

가막만 해상가두리어류양식장의 환경특성(예보)

윤순기 · 조주현 · 김기영* · 서명배* · 주우형* · 신현수 · 서태호 · 임여호* · 신종암

전남대학교 해양기술학부
*전라남도 수산기술사업소 여수지소

A Preliminary Study on Environmental Characteristics of the Marine Fish Aquafarms in Gamak Bay of Korea.

Soon-Ki Yun · Ju-Hyon Cho* · Gi Young Kim* · Myung Bae Seo* · Woo-Hyung Ju*
Hyun Soo Shin · Tae Ho Seo · Yeo Ho Lim* · Jong-Ahm Shin

College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University
**Jeollanamdo Fisheries Technology Office, Yeosu Branch*

ABSTRACT

In order to grasp the environmental characteristics of water quality and bottom sediment of clustered marine fish aquafarms, water quality and bottom sediment of 7 stations including the control(no aquafarm) were investigated 6 times during January to November 2007. The water temperature, salinity, pH, DO and COD were 8.2~25.1 °C, 29.3~35.3 psu, 7.53~8.33, 5.35~11.61 mg/L. The contents of DIN, PO₄-P, Si(OH)₄-Si and chlorophyll-*a* were 0.005~0.309 mg/L, 0.001~0.053 mg/L, 0.017~0.690 mg/L, 0.65~20.18 µg/L. The qualities of bottom sediment were as follows: moisture contents, values of IL, S-COD contents and AVS contents were 24.26~65.28%, 3.84~10.35%, 4.99~22.47 mg/g, 0.004~0.640 mg/g. The environments of most of the investigation stations were good. The COD value of the Sojukdo aquafarm located in inner bay was the highest, 3.33 mg/L, in November and the bottom environment was polluted by organic substances. The organic pollution of bottom sediment of the others was not so serious as the Sojukdo aquafarm, but the COD and AVS contents were higher than the control area: these areas might be polluted by organic deposits. The result of cluster analysis showed that the investigation stations could be divided into three groups. The Hangumi(control) area and Daedura aquafarm were almost no pollution, the Weolhang, Hwatae, Gunnae and Guemcheon aquafarms were somewhat polluted and the Sojukdo aquafarm was polluted more than the other stations.

Key words : Gamak bay, Marine fish farm, Water quality, Bottom sediment

1. 서론

가막만은 전형적인 반폐쇄성 해역으로 남북 방향의 길이가 약 15 km, 동서방향의 길이가 약 9 km 인 타원형으로 만 입구는 크고 작은 섬들로 둘러싸여 있다. 가막만의 해저 지형은 중앙부는 수심 6~7 m 내외이며, 북서 내만역은 수심이 9~11 m로 옅고 수심이 깊다. 복잡한 해안선을 갖고 있는 가막만은 내륙의 영향을 강하게 받으며, 만 입구의 외해수와 여수항으로부터 유입되는 해수의 유입으로 성질이 다른 수괴가 출현한다¹⁾.

가막만 해역에서는 굴, 홍합, 바지락, 새조개 등이 생산되어 지고 있으며, 어류, 굴, 진주담치, 새고막 양식어장 등이 단지화 되어 있는 지역이다. 가막만 중앙부에 수하식 굴양식장이, 북서쪽 내만역에 수하식 진주담치 양식장이 있으며, 그 외에 살포식 양식장으로는 피조개와 새꼬막 양식장이 있다. 해상가두리어류양식장은 만 전역에 산재하고 있으나, 대체적으로 만의 남쪽 입구 쪽에 위치한 개도, 월호도, 화태도 및 송도 등에 집단화 되어 일찍부터 양식 산업이 발달해 왔다^{2,3)}.

가막만은 예로부터 천혜의 수산자원의 보고이자 청정해역으로 알려져 있어서, 가막만내의 해수유동과 해황 및 퇴적물에 관한 연구가 비교적 활발하게 이루어졌다^{4,5,6,7,8,9)}. 그러나, 양식에 의한 자가오염과 도시하수 및 산업폐수의 유입으로 인한 수질 및 저질의 오염이 진행되어⁶⁾ 가막만의 주요 양식종인 굴 및 피조개의 대량폐사가 일어나 그 심각도가 문제시 되고 있다^{10,11,12)}.

해상가두리어류양식은 1954년 일본에서 시작되어서 1960년대에 노르웨이, 스코틀랜드와 Auburn 대학에서 연어와 틸라피아 양식을 한 것이 오늘날 근대 가두리양식의 기원이다¹³⁾. 가

두리를 이용한 어류양식은 전 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 산업 중의 하나이며 일부 국가에서는 주요산업으로 자리 매김하고 있다⁴⁾.

국내에서는, 1975년 경남 통영 해역에서 해상 가두리를 이용한 방어 치어의 축양이 최초 기록이다. 1980년대까지는 연생산량 수십 M/T의 완만한 성장을 하였으나, 1990년대에 들어서면서 양식기술의 급성장에 힘입어 연생산량은 1997년에 13,000 M/T으로, 2003년에는 37,000 M/T으로 기하급수적으로 증가하였다¹⁵⁾.

