

서해연안의 양식장 환경조사

5. 군산연안 양식장의 저질환경

이정열 · 류동기

군산대학교 양식학과

Environmental Survey on the Cultivation Ground in the West Coast of Korea

5. Bottom Conditions on a Coastal Farm of Kunsan Areas

Jeong-Yeol Lee and Dong-Ki Ryou

Department of Aquaculture, Kunsan National University, Kunsan 573-400, Korea

ABSTRACT

In Kunsan coastal areas, there are some plans to construct industrial zone and, it will affect physical and chemical parameters of marine environment of the area. As one of many environmental surveys on the aquacultural farm in Korean west coast, the survey on the bottom sediment characteristics of intertidal farm was conducted from May 1992 to April 1993.

Dominant grain size was fine sand (69~98%) and the pH of sediment was ranged of 7.2~9.1. Especially the pH increased after embank was constructed. The water holding capacity was 11.1~28.1% and showed high value in silt and clay area. The COD was 1.27 mg/g dry mud and increased after embank was constructed. The total organic matter content ranged of 0.84~8.11% and the DO absorption was 0~6.56 mg/g dry mud. The value of DO absorption showed low in winter and spring, but high in summer and fall. The total nitrogen and the sulfide were rang of 0~402 $\mu\text{g/g}$ dry mud and 0~122 $\mu\text{g/g}$ dry mud respectively. These values were high in summer and winter season, and higher in upper layer than that of lower layer in general.

서 론

군산 지방의 연안역은 금강과 만경강 등의 담수계와 황해의 해수계 영향을 동시에 받는 지역으로 조수간만의 차가 커서 옛부터 패류 양식과 김 양식 등이 성행하여 오던 곳이다. 그러나 정부의 서해안 종합개발계획에 따라 1980년대부터 시작된 간척 및 매립사업은 이 지역에서도 군장국가공단조성사업과 새만금간척사업이라는 우리 나라 최대규모의 간척사업이 계획 시행되면서 이곳 연안환경에 상당한 변화를 줄 것으로 예상되고 있다.

이와 같이 대규모의 간척사업은 연안환경에 필연적으로 영향을 미치게 마련인데 이에 따라 연안

역에서 행하여 오던 양식도 어떤 쪽으로든 상당한 영향을 받게 되고 지반변동을 비롯한 저질환경에 미치는 영향은 간석지 양식장에 서식하고 있는 표생물(epifauna)과 내생물(endofauna) 모두에 생태·생리적 변화를 가져다 주게 된다. 그러므로 간척사업후의 환경변화를 예측할 수 있다면 간석지상의 유용수산생물을 적절하게 관리할 수 있는 방안이 마련될 수 있기 때문에 대규모 간척사업이 시행되기전의 환경현황 파악과 시행후의 환경관리가 자원생태학적 입장에서는 필수적이다. 특히 양식장의 저질이 양식패류의 성장이나 사망에 밀접한 관계가 있다는 보고(이 등 1969; 이와 장 1969; 조 등 1982)에 비추어 보아 양식장의 저질 상태는 양식장의 가치를 판단하는 중요한 기준이 되고 있다.

본 조사는 서해연안의 양식장 환경조사 일환으로 전보(이 1992)에 이어 군장국가공단 건설사업이 시행되고 있는 시점에서 군산 연안의 양식장 저질환경에 대한 조사를 실시함으로써 간척공사의 진행에 따른 양식장 저질환경의 변화를 밝히고 또한 사업 시행후 환경변화를 예측하는데 기초자료로 이용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

조사지역은 군산산업기지 건설공사 제2공구 방조제공사가 실시되고 있는 지점에서 약 8 km 정도 떨어진 곳의 어촌계 공동양식장으로 동죽, 바지락, 맛조개, 가무락 등이 산출되고 있는 곳이다(Fig. 1). 조사지점은 해안선에서 약 1.5 km 간격으로 3개 정점을 정하고 1992년 5월부터 1993년 4월까지 매월 같은 정점에서 저질을 상층(지표하 15 cm까지)과 하층(지표하 15 cm~30 cm)으로 구분하여 약 1kg 정도의 시료를 채취한 다음 비닐봉지에 넣어 실험실로 가져온 후 즉시 각 성분을 분석하였다. 분석된 자료는 월별, 층별로 정리, 평균치로 나타내었다.

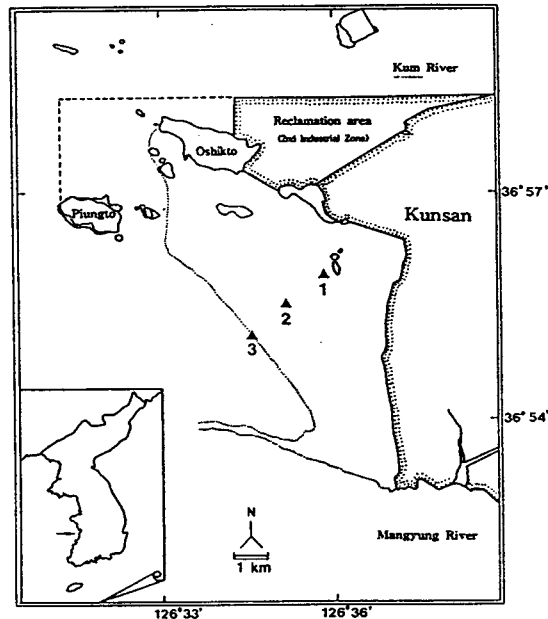


Fig. 1. Map showing the sampling station in Kunsan coastal area. Dotted line indicates embanking area.

2. 분석방법

입도분석은 채취한 저질을 실험실에서 3~5일간 음건시킨 뒤 체분석법으로 분석하였으며(ASM 1981), pH는 습시료 20 g에 1N KCl 용액 30 ml에 희석하여 상등액의 pH를 측정하였다(김 1990). 함수율은 습시료 20 g을 105℃에서 건조시킨 뒤 건중량과의 차이로서 계산하였으며 COD는 과망간산알카리법(FAO 1975)으로, 총유기물함량은 600℃에서 4시간 회화하여 그 감량으로 표시하였다. 또한 용존산소흡수량은 습시료 2 g을 BOD병에 넣어 4℃에서 1일간 방치후 방치전후의 용존산소량 차이로서 하였으며(김 1990), 총질소함량은 Kjeldahl법(FAO 1975)으로, 황화물은 습시료 2 g을 증기법으로 증류하여 황화수소를 이탈시킨 다음 이것을 옥소적정법으로 정량하였다(김 1990).

