.8μg-at./l, 2.0~3.5μg-at./l 그리고 0.6~1.0㎖/l 였다. 3월달 보다 질산염과 규산염은 각각 6.0μg-at./l, 5.0μg-at./l 정도 낮아졌으며 인산염과 COD농도는 각각 0.5μg-at./l, 0.7㎖/l 정도 높아졌다. 그리고 배수구의 질산염과 규산염 농도는 각각 2.3μg-at./l 정도 취수구보다 높은 반면 인산염과 COD는 취수구의 농도가 0.12μg-at./l, 0.3㎖/l 정도 높게 나타났다.

Fig. 8은 8월달 영양염과 COD농도의 수평 분포도이다. 질산염, 인산염, 규산염 그리고 COD농도의 수평분포 범위는 각각 5~10μg-at./l, 0.28~031μg-at./l, 6~12μg-at./l 그리고 0.2~0.6㎖/l 였다. 취수구의 질산염, 인산염 그리고 규산염의 농도가 배수구보다 10.5μg-at./l, 0.01μg-at./l, 3.5μg-at./l 정도 높은 반면 COD는 배수구에서의 농도가 0.09㎖/l 정도 높게 나타났다.

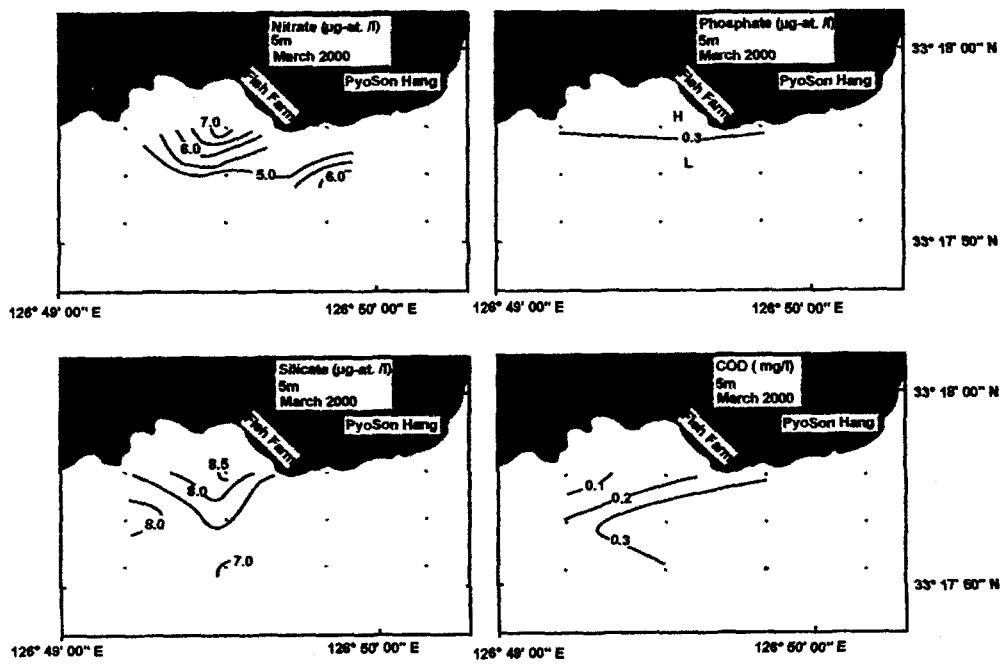

Fig. 6. Horizontal distribution of nitrate(NO_3^-), phosphate(PO_4^{3-}), silicate(SiO_2) and COD at a depth of 5m in March of 2000.