해상가두리어류양식은 해조류, 패류 등의 양식 품종들에 비해 주변 환경에 부가적 문제를 유발한다. 어류의 성장을 위해서는 에너지 전달 효율상 생산되는 어류 몸무게의 최소한 10 배에 달하는 먹이의 양이 요구되며¹⁶⁾, 과잉 공급된 먹이의 대부분이 어류에 의한 소비보다 용존성 또는 입자성 유·무기물 형태로 수층과 퇴적층에 유실되어 어장의 자가오염이 우려되는 양식이다^{16,17,18,19,20)}. 이러한 영향은 연안 생태계의 파괴, 장기 또는 단기의 부영양화, 외래종으로 인한 오염, 기생충과 병원체의 이동, 심미적인 환경 악화 등을 초래한다²¹⁾. 뿐만 아니라, 침강·분해되는 과정에서 재생산된 다량의 무기영양염은 유해성 적조 생물의 대량 번식을 촉진함으로써 양식 어류의 대량 폐사를 발생시키기도 한다^{22,23,24)}.

우리나라에서는 해상가두리어류양식장의 적지 선정에 있어서 양식 어종의 서식 가능 여부를 적지 판단의 주요 기준으로 두고 있기 때문에, 양식초기 서식 환경이 적절한 해역이었다 하더라도 대규모 양식으로 발생하는 자가 오염에 대한 고려가 부족하여 밀집된 양식장에서의 환경관리 방안이 없다²⁵⁾.

이 연구는 여수 가막만 해상가두리어류양식장 밀집해역의 수질 및 저질환경의 조사결과를 비교 분석하여 그 특성을 파악함으로써 가막만

의 해양환경을 효율적으로 관리하고 이용하기 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지역

여수시 가막만 일대의 일반수역 함구미(St. 1) 지역과 해상가두리어류양식장이 밀집되어 있는 남면 대두라, 화정 월항, 남면 화태, 돌산 군내, 돌산 금천, 돌산 소죽도의 6지점(St. 2, St. 3, St. 4, St. 5, St. 6, St. 7)을 선정하여 2007년 1월부터 2007년 11월까지 2개월마다 6회 조사하였다(Fig. 1 & Table 1).

2.2 조사항목 및 분석방법

2.2.1 수질분석

수온과 염분농도는 YSI-85(Incorporated Yellow Springs, Ohio 45387 USA Model 85/50 FT)로 현장에서 직접 측정하였다. pH는 pH meter (ORION-420)로, 용존산소는 Winkler변법으로 현장에서 고정 후 실험실로 옮긴 즉시 측정하였다.

COD는 알칼리성 과망간산 칼륨법²⁶⁾으로 알칼리성 하에서 과망간산칼륨의 소비량을 측정하였고, 영양염류는 Strickland and Parsons(1972)²⁷⁾에 따라 분광광도계(Genesis-5)로, 암모니아성질소($\text{NH}_3\text{-N}$)는 Indophenol법, 아질산성질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 Sulfanilamid-NED법, 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 Cu-Cd칼럼환원법, 인산성 인($\text{PO}_4\text{-P}$)은 Ascorbic acid법, 규산성 규소($\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$)는 Molybden blue 법에 의해 비색 정량하였다²⁶⁾. 용존 무기 질소(DIN)는 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 합한 값을 용존 무기질소로

하였다²⁶⁾.

Chlorophyll-a는 채수한 해수 500 ml를 0.45 μm membrane filter로 여과하여, 여과지를 90% 아세톤 10 ml에 추출시킨 후, 원심분리로 분리(3,000 rpm, 10 min)하여 상등액을 흡광도 630, 647, 664, 750 nm에서 분광광도계(Genesis-5)를 이용하여 SCOR-Unesco(1969)²⁸⁾ 방법에 따라 실시하였다.

2.2.2 저질 분석

함수율은 채니기로 채취한 퇴적물을 20~30 g 정도 취하여 건조기(Daihan Labiech)에서 105 $^{\circ}\text{C}$ 로 24시간 동안 건조시킨 뒤, 건조전 중량과 건조후 중량의 차이로 계산하였으며, 강열감량은 도가니에 건조된 시료 5 g을 넣고 550 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 2시간 동안 가열한 후 데시케이터에서 냉각시키고, 실온으로 식힌 후 측정하였다²⁶⁾.

저질 COD는 과망간산알칼리법²⁶⁾으로 하였으며, 황화물 측정은 황 검지관을 사용하여, 습시료 1 g을 취하여 기체 발생관에 넣고 진한 황산 2 ml를 가한 후 검지관을 진공펌프와 연결하여 황화수소가 검지관에 흡수되도록 하였다. 발생한 황화수소의 양과 검지관 눈금으로부터 황화물을 구하였다²⁶⁾.