결과 및 고찰

1. 저질 분석

가. 입도 조성

방조제 공사기간 중 군산 연안 양식장의 저질 입도조성 변화를 보면 Fig. 2~4에서 보는 바와 같이 입경 0.064~0.25 mm의 미사가 69~98%의 구성비를 나타내었으며 입경 0.064 mm이하의 점토와 입경 0.25~0.35 mm의 세사가 각각 0.8~29.2% 및 0.4~20.8%를 보여 이 지역의 저질은 모래질이 대부분을 차지하고 있음을 나타내었다.

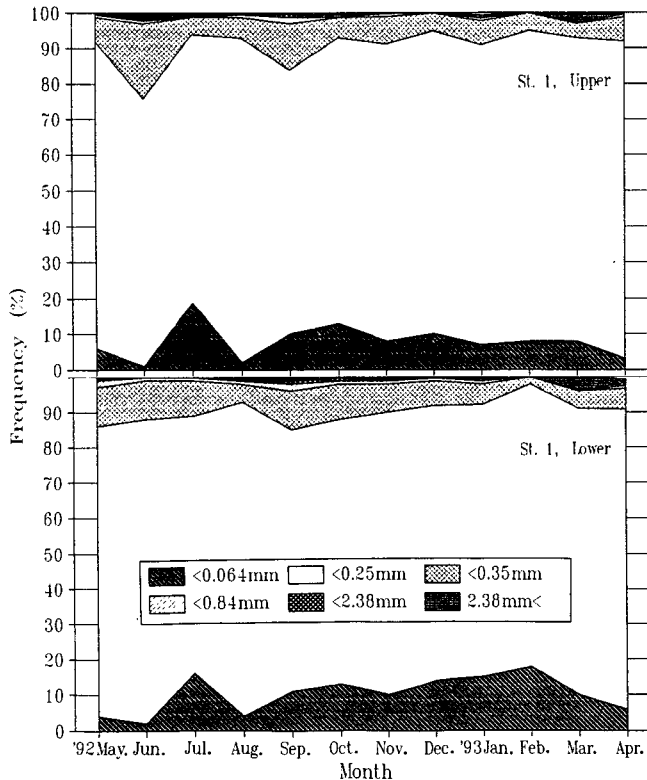


Fig. 2. Monthly changes in grain size composition from station 1.

계절에 따른 저질 분포경향을 보면 해황이 좋지 않은 여름과 겨울에 점토가 다소 많은 경향을 보였으며, 방조제공사가 진행됨에 따라 세사와 점토가 줄고 미사가 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 저질의 상·하층간의 변동차이는 크지 않아서 비슷한 변동경향을 보였으나 정점 3의 경우에는 점토의 분포에서 약간 다른 경향을 나타내었다. 또한 정점별 저질조성 경향도 큰 차이는 없지만 정점 1에서 점토와 세사가 다른 곳 보다 많은 분포경향을 보였으며 특히 하층의 점토가 월에 따라 다른 정점은 감소경향을 보이는데 반하여 정점 1에서는 다소 많아지는 경향을 보였다. 이와 같은 경향은 정점 1의 지역이 조간대 상부에 위치하고 있어서 공사에서 유실된 부니가 파랑과 조류에 따라 밀리면서 이곳으로 이동하면서 조석에 유실되지 않고 쌓였기 때문으로 생각된다.

본 조사에서의 입도 조성은 방조제공사 이전에 조사된 자료(군산항건설사무소 1988; 토개공 1989; 이 1992)와 비교하여 볼 때 점토가 약간 줄고 미사가 그만큼 증가한 것으로 조사되어 방조제공사의 영향이 서서히 나타나고 있는 것으로 판단되었다.

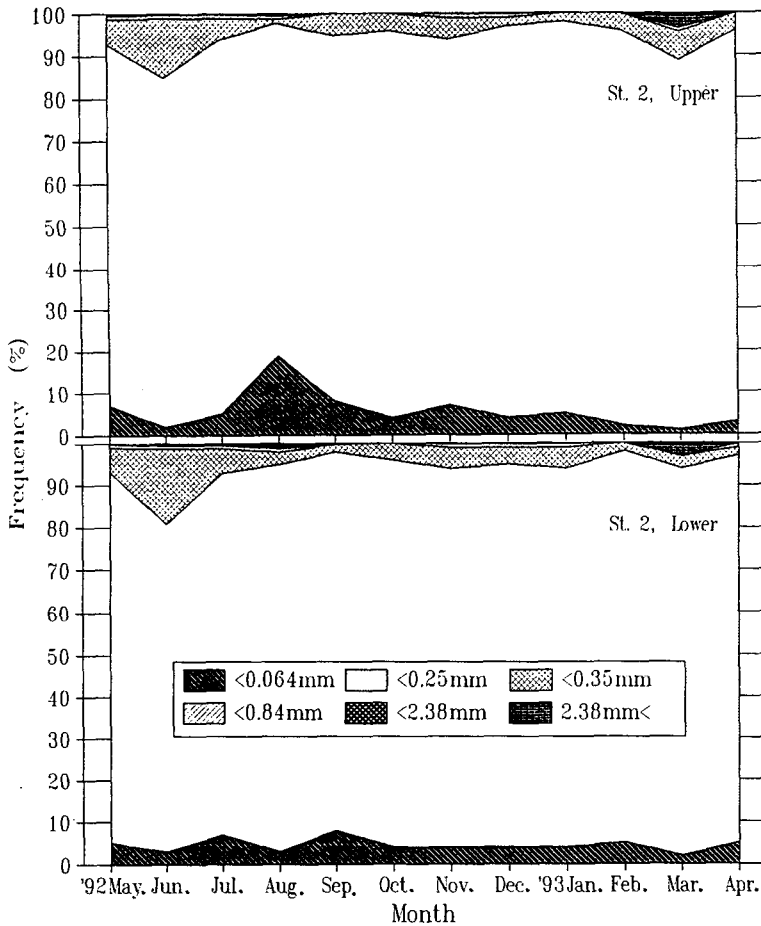


Fig. 3. Monthly changes in grain size composition from station 2.