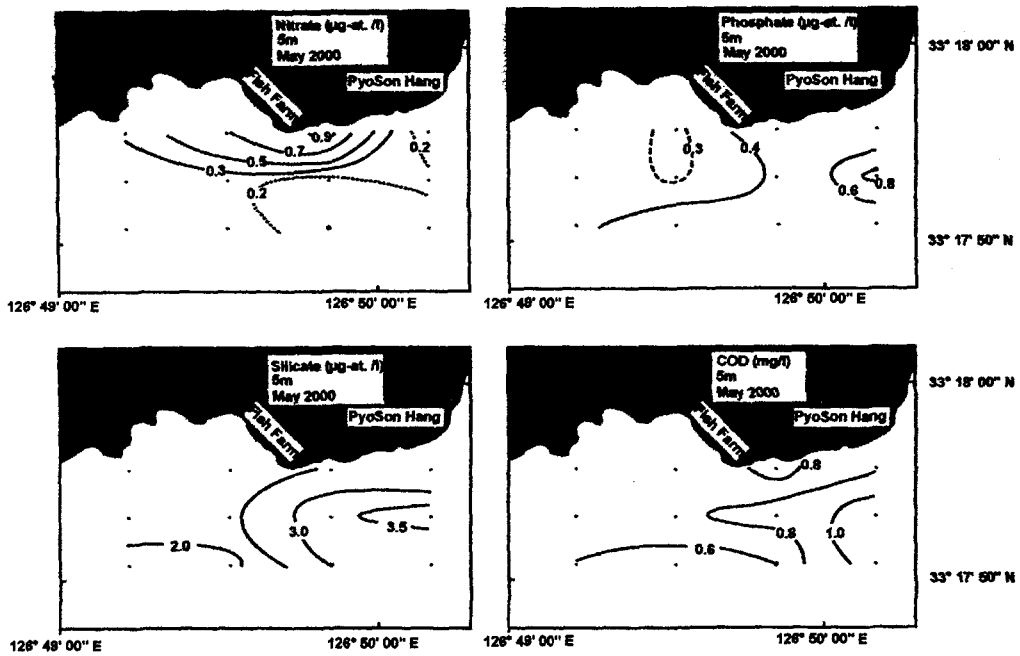

Fig. 7. Horizontal distribution of nitrate(NO_3^-), phosphate(PO_4^{3-}), silicate(SiO_2) and COD at a depth of 5m in May of 2000.

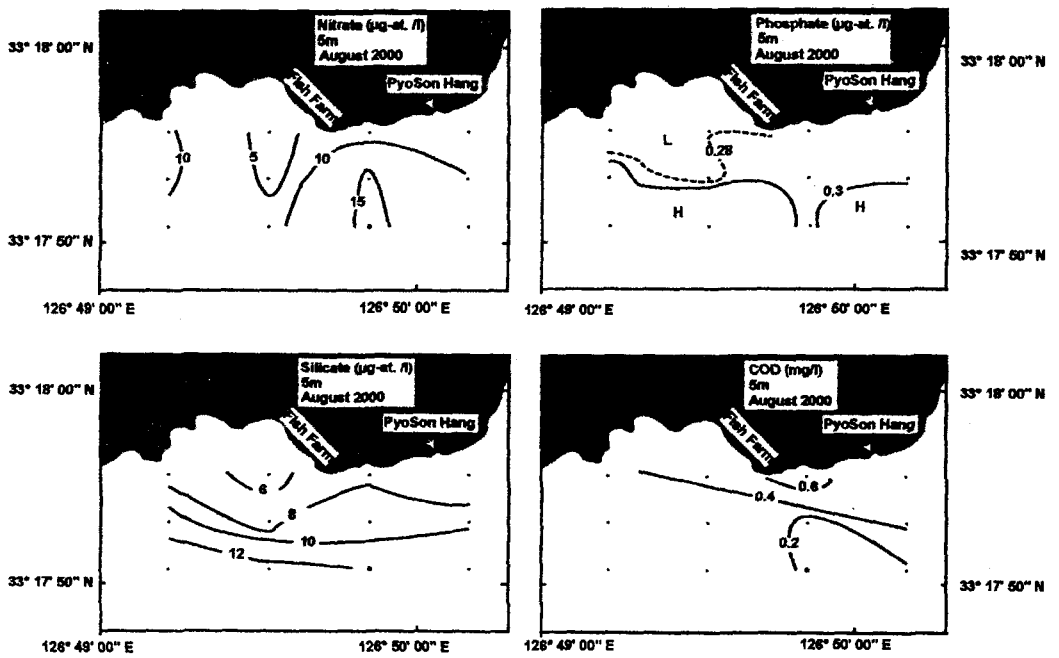

Fig. 8. Horizontal distribution of nitrate(NO^{3-}), phosphate(PO_4^{3-}), silicate(SiO_2) and COD at a depth of 5m in August of 2000.