2.2.3 군집분석

군집분석은 특성들의 유사성, 즉, 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 가지고 있는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일집단으로 구분하여서, 전체 다변량자료의 구조를 파악하고, 군집의 형성과정과 그 특성, 군집간의 관계를 분석하는 것이 목적이다. 유사성 측정은 거리와 유사한 개념을 바탕으로 설명되는 근접성의 척도이다. 거리측정은 모든 변수의

차이를 제공하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(Squared Euclidean distance) 방법을 적용하였다.

$$d_{ij} = [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{1/2}$$

d_{ij} : 점 i 와 점 j 간의 거리

X_i, X_j : i 번째 점의 좌표

Y_i, Y_j : j 번째 점의 좌표

군집결합의 방법은 집단간의 평균결합을 나타내는 Between-groups linkage를 사용하였다. 이는 객체의 모든 쌍들 간의 평균거리를 두 군집간의 거리로 정의하는 비가중치 쌍집단방식(UPGMA: unweighted pair-group method arithmetic average)이다. 여기에서는, 수질 및 저질의 측정 자료로 군집분석을 하였다. 군집분석을 위한 통계처리는 SPSS ver. 14.0 program을 사용하였다.

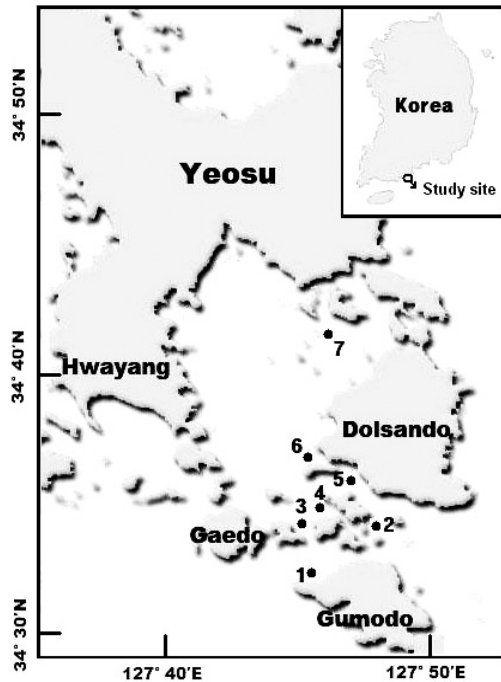


Fig 1. Map showing the investigation stations in Gamak Bay of Korea.

<Table 1> Site and situation of water quality and bottom sediment investigation in Gamak Bay of Korea

St. No.	Site	Situation	
1	Hamgumi(Control)	34° 32' 276"	127° 42' 356"
2	Daedura(Fish-aquafarm)	34° 33' 675"	127° 44' 580"
3	Weolhang(Fish-aquafarm)	34° 34' 074"	127° 42' 034"
4	Hwatae(Fish-aquafarm)	34° 34' 974"	127° 43' 528"
5	Gunnæ(Fish-aquafarm)	34° 36' 379"	127° 44' 021"
6	Guencheon(Fish-aquafarm)	34° 37' 433"	127° 42' 953"
7	Sojukdo(Fish-aquafarm)	34° 41' 148"	127° 43' 031"

3. 결과 및 고찰

3.1 수질환경

여수 가막만 지역 해상가두리어류양식장이 밀집된 6지점과 해상가두리어류양식을 하지

않는 수역을 대조구로 선정하여 수질환경을 조사한 결과, 어장별 수온은 8.2~25.1℃로, 1월에 7.8~10.1℃, 3월에 8.2~11.4℃, 5월에 17.1~19.7℃, 7월에 21.7~24.2℃, 9월에 23.9~25.1℃, 11월에 11.5~14.9℃ 이었으며, 9월에 함구미(대조구) 수역에서 25.1℃로 가

장 높았다. 어장 간 수온차는 3월에 가장 높았으며, 각 어장의 표층과 저층 간의 수온차는 5월에 함구미 수역에서 2.2℃로 가장 컸다(Table 2~7). 어장 간 수온의 차이는 크지 않았다. 내만에 위치한 소죽도 어장이 다른 어장에 비해 변동범위가 컸는데, 이는 수심이 다른 지역 보다 상대적으로 낮고, 기온과 육수 등의 영향 때문이라고 생각된다.

염분 농도는 29.3~35.3 psu로, 1월에 34.9~34.5 psu, 3월에 34.5~35.3 psu, 5월에 32.7~33.9 psu, 7월에 31.9~32.6 psu, 9월에 29.3~30.0 psu, 11월에 30.8~32.4 psu 이었으며, 3월에 함구미 수역에서 35.3psu로 가장 높았다(Table 2~7). 어장 간의 염분 농도 차이는 크지 않았으며, 각 어장의 표층과 저층 간에도 큰 차이가 없었다. 여름철 강수기가 시작되면서 염분농도가 9월까지 낮아지는 경향을 보였으나, 어류양식에 있어서 큰 영향을 미치지 않는 정도였다.

pH는 7.53~8.33으로, 1월에 8.00~8.09, 3월에 7.53~8.12, 5월에 8.08~8.15, 7월에 8.19~8.33, 9월에 8.09~8.18, 11월에 8.09~8.18로, 3월에 군내 어장에서 가장 낮았다(Table 2~7). 각 어장의 표층과 저층의 pH는 큰 차이가 없었으며, 3월을 제외한 공간적 분포에서도 큰 차가 없었다.