서해연안의 양식장 환경조사

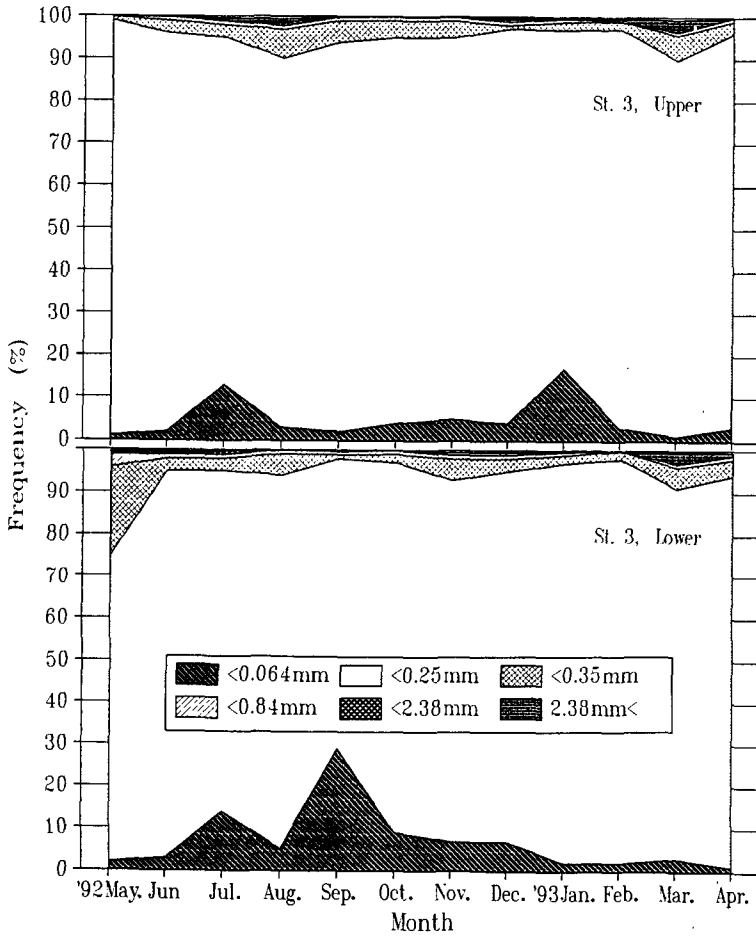


Fig. 4. Monthly changes in grain size composition from station 3.

나. pH

저질의 pH는 토양의 노후화 및 오염정도를 판단할 수 있는 지표중 하나이다. 군산 연안에서 채취한 저질의 pH는 7.2~9.1까지 폭 넓게 변동하였는데, 상·하층간의 변동경향은 비슷하였으나 하층이 상층보다 높게 나타났다(Fig. 5). 월별 경향을 보면 6~8월에는 7.2~7.9의 비교적 낮은 값을 보이다가 9월부터 증가 하는 경향을 보여 주고 있는데 이는 방조제공사에 따라 저질의 입도조성이 변하고 있는데 기인되는 현상이라고 생각된다. 즉 부식되지 않은 점토의 구성비가 많을 때에는 저질의 pH는 8에 가깝고 모래가 많아지면 pH가 9에 가까워지는 경향을 볼 수 있다(이와 김 1991). 이와 같은 경향은 정점간 pH 변동경향에서도 비슷하여서 점토가 비교적 많은 정점 1의 곳이 다른 두 곳의 정점보다 낮은 pH 값을 나타내었다. 또한 이번에 측정된 pH 값은 이전에 측정된 값(이 1992)보다 변동 폭이 크고 다소 높아진 상태로 방조제공사에 따른 저질의 조성이 달라지고 있다는 것을 간접적으로 나타내 주는 결과라 하겠다.

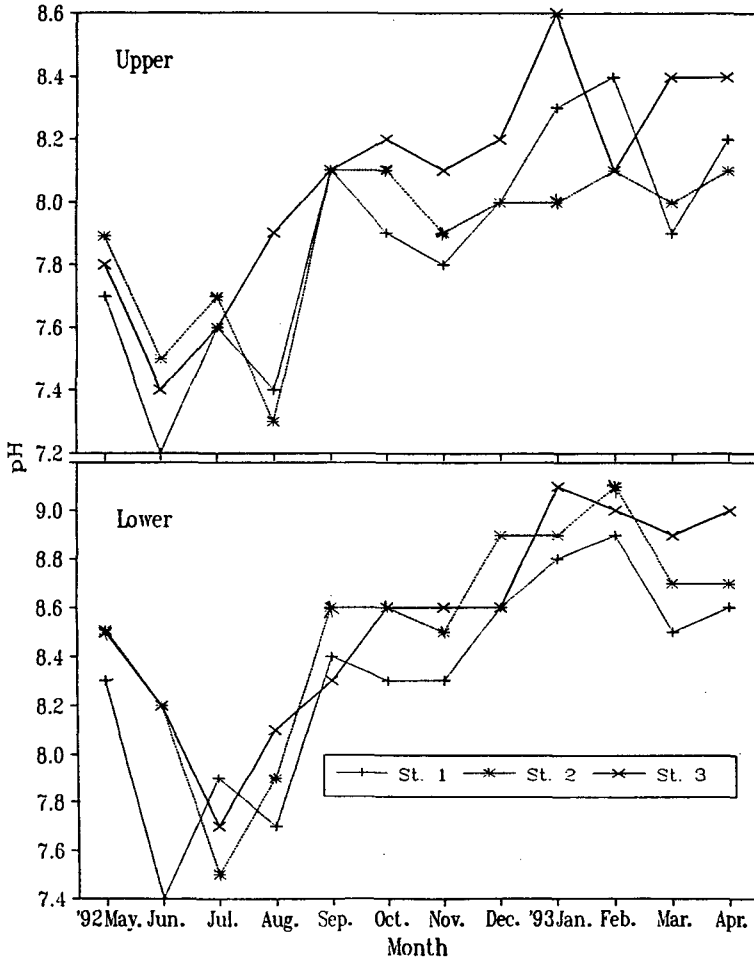


Fig. 5. Monthly changes in pH of sea bottom sediment.