Fig. 9는 11월달 영양염과 COD농도의 수평 분포도이다. 공간적인 분포를 보면 질산염의 경우 취수구역(4μg-at/l)과 배수구역(3.3μg-at/l)에서는 농도의 차이가 적으나 조사 해역의 동쪽 정점(정점 1,2를 중심으로)에 농도가 높게 나타났다. 질산염의 경우, 취수구역(60μg-at/l)이 육상 양식장의 배수구역(30μg-at/l) 보다 2배정도 농도가 높게 나타났다. 인산염의 농도 분포를 보면, 배수구역(14μg-at/l)이 농도가 낮게 나타났으며, 배수구역을 중심으로 외해쪽으로 규산염의 농도 구배가 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. COD의 농도는 0.45~0.70㎖/l 사이였으며, 연구해역의 취수구가 위치한 동쪽 해역보다 높게 나타났다.

Figs. 6~9에서 나타난 계절별 영양염(질산염, 인산염, 규산염) 및 COD농도의 수평분포 특성을 보면, 동계와 춘계에는 영양염 및 COD농도의 공간적인 분포값의 차이가 작은 반면, COD와 하계의 인산염을 제외한 나머지 성분들은 하계와 추계에 농도의 공간적인 분포값의 차가 크게 나타났다.

4. 고 찰

4.1. 물리적 해양환경인자의 분포 특성

제주도 주변 해역에는 대마난류수, 황해저층냉수, 중국대륙연안수 그리고 한국남해연안수 등이 분포하여 동, 서, 남 그리고 북쪽 해역이 서로 독특한 해양학적인 환경을 지니고 있다.[5),6)] 특히, 제주도의 남부 해역은 고온, 고염의 대마난류수의 영향을 직접 받는 지역으로서, 2월달 남해안에 위치한 여수의 평균 수온은 약 4℃인데 반해 제주도의 남쪽에 위치한 서귀포와 성산포의 평균 수온은 약 14℃정도로 높게 나타난다.[7)]

3월, 5월, 8월 그리고 11월달 해양환경관측이 실시된 무렵의 기상환경인자의 특성을 보면, 기온의 경우 그 연교차가 24℃정도이다. 보통 열대기후대에서 연교차는 평균 5~6℃정도이며, 온대기후대에서는 평균 15℃정도이다.[8)] 위와 같은 연교차와 비교하여 보면 연구해역의 연교차가 24℃가 된다는 것은 다른 기후대에 비해 높기는 하지만, 계절 변화가 뚜렷한 온대지방에서 일반적으로 볼 수 있는 현상이다. 그러나 제주도와 같은 온난한 해역에서 이처럼 변동폭이 크다는 것은 여름철과 겨울철에 양식장 주변해역의 온도 변화에도 영향을 끼칠 것으로 생각되며, 또한 양식장에 공급되는 해수의 온도 조절에도 반영을 해야할 것으로 생각된다. 왜냐하면 수심이 얕은 연안역의 경우 저열량이 낮고 또한 기상변화의 영향을 민감하게 받을 수도 있기 때문이다.

해양에서 입자의 움직임은 해수의 유동에 의해 크게 영향을 받는다. 특히 연안역은 조류의 영향이 지배적이며, 왕복 운동의 특성이 강한 조류가 해수 유동에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 본 해양환경조사에서 측정된 해수의 유동 특성은 앞서 언급된 바와 같이 북동-남서 향류의 특성이 강하며,