용존산소(DO)는 5.35~11.61 mg/L로, 1월에 8.09~11.61 mg/L, 3월에 9.10~10.32, 5월에 5.35~8.89 mg/L, 7월에 6.57~7.83 mg/L, 9월에 6.25~10.47 mg/L, 11월에 7.54~9.29 mg/L로, 5월에 월항 어장의 저층에서 가장 낮았고, 1월에 소죽도 어장의 표층에서 가장 높았다(Table 2~7). 내만에 위치한 소죽도 어장에서 연평균은 9.45 mg/L으로, 함구미와 다른 어장에 비해 0.91~1.54 mg/L 높게 나타났으며, 모

든 어장에서 해역 I 등급 기준(7.5 mg/L)이상으로 매우 양호하였다.

화학적산소요구량(COD)은 0.06~3.33 mg/L로, 1월에 0.22~2.10 mg/L, 3월에 0.06~1.26 mg/L, 5월에 0.06~1.50 mg/L, 7월에 0.62~1.34 mg/L, 9월에 0.37~1.44 mg/L, 11월에 0.59~3.33 mg/L로 11월에 가장 큰 차이가 나타났다. 표층과 저층의 차이는 1월에 화태 어장에서 1.72 mg/L로 가장 컸다(Table 2~7). 각 어장의 연평균은 0.77~1.44 mg/L로, 모든 해역에서 2 mg/L 이하로 II등급 수준이었으며, 양식생물이 서식하기에 양호한 상태를 보였으나, 11월 소죽도 어장에서 3.33 mg/L로 III등급 수준을 나타내어 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

질소는 생물의 성장에 필수적인 원소이며, 특히 인과 함께 생물의 성장에 제한요소로 작용하지만, 과잉으로 존재하게 되면 부영양화 및 적조 등의 유해한 영향을 유발하기도 한다²²⁹⁾. 용존무기질소(DIN)는 0.005~0.309 mg/L로, 1월에 0.067~0.147 mg/L, 3월에 0.027~0.309 mg/L, 5월에 0.005~0.079 mg/L, 7월에 0.011~0.068 mg/L, 9월에 0.018~0.140 mg/L, 11월에 0.007~0.086 mg/L로, 3월에 가장 큰 차이가 나타났다. 5월에 소죽도 어장의 저층에서 가장 낮았고, 3월에 군내 어장의 저층에서 가장 높았다. 표층과 저층의 차이는 3월에 군내 어장에서 0.271 mg/L로 가장 컸다(Table 2~7). 각 어장의 연평균은 0.033~0.089 mg/L로, 모든 어장에서 0.3 mg/L보다 낮게 나타나, 연중 해역 I 등급 수준을 보였다. 그 양은 1월에서 7월까지 감소하다가 9월에 증가하는 경향을 보이는데, 이는 여름철 강우로 인한 담수 유입이 주원인으로 판단되어진다.

인산성 인은 0.001~0.053 mg/L로, 1월에

0.001~0.023 mg/L, 3월에 0.001~0.019 mg/L, 5월에 0.003~0.008 mg/L, 7월에 0.001~0.008 mg/L, 9월에 0.001~0.007 mg/L, 11월에 0.022~0.053 mg/L 이었다. 표층과 저층의 차이는 11월에 소죽도 어장에서 0.026 mg/L로 가장 컸다(Table 2~7). 어장별로 큰 차이가 나지 않았고, 모든 어장에서 11월에 해역 I 등급 범위인 0.03 mg/L 보다 다소 높게 측정되었지만, 연평균은 0.012 mg/L로 해역 I 등급의 수준이었다.

규산성 규소는 0.017~0.690 mg/L로, 1월에 0.077~0.175 mg/L, 3월에 0.044~0.687, 5월에 0.017~0.690 mg/L, 7월에 0.073~0.254 mg/L, 9월에 0.023~0.063 mg/L, 11월에 0.040~0.299 mg/L로, 5월에 가장 큰 차이가 나타났다. 5월에 월항 어장에서 가장 높았고, 소죽도 어장에서 다른 어장에 비해 전반적으로 낮았다(Table 2~7). 9월에 클로로필-a 함량이 높아지면서 규산성규소 함량이 줄어드는 반비례적 관계가 나타났는데, 이는 규산성 규소가 질소와 인과 더불어 식물플랑크톤의 생물량을 결정하는 또 다른 제한요소로 작용할 수 있다는 것을 말해준다³⁰⁾.