다. 함수율

저질의 함수율은 저질입자간에 품을 수 있는 함수량에 비례되는 것으로 저질의 보수력을 나타내 주는 지표이다. 군산 연안에서 채집한 저질시료의 월별 함수율 변동은 9월에 가장 낮은 함수율을 보인 반면, 겨울철인 12~1월에는 약간 많은 함수율을 나타내고 있다(Fig. 6). 정점별에 따른 차이는 정점 1, 2, 3의 순으로 높은 함수율을 보인 반면 상·하층간의 차이는 정점 1을 제외하고는 거의 차이가 없었다. 일반적으로 함수율의 차이는 저질 입자형태와 밀접한 관계가 있는 것으로 점토가 많은 정점 1이 다른 곳 보다 다소 높은 함수율을 보인 것도 이를 반영하는 결과라 하겠으며 9월에 최저의 함수율을 보인 것은 간출시간이 긴 시기에 채집되었기 때문이 아닌가 추측된다.

라. COD

저질의 화학적산소요구량은 수중의 유기물이나 저서생물에 의해 공급된 유기물량을 나타내는 것으로 일반적으로 사질의 함량이 90% 이상일 때는 1 mg O₂/g건니 이하인 것이 정상적이라고 할 수 있고 점토가 많아짐에 따라 COD 값도 증가한다(유 등 1975).

서해연안의 양식장 환경조사

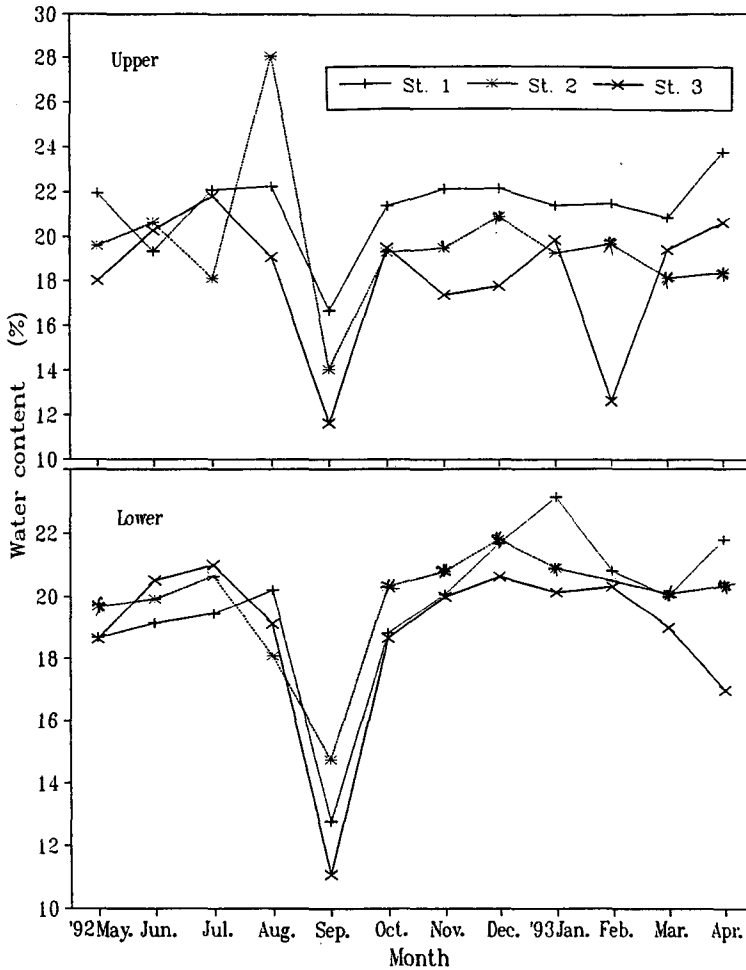


Fig. 6. Monthly changes in water holding capacity of sea bottom sediment.

본 조사에서 나타난 COD값의 변동범위는 0.02~1.27 mg/g건나를 나타내어 현저히 낮은 COD값을 보였으며 월별로는 6월에 가장 높은 값을 보였다가 급격히 낮아져서 이듬해 4월에 가장 낮은 값을 보이고 있다(Fig. 7). 정점별로는 큰 차이가 없지만, 상·하층간에는 하층이 높은 경향을 나타내었다. COD값의 월별 경향은 pH의 월별 경향과 반대의 경향을 나타내고 있어서 저질의 퇴적양상과 밀접한 관련을 나타내 주고 있는데, 이는 방조제공사의 진척에 따라 새로운 퇴적물이 쌓여 감으로서 COD값도 점차적으로 낮은 값을 보인 것으로 판단된다.

마. 총유기물함량

일반적으로 저질 중 유기물의 함량과 펄 함량과는 정의 상관관계가 있어서 펄질의 함량이 20%일 때 유기물은 2.5%, 40%일 때는 4.8%, 그리고 80%일 때는 10%정도를 나타낸다고 한다(이와 김 1991).