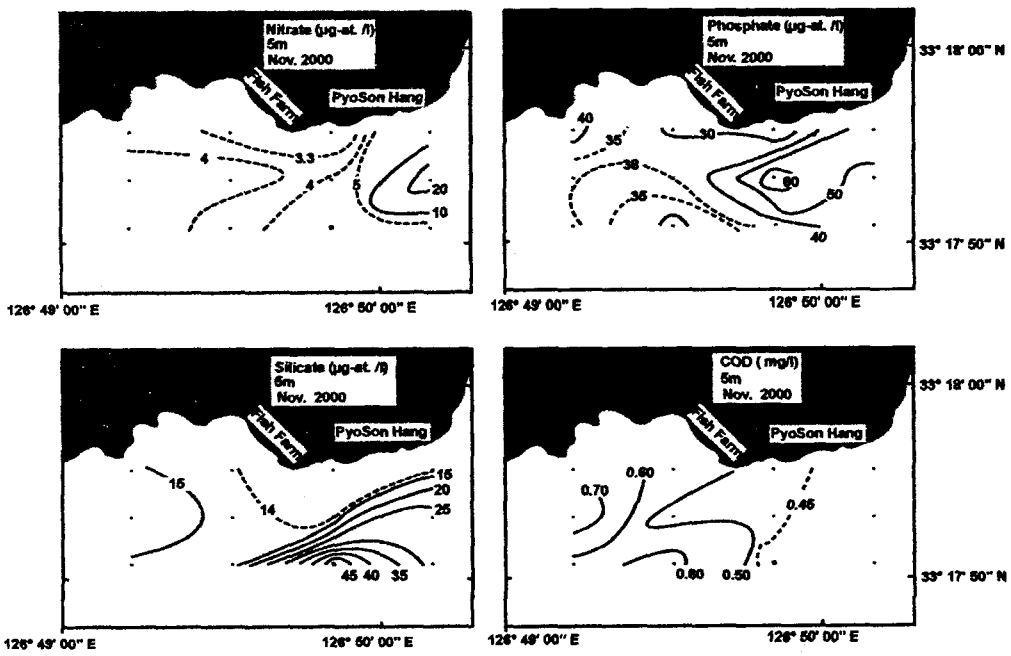

Fig. 9. Horizontal distribution of nitrate(NO^{3-}), phosphate(PO_4^{3-}), silicate(SiO_2) and COD at a depth of 5m in November of 2000.

썰물시에 양식장 배수구에서 해양으로 유출된 물은 남서 방향의 외양역으로 이동하게 되며, 밀물시에는 다시 외해수 희석된 후 북동향류의 해류와 함께 취수구역으로 이동하게 되어 유출수의 재유입 가능성 또한 있을 것으로 생각된다.

우리 나라 남해안은 섬이 많으며 또한 만(bay)과 같은 반 폐쇄적인 지형이 많이 분포한다. 이러한 지형적인 특성은 연안수와 외해수와의 원활한 해수 교환을 방해하는 장애요인이 될 가능성이 있다. 그러나 제주도 연안역은 지형적으로 개방형의 특성을 보이고 있으며, 이러한 지형적인 요인은 해수의 원활한 교환에도 큰 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 이것은 또한 육상이나 외해에서 유입된 물질의 혼합 또는 확산이 잘 일어나 날 수 있음을 시사하는 것으로 연안역에 유입된 물질의 외해로 제거되는 데까지 걸리는 체류시간이 짧을 것으로 생각된다.

양식장의 취수구역과 배수구역을 중심으로한 연직·수평 방향으로 수온과 염분은 거일 균일한 분포 상태를 보였다. 이것은 그만큼 유출수와 해수의 혼합과 확산이 잘 이루어져 주변 수괴와의 열교환이 빠르게 이루어지기 때문인 것으로 생각된다. 태양복사에너지의 해양으로의 유입이 증가하여 표층이 가열되는 하계에도 전층이 거의 균일한 상태임을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 취수구와 배수구가 위치한 지역은 수심이 약 7m 정도로 얕아서 전수층이 혼합층에 포함되는데, 이는 조류 및 파랑에너지 등에 의해 연직 대류가 활발하여 성층이 파괴되기 때문인 것으로 생각된다.