클로로필-a 농도는 식물플랑크톤 중 가장 높은 비율로 나타나는 색소로서, 클로로필-a 농도 조사로 식물플랑크톤량의 변동을 모니터링 할 수 있다³¹⁾. 클로로필-a 농도는 0.65~20.18 $\mu\text{g/L}$ 로, 1월에 0.65~2.00 $\mu\text{g/L}$, 3월에 1.00~4.65 $\mu\text{g/L}$, 5월에 1.65~7.70 $\mu\text{g/L}$, 7월에 2.22~6.05 $\mu\text{g/L}$, 9월에 3.35~20.18 $\mu\text{g/L}$, 11월에 1.04~9.79 $\mu\text{g/L}$ 이었으며, 전 어장에서 9월에 전반적으로 높았다(Table 2~7). 연평균 부영양화 기준치인 10 $\mu\text{g/L}$ ³²⁾에는 미달하였으나, 9월에 월항, 금천, 소죽도 어장에서 10 $\mu\text{g/L}$ 이상의 값을 보이는 곳도 있어, 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

조사한 해상가두리어류양식장의 수질의 환경변화는 내만쪽에 위치한 소죽도 어장을 제외한 나머지 어장에서는 함구미 수역과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 해수 유동이 비교적 빨라서, 물질순환이 활발하기 때문에 수질특성의 변동만으로는 자가 오염을 평가하기가 쉽지 않다는 것을 나타낸다²⁵⁾.

3.2 저질환경

해저 퇴적물은 항상 해수와 접촉하고 있으므로, 퇴적물을 구성하는 입자 사이의 빈공간인 공극은 해수로 채워져 있다. 퇴적물 내에 포함된 해수의 비율은 퇴적물의 공극율과 함수관계를 가진다. 함수율이 높다는 것은 퇴적물의 연약성과도 관계가 있지만 오염되지 않은 상태에서는 통상 57%를 넘지 않는다³³⁾. 조사 기간중 24.26~65.28%로, 5월에 대두라 어장에서 가장 낮았고, 9월에 소죽도 어장에서 가장 높았다. 각 어장의 연평균 함수율은 40.95%, 40.17%, 52.91%, 56.86%, 53.37%, 52.37%, 56.39%로 소죽도 어장에서 가장 높았고, 대두라 어장에서 가장 낮았다(Table 8). 월항 어장과 소죽도 어장에서는 연평균 57% 가까이 나타나 지속적인 관찰이 필요하다.

강열감량은 퇴적물의 유기물량 측정에 있어서 가장 간편하면서도 정밀한 값을 얻을 수 있는 방법으로, 조사기간 중 3.92~10.35%로, 11월에 함구미 수역에서 가장 낮았고, 7월에 월항 어장에서 가장 높았다. 각 어장의 연평균 강열감량은 5.03%, 5.01%, 6.78%, 5.90%, 5.94%, 6.18%, 8.13%로 소죽도 어장에서 8.13%로 가장 높았고, 대두라 어장에서 5.01%로 가장 낮았다(Table 8). 팽(2003)²⁾이 가막만의 남동쪽 해역에서 조사한 2.25~14.34%의 결과와 비슷한 변동 범위를 보이고 있으며, 조 등(1994)⁷⁾이

가막만 모든 어장에서 5.02~21.11%보다는 작은 변동범위를 보였다. 우리나라에서는 기준치가 설정되어 있지 않으나, 보통 7~10%를 기준으로 삼고 있으며³³⁾, 함구미와 향대 어장에서 연평균 5.03%와 5.01%로 가장 낮았고, 소죽도 어장에서는 8.13%로 염려할 수준은 아니다.

화학적 산소요구량(S-COD)은 퇴적물의 환경을 평가하는데 중요한 척도로서 퇴적물 오염 지표로 사용되고 있다. 우리나라에서는 퇴적물의 화학적 산소요구량의 기준치가 설정되어 있지 않으나, 일본의 경우, 수산용수 기준으로 20 mg/g은 오염의 초기상태이고, 30 mg/g 이상은 오염이 진행된 상태로 판단하고 있다^{34,35)}.

조사기간 중 화학적 산소요구량은 4.99~22.47 mg/g으로, 5월에 함구미 수역에서 4.99 mg/g으로 가장 낮았고, 3월에 소죽도 어장에서 22.47 mg/g으로 가장 높았다. 각 어장의 연평균은 6.38 mg/g, 9.28 mg/g, 11.42 mg/g, 14.30 mg/g, 13.75 mg/g, 12.55 mg/g, 18.77 mg/g으로, 함구미 수역이 가장 낮았으며, 소죽도 어장에서 가장 높았다(Table 8). 모든 어장에서 오염의 기준이 20 mg/g을 넘지 않았지만, 소죽도 어장에서는 연평균 18.77 mg/g으로 오염 기준치에 가까웠으며, 시기별로 20 mg/g을 초과하는 하는 경우가 있어서, 소죽도 어장이 유기물질로 오염되어 있음을 알 수 있다.