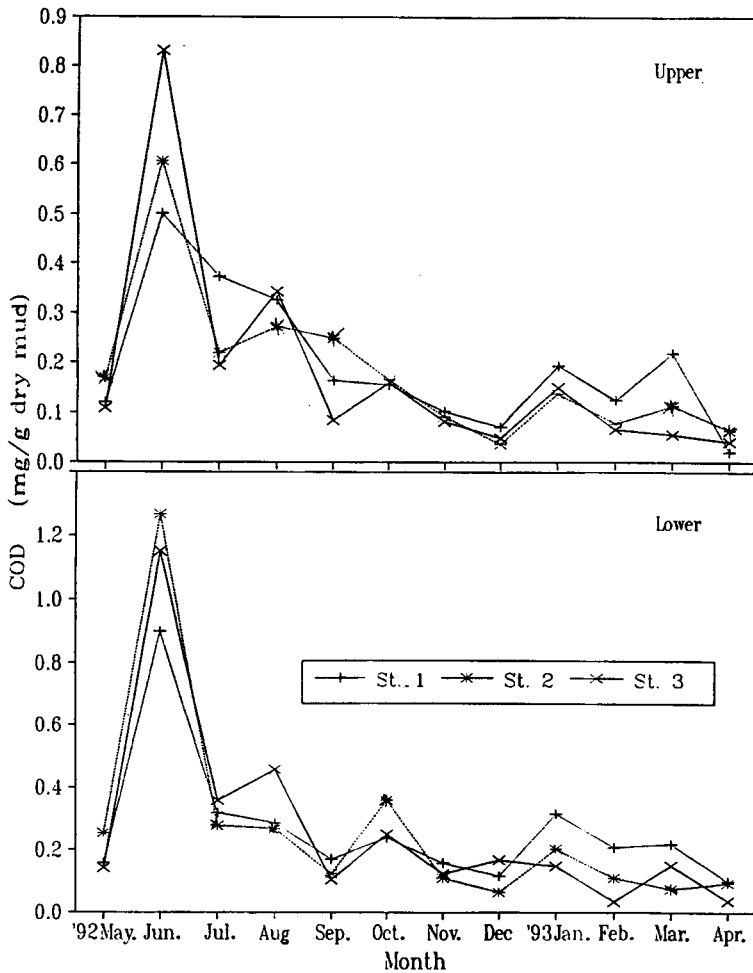


Fig. 7. Monthly changes in COD of sea bottom sediment.

본 조사지역에서의 총유기물함량은 0.84~8.11%의 범위로 7월을 제외하면 1~2%내외의 값을 보이고 있어서(Fig. 8), 펄질 함유량이 20%내외인 점을 고려하면 이 지역의 유기물 함량은 일반적인 범위에 있다고 할 수 있다. 한편, 7월에 6% 전후의 높은 값을 보인 것은 우기에 육지로부터 상당량의 유기물이 유입되어 축적된 데에 기인되는 것이 아닌가 추정된다. 정점에 따른 차이는 정점 3, 2, 1의 순으로 유기물량이 많아서 육지에 가까울수록 유기물함량이 많았으며 층별로는 하층이 상층에 비해 약간 높은 경향을 보였다.

바. 용존산소 흡수량

저질이 악화되면 저질내의 용존산소량이 감소되어 저서생물의 서식에 영향을 줄 때가 많은데, 이러한 저질의 산소함유량 상태를 간단히 알아보는 방법으로 저질의 용존산소 흡수량을 측정하는 방법이 유용하다.

서해연안의 양식장 환경조사

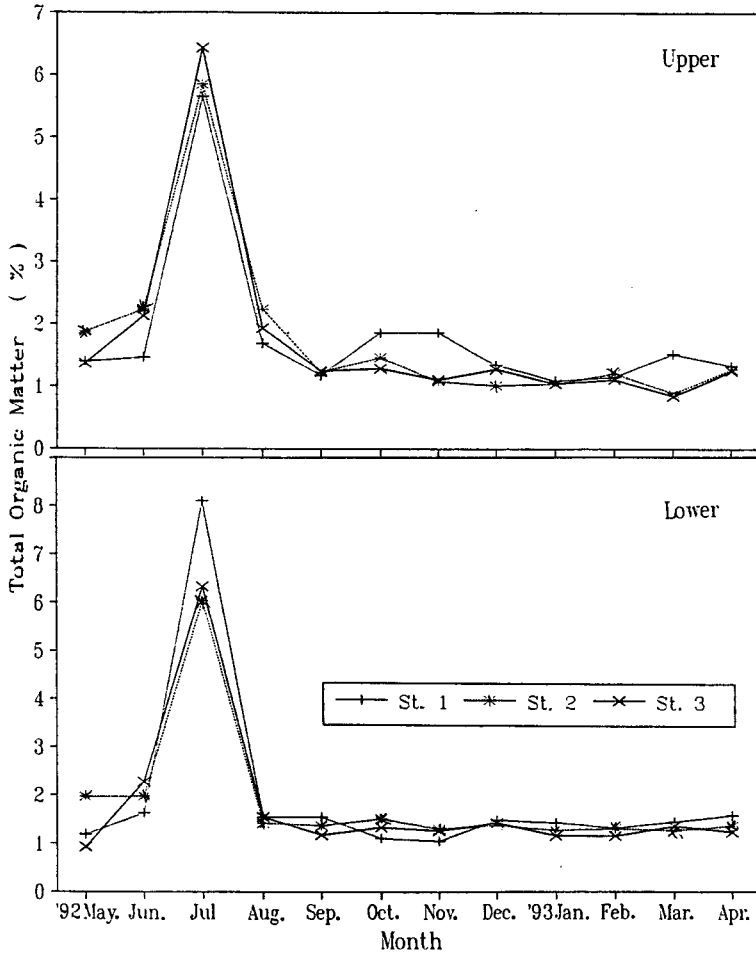


Fig. 8. Monthly changes in total organic matter of sea bottom sediment.

본 조사에서 저질의 용존산소흡수량은 0~6.56 mg/g건니의 넓은 변동 범위를 보이지만 7월을 제외하면 3 mg/g건니 이하를 나타내고 있다(Fig. 9). 월별로는 겨울~봄에 걸쳐 낮은 값을 보인 반면 여름~가을이 다소 높은 값을 나타내었다. 특히 7월에는 5 mg/g건니 이상의 높은 값을 보였는데, 우기에 육지로 부터 다량의 유기물이 유입된데에 따르는 것이라 보여진다. 또한 정점별로 볼 때 정점 1이 가장 높고 정점 3이 가장 낮아 총유기물함량과 같은 경향을 나타내었다. 층별로는 정점 1을 제외하고는 하층이 다소 높았다.

사. 총질소함량

저질의 질소는 수중의 유기물 침강과 플랑크톤의 사체, 그리고 간석지 생물의 배설물 및 사체들에서 유래되는 것으로 바다에 쌓여 저질을 악화시키는 한편 이들은 분해세균에 의해 분해되어 저질로부터 수중으로 용해되어 나가기 때문에 양식장의 노후화는 물론 수질오염을 예견할 수 있는 수단으로도 이용된다.