일반적으로 해양의 표면 수온의 연교차는 적도지방에서 2℃, 위도 40℃에서 8℃ 정도이고, 극지방으로 갈수록 다시 감소하며, 또 외양역이 연안역보다 크게 나타난다.[9] 수온은 여러 가지 물리적 요인 중에서도 해양 생물의 생활과 밀접한 관계가 있다. 해양생물은 대부분 수온에 민감하여 작은 수온 차에도 반응하는 것으로 생각된다. 어류는 온도에 대한 감지능력이 뛰어나 0.1~1℃ 정도의 작은 수온 변화에도 매우 민감하게 반응한다.[10]

그러므로 수온은 어떤 생물의 생태학적인 면에 영향을 크게 끼치며, 나아가서는 자원량 변동에 영향을 미치게 된다.[11] 따라서 인위적인 온도조절을 통해 해수를 공급하는 육상 양식장의 경우 해양으로부터 유입되는 해수의 수온 조절과 유지가 양식생물에게 아주 중요한 것으로 생각된다.

4.2. 우리 나라 연안별 화학적 해양환경인자의 분포 특성

연구해역(Tables 2와 3)과 우리 나라 연안별 해양환경특성을 비교하기 위하여 해양수산부 국립수산진흥원에서 동계와 하계에 측정한 COD(㎖/l), 총인(T-P, ㎍-at./l), 총질소(T-N, ㎍-at./l))를 Fig. 10에 나타내었다.[12] 그림에서 점선 사각형으로 표시된 부분이 해양수산부 국립수산진흥원에서 조사한 제주도 표선 지역으로, 본 연구에서 해양환경관측이 실시된 지역이다.

Table 2. Seasonal concentration levels of nutrients and COD in study area

	March	May	August	November
nitrate (㎍-at./l)	6.0~7.0	0.2~0.9	4.5~15.0	3.3~20.0
phosphate (㎍-at./l)	0.29~0.3	0.3~0.8	0.28~0.31	30.0~60.0
silicate (㎍-at./l)	7.0~8.5	2.0~3.5	6.0~12.0	14.0~45.0
COD (㎖/l)	0.1~0.3	0.6~1.0	0.2~0.6	0.45~0.70

Table 3. Seasonal concentration levels of nutrients and COD at st. A and st. B

	st. A				st. B			
	March	May	August	Novem-ber	March	May	August	Novem-ber
nitrate (㎍-at./l)	6.0	0.2	15.0	4.0	7.0	0.7	4.5	3.3
phosphate (㎍-at./l)	0.29	0.4	0.29	60.0	0.30	0.3	0.28	30.0
silicate (㎍-at./l)	7.0	3.2	9.0	14.0	8.5	2.8	5.5	14.0
COD (㎖/l)	0.3	0.85	0.19	0.46	0.2	0.7	0.5	0.55

Fig. 10은 1999년 2월과(동계) 8월(하계)의 조사결과이다. 표선 주변해역의 경우 COD의 표층과 저층의 평균 농도는 0.45㎖/l 로서 해역수질기준 Ⅰ등급(0.7㎖/l 이하 또는 1mg/l 이하)으로 나타났다. 동해남부(죽변~감포)연안은 Ⅰ등급으로 나타났으며, 남해안의 마산만, 행암만 그리고 진해만은 수질기준 Ⅱ등급(1.4㎖/l 이하 또는 2mg/l 이하)을 초과하여 일부 지역에서는 Ⅲ 등급(2.1㎖/l 이하 또는 3mg/l 이하)로 내려갔다. 서해 남부 해역은 수질기준 Ⅱ등급으로 나타났다. 그리고 제주도의 경우는 전체 연안 해역에서 거의 고른 분포를 나타내었다. 그러나 2000년 3월달(동계)에 측정한 COD농도는 0.3㎖/l 로서 수질 Ⅰ등급(0.7㎖/l 이하 또는 1mg/l 이하)상태로 1999년 보다 농도가 낮게 나타난 것으로 보인