퇴적물 내의 산화발성황화물(AVS)이 높다는 것은 퇴적물 내의 산소의 고갈과 결핍을 의미하며, 황화물의 증가는 퇴적물의 악화를 유발하여 저서생물의 서식에 영향을 주며, 조건에 따라서는 퇴적물의 상층부의 해역의 산소부족과 같은 2차적 오염을 유발하기도 한다¹²⁾. 황화물도 우리나라에서는 기준치가 설정되어 있지 않으나, 畑(1990)³⁶⁾는 어류양식 등 어장의 적정이용을 위한 퇴적물의 황화물 농도를

0.2~1.0 mg/g으로 제시하고 있다. 또한 퇴적물 중 유기물을 나타내는 지표인 저질 COD나 함수율은 계절적인 경향을 나타내어 쉽게 변화하지만, 황화물량은 유기물이 경년적으로 집적되는 경향이 있기 때문에 어장의 노화 진행척도로는 더욱 객관성이 있는 항목으로 지적하였다. 조사기간 중 퇴적물 중의 황화물은 0.004~0.640 mg/g으로, 1월에 함구미 수역에서 가장 낮았고, 7월에 소죽도 어장에서 가장 높았다. 각 어장의 연평균은 각각 0.010 mg/g, 0.063 mg/g, 0.080 mg/g, 0.091 mg/g, 0.060 mg/g, 0.044 mg/g, 0.262 mg/g로(Table 8), 저질 COD와 마찬가지로 함구미 수역이 0.010 mg/g으로 가장 낮았으나, 소죽도 어장은 0.262 mg/g으로 유기오탁 현상을 보여, 어장이용에 있어 문제 발생이 예상된다.

소죽도 어장은 가막만 내만역에 위치하고 있고 분지형태의 지형적 특성과 반시계 방향의 향류가 존재하여, 느린 조류 등 해수유동에 의한 만내 물질이 수렴되는 현상에 의해 연중 높은 유기물량을 보이는 것으로 해석되었다³⁷⁾. 대두라, 월항, 화태, 군내, 금천 어장에서는 최대 조류와 향류의 유속이 각각 100~159 cm/sec, 13.85~25 cm/sec로 북서 내만역의 16.7 cm/sec, 3.5 cm/sec 보다 훨씬 빠른 양상을 보여^{37,38,39)}, 소죽도 어장에 비해 유기물 집적이 덜 불리한 환경적 특성을 가진다. 그러나 함구미 수역에 비해 높은 COD와 황화물 함량을 보였다. 이것은 대규모 해상가두리어류양식에 따른 유기물 누적으로 퇴적물의 환원상태가 진행되고 있다고 판단된다.

해상가두리어류양식장에서 발생하는 침강고형물은 주로 어류의 배설물, 투입된 사료 중 미섭이 된 잉여사료와 같은 고농도의 유기고형물이 양식장의 저층 및 주변해역에 집중적으로

<Table 2> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, January 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(℃)	S	10.1	10.1	9.8	9.7	9.5	9.1	8.2
	B	10.1	9.9	9.7	9.7	9.6	8.9	7.8
Salinity (psu)	S	34.9	34.8	34.7	34.8	34.4	34.7	34.8
	B	34.7	34.8	34.7	34.8	34.7	34.7	34.5
pH	S	8.03	8.04	8.03	8.03	8.03	8.00	8.08
	B	8.04	8.04	8.04	8.03	8.03	8.02	8.09
DO(mg/L)	S	11.18	9.93	9.31	9.71	10.02	9.25	11.61
	B	11.11	9.82	9.25	9.78	10.06	9.29	11.52
COD(mg/L)	S	0.38	0.22	0.70	2.10	0.72	0.51	0.80
	B	0.83	1.70	0.98	0.38	2.22	0.93	0.77
DIN(mg/L)	S	0.114	0.147	0.118	0.098	0.110	0.114	0.076
	B	0.146	0.098	0.121	0.133	0.114	0.140	0.067
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.015	0.001	0.016	0.016	0.012	0.023	0.016
	B	0.020	0.015	0.018	0.015	0.014	0.016	0.024
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.158	0.115	0.118	0.071	0.094	0.088	0.175
	B	0.158	0.125	0.101	0.094	0.077	0.088	0.141
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	1.35	1.39	1.39	1.04	1.70	2.00	1.70
	B	0.70	1.39	1.39	1.70	1.35	0.65	1.35