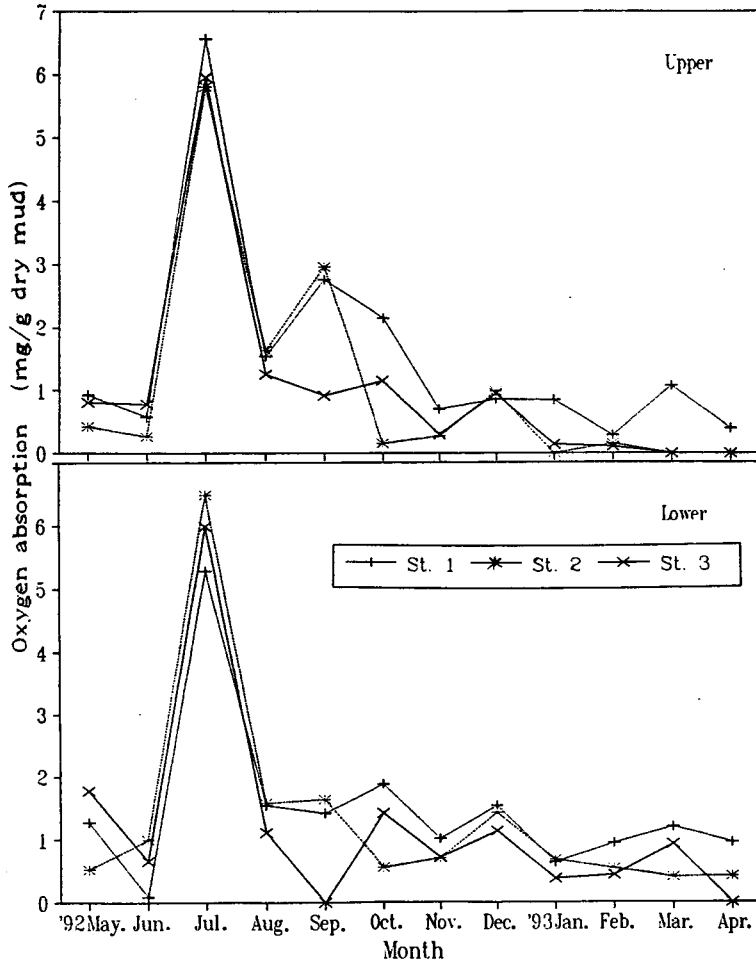


Fig. 9. Monthly changes in DO absorption of sea bottom sediment.

본 조사에서 총질소 변동은 0~402 $\mu\text{g/g}$ 건니의 매우 넓은 변동폭을 보였으며 7월과 2월의 두 번 높은 값을 보인 반면, 4월에는 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 10). 정점별로는 정점 1이 다른 두 곳 보다 다소 높은 경향을 보였으며 층별로는 상층이 하층보다 약간 높았다.

아. 황화물

저질층의 유기물이 분해되면서 산소가 소비되어 저산소상태에 이르면 환원세균의 증식에 의하여 황화수소가 발생하게 되어 저서생물에 악영향을 미치게 되고 2차적으로는 수질에까지 영향을 미치게 된다.

서해연안의 양식장 환경조사

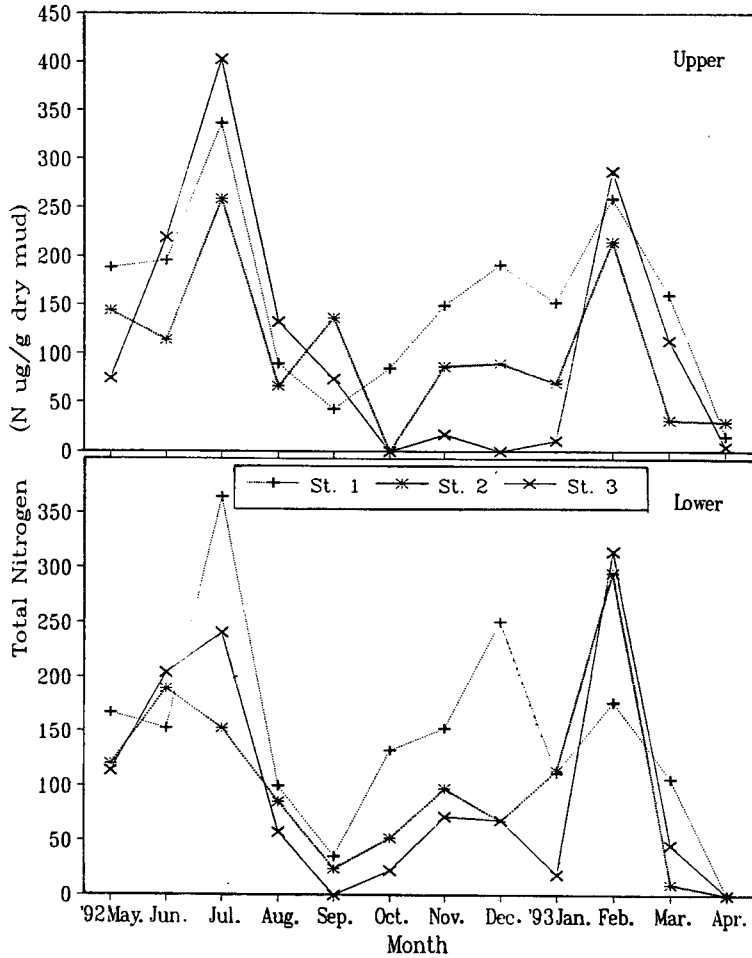


Fig. 10. Monthly changes in total nitrogen of sea bottom sediment.

본 조사에서 황화물의 변동범위는 0~122.0 $\mu\text{g/g}$ 건니의 범위로 넓은 변화폭을 보였는데 대체로 7월과 1월에 높은 값을 나타내어(Fig. 11) 총질소와 비슷한 변동 경향을 보였다. 정점별로는 정점 1이 가장 높았고 다음으로 정점2와 3의 순이었으며, 층별로는 정점 1에서 상층이 하층에 비해 높은 값을 나타내었으나 정점 3에서는 하층이 높은 경향을 나타내었다.