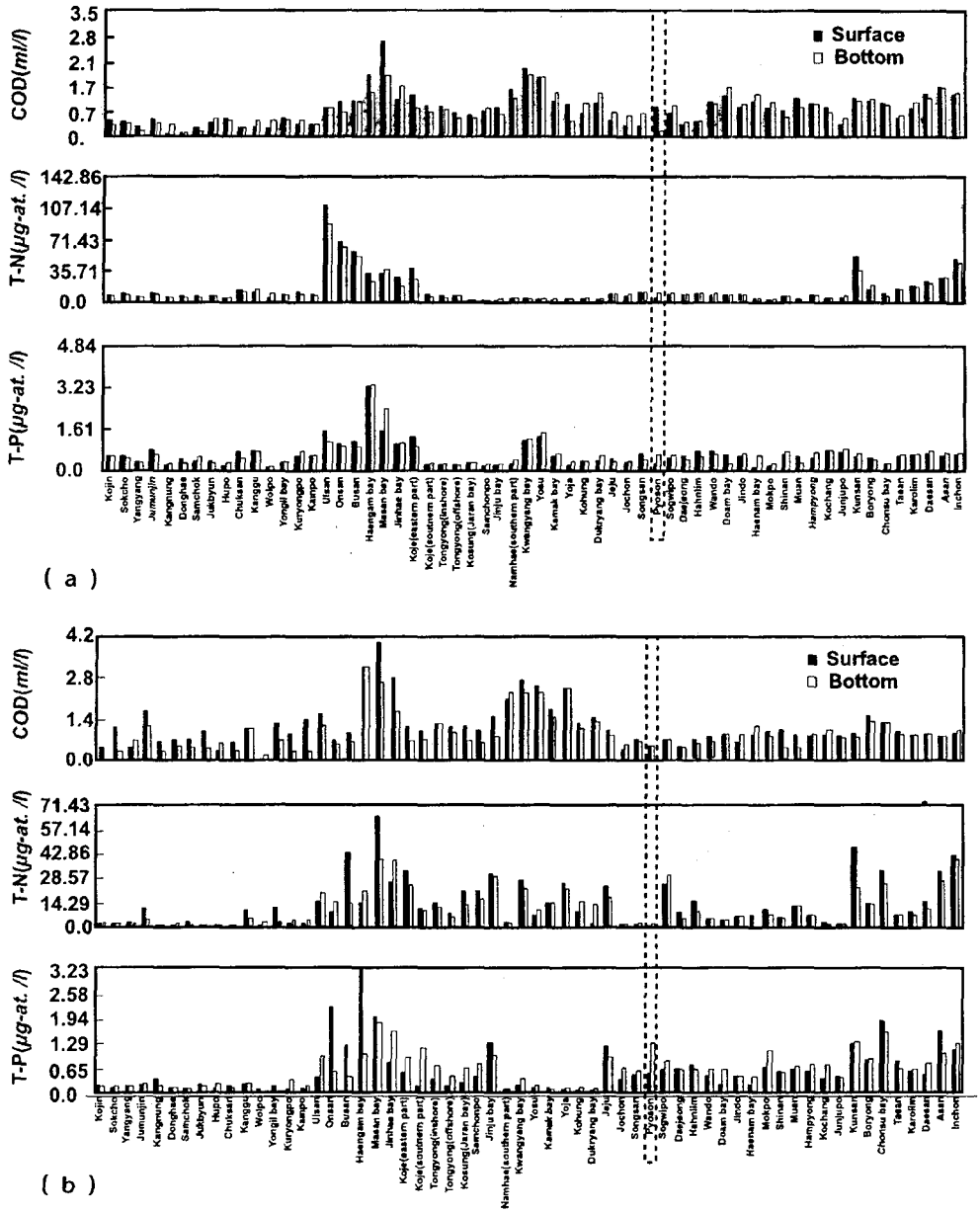

Fig. 10. Distribution of environmental factor in coastal regions of Korea in winter(a:February) and summer(b:August) of 1999.

다. 그리고 총인과 총질소의 농도는 0.37㎖/ℓ과 7㎖/ℓ 로서 2000년 3월달 관측시의 0.3㎖/ℓ과6.0㎖/ℓ 보다 작은 차이로 높게 나타났다.