* S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 3> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, March 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(?)	S	11.4	10.3	10.3	10.3	9.7	8.2	8.7
	B	11.1	10.2	10.3	10.2	9.0	8.7	8.6
Salinity (psu)	S	34.7	35.3	35.2	35.2	35.2	34.8	34.7
	B	35.2	34.9	35.1	35.1	34.9	34.5	34.8
pH	S	8.08	7.97	8.07	8.05	7.53	8.12	8.08
	B	8.09	8.02	8.08	8.05	7.85	8.09	8.09
DO(mg/L)	S	9.48	10.32	9.28	9.10	9.95	10.25	10.26
	B	9.37	10.30	9.25	9.13	9.90	10.22	10.30
COD(mg/L)	S	0.26	0.48	0.21	0.21	1.07	0.38	1.26
	B	0.06	0.35	0.50	0.43	0.77	0.53	0.78
DIN(mg/L)	S	0.123	0.080	0.065	0.053	0.038	0.146	0.093
	B	0.112	0.081	0.090	0.067	0.309	0.051	0.027
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.008	0.005	0.010	0.005	0.019	0.001	0.005
	B	0.004	0.007	0.007	0.008	0.005	0.003	0.004
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.381	0.229	0.178	0.169	0.114	0.044	0.125
	B	0.205	0.175	0.276	0.192	0.687	0.071	0.121
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	1.31	1.35	1.00	1.00	1.65	3.31	2.96
	B	1.00	1.00	1.31	1.00	2.31	4.65	3.31

* S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 4> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, May 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(℃)	S	19.7	17.1	18.1	17.7	19.2	19.4	19.2
	B	17.5	17.1	17.9	17.8	18.1	18.2	18.3
Salinity(psu)	S	33.3	33.9	33.6	33.5	32.7	32.8	33.4
	B	33.5	33.6	33.4	33.5	33.7	33.5	33.7
pH	S	8.15	8.10	8.10	8.10	8.11	8.10	8.08
	B	8.09	8.09	8.10	8.09	8.09	8.08	8.09
DO(mg/L)	S	8.89	8.72	7.56	8.53	8.07	8.22	8.45
	B	8.84	8.52	5.35	8.60	7.99	8.15	8.64
COD(mg/L)	S	1.02	0.90	0.06	0.51	0.94	1.06	1.28
	B	1.18	0.40	1.50	0.24	0.50	1.04	1.36
DIN(mg/L)	S	0.007	0.037	0.032	0.036	0.038	0.056	0.013
	B	0.079	0.050	0.044	0.051	0.043	0.053	0.005
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.003	0.003	0.006	0.007	0.006	0.004	0.004
	B	0.007	0.005	0.007	0.005	0.007	0.008	0.004
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.131	0.131	0.124	0.158	0.137	0.157	0.017
	B	0.134	0.114	0.690	0.184	0.144	0.181	0.121
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	1.65	3.35	3.70	3.35	4.05	7.70	5.05
	B	1.70	2.70	4.05	2.70	3.70	4.70	6.05

 * S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 5> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, July 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(℃)	S	21.9	22.0	22.3	22.9	22.4	22.8	24.2
	B	21.7	22.0	21.8	22.3	22.2	22.4	24.2
Salinity(psu)	S	32.6	32.3	32.3	32.5	32.3	32.2	31.9
	B	32.5	32.5	32.5	32.3	32.1	32.2	31.9
pH	S	8.05	8.02	8.03	8.02	8.06	8.08	8.13
	B	8.05	8.03	8.05	8.01	8.05	8.08	8.12
DO(mg/L)	S	7.18	7.02	7.38	7.83	6.57	6.94	7.67
	B	7.14	6.98	6.98	7.46	6.69	6.94	7.75
COD(mg/L)	S	0.88	1.17	1.34	0.86	0.75	0.72	1.20
	B	0.62	1.02	1.15	0.99	0.62	1.02	1.20
DIN(mg/L)	S	0.046	0.050	0.067	0.058	0.068	0.037	0.011
	B	0.042	0.051	0.056	0.054	0.054	0.043	0.012
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.001	0.005	0.004	0.007	0.008	0.004	0.003
	B	0.005	0.007	0.004	0.005	0.001	0.003	0.001
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.194	0.204	0.254	0.237	0.180	0.193	0.073
	B	0.174	0.220	0.207	0.217	0.190	0.250	0.090
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	4.00	3.31	2.22	3.35	3.00	3.70	6.05
	B	3.70	3.35	2.61	2.65	2.35	2.65	4.00

 * S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 6> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, September 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(℃)	S	25.1	24.0	24.1	24.3	24.4	24.0	24.3
	B	24.4	24.0	24.0	24.1	24.1	23.9	24.1
Salinity(psu)	S	29.9	29.7	29.8	29.5	29.5	29.4	29.3
	B	30.0	29.7	29.9	29.5	29.5	29.4	29.5
pH	S	8.33	8.27	8.23	8.27	8.19	8.25	8.23
	B	8.29	8.27	8.28	8.26	8.19	8.19	8.19
DO(mg/L)	S	6.81	7.88	7.38	7.95	7.87	7.87	10.47
	B	6.25	7.63	7.14	7.83	7.87	7.22	8.23
COD(mg/L)	S	1.30	0.37	0.88	0.72	0.70	1.17	1.66
	B	1.44	0.51	0.80	0.66	0.86	1.33	0.51
DIN(mg/L)	S	0.113	0.087	0.080	0.085	0.084	0.095	0.018
	B	0.140	0.119	0.063	0.105	0.092	0.138	0.052
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.007	0.004	0.003	0.003	0.001	0.004	0.005
	B	0.001	0.003	0.003	0.001	0.001	0.003	0.004
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.060	0.036	0.033	0.026	0.023	0.056	0.036
	B	0.043	0.033	0.020	0.043	0.043	0.053	0.063
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	10.44	3.35	11.09	7.63	5.39	20.18	19.23
	B	3.39	4.70	10.44	7.35	8.74	12.79	18.88