2. 양식장 저질환경과 서식패류

간석지 양식장의 저질상태는 양식장의 가치를 판단하는 중요한 기준이 되며 한편으로는 해양환경의 오염도를 추정할 수 있는 요소가 되고 있다(조 등 1982). 특히 간석지에 서식하는 각종 패류들은 저질환경에 따라 서식종 및 분포가 다르기 때문에 저질의 물리·화학적 요소를 파악하는 일은 패류양식을 적극적으로 관리하는데 중요한 수단이 된다. 그러나 우리나라에서는 아직 각종 패류에 따른 저질조건에 대하여 많은 연구가 이루어져 있지 않은 상태여서 본 조사지역 양식장에 서식하는 패류를 중심으로 그동안 보고된 자료와 본 조사치와를 비교 검토하였다(Table 1).

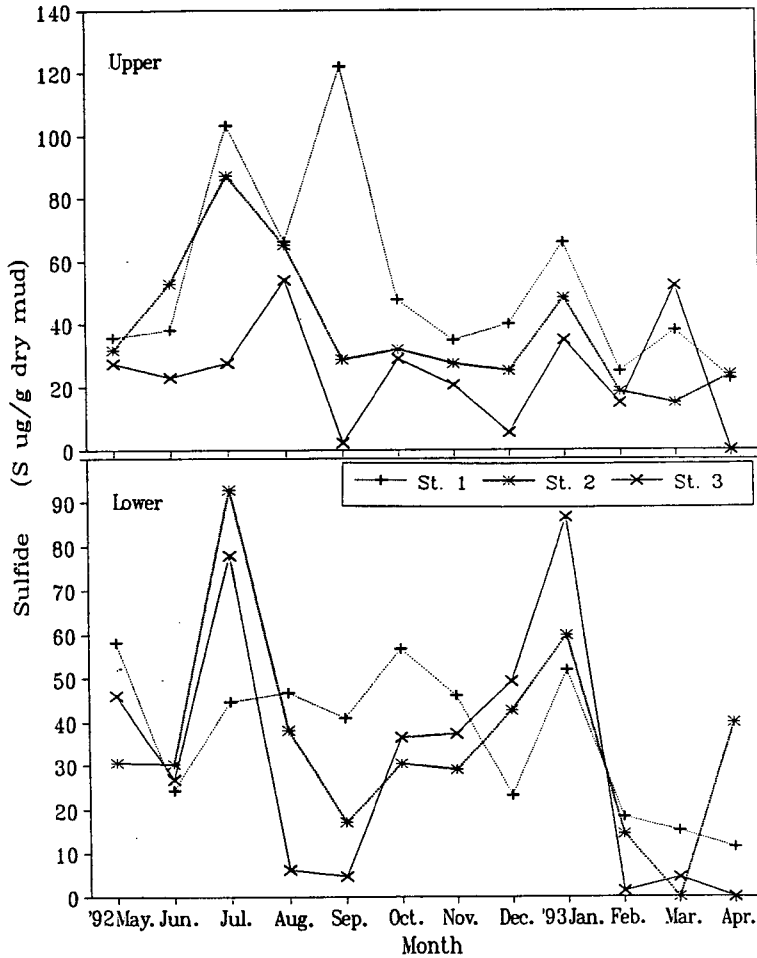


Fig. 11. Monthly changes in sulfide of sea bottom sediment.

저질입자의 경우 본 조사에서는 점토가 0.8~29.2%, 미사가 69~98%, 그리고 조사 이상이 0.4~20.8%로 이전에 보고된 자료와 비교할 때 동죽양식장의 저질환경과 비슷한 상태를 보였으며 pH, 함수율, 유기물 함량 등 화학적 분석치도 이전의 동죽양식장과 비슷하여 본 조사대상 양식장은 동죽양식장으로서 알맞는 양식장환경으로 분류되었다. 실제로 방조제 공사가 있기전에는 가무락, 바지락, 백합 및 동죽 등이 같이 서식 산출되었지만 방조제가 거의 완성된 후에는 동죽만이 산출되고 있다. 이와 같은 양상은 방조제 공사가 저질 환경에 영향을 주어 이곳에 서식하고 있는 각종 생물의 생태생리에 영향을 주었고, 서식종의 천이가 일어난 것을 보여주는 현상이라 할 수 있다.

한편, 본 조사에서 분석된 저질의 이화학적 분석치는 수심이 깊고 대규모 굴양식이 행하여 지고 있어서 부영양화가 심화된 남해안(조와 김 1977; 조와 김 1978; 조 1980; 조 등 1982; Cho *et al.* 1982; 조와 박 1983)에 비하여 현저히 낮은 값이며, 또한 COD와 황화물의 수준으로 판정할때에도 일본의 천해양식장 기준인 5~30 mg/g건니 및 0.03~0.3 ppm(일본수산학회 1973)에 비해서도 낮은 값이어서 본 조사대상 양식장의 저질은 양호한 상태에 있다고 판단된다.

서해연안의 양식장 환경조사

Table 1. The comparison for chemical properties of bottom sediment by shellfish habitat