8월(하계)의 조사 결과를 보면(Fig. 10), 표선 연안의 COD의 표층과 저층의 평균 농도는 0.50㎖/ℓ 로서 동계이후 조금씩 높아졌으나, 해역수질기준 Ⅰ등급을 유지하였다. 동해 남부 해역은 Ⅱ등급 수질상태를 마산만은 Ⅲ등급을 초과한 수질상태를 나타내었다. 그리고 서해 남부 해역은 수질기준 Ⅱ등급 이하로 내려갔다. 그러나 2000년 8월달(하계)에 측정한 COD농도는 0.4㎖/ℓ 로서 1999년도 보다 낮아졌으며, 특히 동해연안과 남해 연안지역과는 다르게 춘계보다 낮은 농도를 나타내었다. 총인과 총질소의 농도는 0.94㎖/ℓ과 1.61㎖/ℓ 였으며, 2000년 5월달 관

측결과는 0.29㎖/l과 10.0㎖/l 였다. 총질소의 경우 농도가 1999년보다 8배정도 높게 나타났다.

Fig. 10을 보면, 본 연구해역을 포함한 제주 연안해역은 남해안, 특히 마산, 진해, 행암만등에 비교해서 수질상태가 좋은 것으로 보인다. COD의 경우 그 연중 농도가 0.1~1.0㎖/l 로 동해, 서해, 남해안 연안역들에 비해 농도의 변화폭이 작으며, 수질기준 Ⅰ등급을 유지하는 것으로 나타났다. 진해만 일대의 경우 주변에 인접한 육상 및 기타 오염원으로부터 해양오염물질의 유입 등으로 인하여 COD와 총인, 총질소의 농도가 연중 높게 나타났다. 이러한 현상은 육상 및 기타 오염원으로부터의 지속적인 유입도 원인[13]이겠지만, Kang *et. al*[14]과 배 등[15]의 연구에서처럼 해수의 유동 및 순환자체가 빠르게 일어나지 않은 것도 원인인 것으로 생각된다. 이에 반해 양식장이 위치한 표선 연안지역은 육상환경으로부터의 오염물질의 유입 가능성이 적으며 또한 지형적으로도 외해와 단절이 되어 있지 않아서 해수 유동에 의한 확산 및 희석이 활발할 것으로 기대된다. 이는 즉 해수 및 오염물질이 한곳에 오랫동안 정체되어 해수 자체의 정화능력을 떨어지게할 가능성이 적음을 시사한다.

연안역의 수질 분포 특성에 관한 연구의 경우 특정 계절에 대한 연구로 그치는 경우가 일반적이다. 본 연구에서는 계절별로 양식장 주변 해역의 해양환경의 특성을 조사하였으나, 식물플랑크톤의 생물량 조사를 통한 영양염, COD등과 같은 오염인자와의 상관성과 생물생산능력에 대한 조사를 함께 실시하지 못하였다. 수질환경 특성을 파악하기 위해선 육상과 대기로 부터의 유기물 및 무기물 오염의 영향에 대한 측정이 중요하지만 또한 이와 밀접한 관련이 있는 식물플랑크톤의 분포에 대한 조사가 동반된다면 양식장 주변 해양환경의 변동 특성을 이해하는 데 도움이 될것으로 생각된다.

5. 결 론

육상 수조식 양식장 인접해역의 해양학적 특성파악과 아울러 취수구와 배수구의 수질 상태를 조사 규명하기 위하여 (주)제주 동원 양식장이 위치한 연안역에서 3월, 5월, 8월 그리고 11월에 해양관측을 실시하였다.