Species		<i>Mactra veneriformis</i>	<i>Cyclina sinensis</i>	<i>Rhuditapes philippinarum</i>	<i>Meretrix lusoria</i>
Soil texture (%)	Silt & Clay	1 ~ 20 ¹⁾ 0.8 ~ 29.2 ⁴⁾	10 ~ 30 ¹⁾	3 ~ 40 ¹⁾ < 6.8 ²⁾	2 ~ 30 ¹⁾ 2.8 ~ 8.1 ³⁾
	Fine sand	70 ~ 90 ¹⁾ 69 ~ 98 ⁴⁾	50 ~ 80 ¹⁾	20 ~ 60 ¹⁾ < 41.5 ²⁾	10 ~ 35 ¹⁾ 87.5 ~ 95.5 ³⁾
	Coarse sand	0 ~ 20 ¹⁾ 0.4 ~ 20.8 ⁴⁾	2 ~ 23 ¹⁾	10 ~ 50 ¹⁾ 23 < ²⁾	50 ~ 90 ¹⁾ 0.1 ~ 5.6 ³⁾
	pH	7.0 ~ 7.7 ¹⁾ 7.2 ~ 9.1 ⁴⁾	7.0 ~ 7.6 ¹⁾	7.1 ~ 7.5 ¹⁾ 6.2 ~ 6.6 ²⁾	7.2 ~ 7.4 ¹⁾ 8.3 ~ 9.5 ³⁾
Water content (%)	23.5 ~ 25.3 ¹⁾ 11.1 ~ 28.1 ⁴⁾	21.7 ~ 25.3 ¹⁾	15.3 ~ 28.9 ¹⁾ 1.2 ~ 2.4 ²⁾	19.8 ~ 22.5 ¹⁾	
Organic matter (%)	2.4 ~ 3.5 ¹⁾ 0.8 ~ 8.1 ⁴⁾	2.0 ~ 8.8 ¹⁾	5.2 ~ 10.1 ¹⁾ 4.1 ~ 6.9 ²⁾	2.6 ~ 3.0 ¹⁾	
COD (mg/g dry mud)	0 ~ 1.27 ⁴⁾			2.8 ~ 52.2 ³⁾	
Total-N (%)	4.4 ~ 5.0 ¹⁾	4.1 ~ 7.8 ¹⁾	5.7 ~ 9.8 ¹⁾ 0.4 ~ 1.0 ²⁾	3.6 ~ 4.8 ¹⁾	
($\mu\text{g/g}$ dry mud)	0 ~ 402.0 ⁴⁾			31.9 ~ 194.9 ³⁾	
Sulfide ($\mu\text{g/g}$ dry mud)	0 ~ 122.0 ⁴⁾			32 ~ 133 ³⁾	
O ₂ absorption (mg/g dry mud)	0 ~ 6.56 ⁴⁾				

References: 1) Lee *et al.* 1969; 2) Lee and Chang 1969; 3) Lee and Kim 1991; 4) Present study

요 약

서해연안의 양식장 환경조사의 일환으로 군장국가공단 건설사업 중 방조제 공사가 진행되고 있어 그 영향을 받을 것으로 예상되는 군산연안 간석지 양식장을 대상으로 1992년 5월부터 1993년 4월까지 저질환경을 조사하여 양식장환경을 진단하고 동시에 방조제공사의 영향을 고찰하였다.

1. 조사지역의 입도조성은 입경 0.064~0.25 mm의 미사가 69~98%를 나타내어 모래질이 우세한 지역으로 분류되었다.
2. 저질의 pH는 7.2~9.1의 범위를 나타내었는데 하층이 상층에 비해 높았으며 방조제 공사에 따라 점차 pH값이 증가하는 경향을 보였다.
3. 저질의 함수율은 11.1~28.1%의 범위로 점토가 많은 지역의 함수율이 높았다.
4. COD 값은 0~1.27 mg/g건니를 나타내어 양호한 상태를 보였으며 pH값과는 달리 방조제공사에 따라 COD값이 낮아지는 경향을 보였다.
5. 총유기물함량은 0.84~8.11%의 범위를 나타내었으며 하층이 상층에 비해 약간 높은 경향을 보였다.
6. 용존산소흡수량은 0~6.56 mg/g건니의 범위를 보였으며 겨울에서 봄에 낮은 값을, 여름에서 가을에 높은 값을 보였다.
7. 총질소함량과 황화물은 각각 0~402 $\mu\text{g/g}$ 건니와 0~122 $\mu\text{g/g}$ 건니의 범위를 나타내었으며 여름

과 겨울에 비교적 높게 나타났다. 그리고 총별로는 대체로 상층이 하층에 비해 약간 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- ASTM, 1981. Manual on test sieving methods. ASTM Philadelphia, 43pp.
- Cho, C. H., K. Y. Park, H. S. Yang and J. S. Hong. 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang bays. Bull. Korean Fish. Soc. 15: 233~240.
- FAO, 1975. Manual of methods in aquatic environment research. FIRI/T 137.
- 군산항건설사무소. 1988. 금강하구 수리현상조사보고서 1 현지자료.
- 김용술. 1990. 수질분석. 신흥출판사, 343pp.
- 유성규 · 이택열 · 진평 · 전세규 · 최위경. 1975. 부안만 백합폐사에 대한 조사연구. 부산수대 해연보 8: 39~52.
- 이정열 · 김영길. 1991. 서해연안의 양식장 환경조사 3. 부안 백합 양식장 환경. 한국양식학회지 4: 111~128.
- 이정열. 1992. 서해연안의 양식장 환경조사 4. 군산 연안 양식장의 수질환경. 군산대학교 수산과학연구 8: 1~21.
- 이춘구 · 장남기. 1969. 해산패류 증식을 위한 간석지 개척에 관한 연구 (2) 경기만 내 *Tapes philippinarum* 서식지 토양의 물리화학적 조성에 관하여. 한국수산학회지 2: 155~160.
- 이춘구 · 장남기 · 최신석. 1969. 패류양식을 위한 적지환경요인에 관한 연구. 한수지 2: 33~40.
- 조창환 · 김용술. 1977. 굴 양식장의 미세환경에 관한 연구 1. 거제만의 양식장밀도 및 부영양화에 관하여. 한국수산학회지 10: 259~265.
- 조창환 · 김용술. 1978. 굴 양식장의 환경에 관한 연구. 충무부근 양식장의 저질에 관하여. 한국수산학회지 11: 243~247.
- 조창환. 1980. 한산-거제만 굴 양식장의 양식밀도에 관한 연구. 한국수산학회지 13: 45~56.
- 조창환 · 양한섭 · 박경양 · 염말구. 1982. 진해만 패류양식장의 저질에 관한 연구. 한국수산학회지 15: 35~41.
- 조창환 · 박경양. 1983. 고성-자란만 패류양식장 저지의 부영양화. 한국수산학회지 16: 260~264.
- 한국토지개발공사. 1989. 군산산업기지 개발조성사업(제2공단) 환경영향평가서, 314pp.
- 日本水産學會, 1973. 水圏の富營養化と水産増養殖. 水産學シリーズ 1 恒星社厚生閣, 東京, 126 pp.