1) 대·소조기 무렵에 관측한 해류측정 결과를 보면 북동-남서 향류의 반일주조 흐름 경향이 뚜렷하게 나타났다. 본 해양환경 조사에서 나타난 대조기(28.63cm/sec)와 소조기때(8.52cm/sec)의 평균 유속의 차이는 약 20cm/sec 였다.
2) 취수구와 배수구가 위치한 정점에서의 시기별 수온과 염분의 연직 분포 특성은 다음과 같다. 연직 방향으로는 거의 균일한 분포를 보이지만, 계절적으로는 차이가 있어 하계, 추계, 춘계 그리고 동계 순으로 높게 나타났다. 취수구와 배수구의 연직 평균수온의 차이는 0.6℃ 내로 나타났다. 하계와 추계의 경우는 취수구의 온도가 더 높은 것으로 나타났다. 그리고 수온의 계절 변동폭은 13.5℃로서 하계에 가장 높은 26.7℃를 나타내었고, 동계에 가장 낮은 13.2℃ 나타내었다. 염분은 수온의 경우처럼 전 수층에서 거의 균일한 분포를 보여준다. 단 수온의 경우와는 달리 추계, 동계, 춘계 그리고 하계 순으로 높게 나타났다. 염분 농도의 계절변동 폭은 3.5psu로 추계에 농도가 가장 높은 35psu, 하계에 가장 낮은 31.5psu로 나타났다.
3) 연구해역의 계절별 질산염, 인산염, 규산염 그리고 COD의 수평 농도 분포를 보면 가을철(11월)에 그 농도가 가장 높게 나타났다. 반면, 동계에 최저 농도를 나타낸 COD를 제외하면, 나머지 영양염류들은 춘계(5월)에 가장 낮게 나타났다. 취수구와 배수구가 위치한 관측 정점에서 영양염 및 COD농도의 계절 변화를 보면, 질산염의 경우 동계와 춘계의 경우는 취수구가 배수구의 농도보다 낮게 나타났으며, 반면 하계와 추계에는 높게 나타났다. 인산염과 규산염의 농도분포를 보면, 동계를 제외한 춘계, 하계 그리고 추계에 취수구에서 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 규산염 또한 인산염과 유사한 분포를 나타내었다. COD는 동계와 춘계에는 취수구에서 높게 나타났으며, 하계와 추계에는 배수구의 농도가 높게 나타났다.
4) 동해 남부 해역과 남해의 진해만, 마산만, 행암만 그리고 서해의 남부 해역의 경우는 계절별 해역기준 수질등급은 Ⅰ~Ⅲ 등급 또는 Ⅲ등급 이하로 나타났다. 그러나 해양환경조사가 실시된 제주도 표선 주변 해역 및 제주도 전 연안역의 경우는 연중 Ⅰ등급 내외를 유지하여 그 수질의 연변동폭이 작은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 장은공익재단의 연구비 지원을 받아 한국과학재단 지정 우수공학연구센터인 부경대학교 해양산업개발연구소에서 수행하였습니다.

참 고 문 헌

1) 최용규, 조규대, 이병걸, 홍철훈, 1995, 수심에 따른 득량만 키조개 어장의 환경 특성, 한국어업기

술학회지, 31(2), 127-141.
2) 정경호, 박영철, 1988, 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구, 한국해양학회지, 23(4), 137-156.
3) 김준택, 정동근, 노홍길, 1998, 제주도 한림 연안 정치망어장의 환경 특성과 어획량변동에 관한 연구. I. 수온 및 염분 특성, J. Korean Fish. Soc., 31(6), 859-868.
4) Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis, Bull. Fish. Res., Canada.
5) 조규대, 박성우, 1990, 1986년 하계 제주도 동부 해역의 수온역전현상, 한국어업기술학회지, 26(3), 265-274.
6) 김상현, 노홍길, 1997, 제주해협의 해수 유동 특성에 관한 연구, 한국수산학회지, 30(5), 759-770.
7) 조규대, 박성은, 고우진, 1999, 이동식 가두리 양식장의 이동적지 선정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 8(1), 83-94.
8) Pickard, G. L., 1990, Descriptive physical oceanography, Pregamon press, 318pp.
9) 조규대외 13명 공저, 해양학개론, 태화출판사, 287pp.
10) 川本信之, 1975, 新版魚類生理生態學, 恒星社厚生, 水産學全集, 13, 188-189.
11) 조규대, 1999, 수산해양학, 유일문화사, 147pp.
12) 해양수산부 국립수산진흥원, 2000, 한국해양환경조사연보 1999.
13) 신소영, 2000, 진해만 주변의 오염원 여건 변화와 해양환경과의 관계, 부경대학교 교육대학원 석사학위 논문.
14) Kang, S. D., T. S. Jung, J. C. Lee, and C. S. Kim, 1989, Circulation and dispersion of pollutant in Masan-Jinhae Bay. Inst. Environ. Res., Kyungnam Unv., 11, 47-72.
15) 배상완, 조규대, 김동선, 조광우, 1997, 3차원 진단 모델을 이용한 진해만의 수치유동실험, 한국어업기술학회지, 33(4), 360-369.