* S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 7> The changes of water quality in Gamak Bay of Korea, November 2007

Parameter		Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Temp.(℃)	S	14.6	14.9	14.2	14.2	14.1	12.0	11.7
	B	14.8	14.8	14.6	14.5	14.2	12.3	11.5
Salinity(psu)	S	32.2	32.3	32.4	32.2	31.9	30.8	30.9
	B	32.0	32.3	32.4	32.2	31.7	31.3	30.9
pH	S	8.18	8.18	8.18	8.18	8.09	8.13	8.16
	B	8.18	8.18	8.18	8.18	8.09	8.14	8.16
DO(mg/L)	S	8.11	7.54	8.11	8.27	8.23	8.92	9.25
	B	8.11	7.99	7.87	8.11	8.11	8.88	9.29
COD(mg/L)	S	1.54	1.01	0.93	1.15	1.52	0.59	3.07
	B	1.01	1.06	0.88	1.01	1.14	0.59	3.33
DIN(mg/L)	S	0.072	0.073	0.086	0.057	0.053	0.028	0.009
	B	0.078	0.065	0.071	0.075	0.058	0.038	0.007
PO ₄ -P(mg/L)	S	0.036	0.031	0.040	0.022	0.036	0.036	0.053
	B	0.031	0.036	0.044	0.027	0.031	0.031	0.027
Si(OH) ₄ -Si(mg/L)	S	0.238	0.232	0.279	0.232	0.194	0.202	0.084
	B	0.270	0.232	0.259	0.299	0.226	0.272	0.040
Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	S	2.70	1.04	2.00	2.39	2.04	6.44	5.40
	B	2.00	1.39	2.39	1.04	1.65	9.79	5.09

* S: Surface, B: Bottom, DIN(NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N)

<Table 8> The changes of moisture, ignition loss, chemical oxygen demand and acid volatile sulfide of sediment in Gamak Bay of Korea, 2007

Parameter*	Month	Station						
		1	2	3	4	5	6	7
Moisture (%)	Jan.	42.91	45.11	50.86	58.77	56.83	49.89	56.22
	Mar.	42.51	33.54	48.57	56.28	46.81	51.43	51.77
	May	42.84	24.26	48.57	58.91	54.74	51.43	55.07
	Jul.	40.13	41.13	56.59	57.59	51.69	53.31	51.65
	Sep.	35.85	43.63	55.66	53.93	55.83	48.67	65.28
	Nov.	41.46	53.33	57.21	55.65	54.31	59.32	58.35
	Mean	40.95	40.17	52.91	56.86	53.37	52.34	56.39
IL (%)	Jan.	5.97	6.07	6.89	6.26	6.50	7.04	10.19
	Mar.	5.84	5.47	6.79	6.54	6.43	7.28	9.20
	May	4.96	4.15	6.79	6.51	7.05	7.28	8.80
	Jul.	5.41	4.77	10.35	5.77	6.49	6.44	9.05
	Sep.	4.05	4.82	5.61	5.07	4.40	5.18	5.86
	Nov.	3.92	4.76	4.27	5.23	4.78	3.84	5.68
	Mean	5.03	5.01	6.78	5.90	5.94	6.18	8.13
S-COD (mg/g)	Jan.	6.01	10.62	12.77	14.08	14.66	12.27	19.84
	Mar.	8.02	9.65	13.41	15.44	16.17	13.39	22.47
	May	4.99	7.05	11.59	16.22	14.94	13.26	16.51
	Jul.	6.00	10.61	7.19	12.09	8.80	11.70	17.25
	Sep.	6.47	6.37	9.94	11.39	12.91	8.01	20.45
	Nov.	6.76	11.35	13.63	16.55	15.04	16.66	16.11
	Mean	6.38	9.28	11.42	14.30	13.75	12.55	18.77
AVS (mg/g)	Jan.	0.004	0.108	0.143	0.137	0.016	0.057	0.147
	Mar.	0.005	0.012	0.026	0.036	0.009	0.042	0.386
	May	0.005	0.089	0.023	0.022	0.043	0.005	0.083
	Jul.	0.005	0.093	0.112	0.183	0.136	0.057	0.640
	Sep.	0.013	0.035	0.050	0.101	0.069	0.060	0.163
	Nov.	0.028	0.041	0.127	0.066	0.085	0.041	0.155
	Mean	0.010	0.063	0.080	0.091	0.060	0.044	0.262

* IL: Ignition loss, AVS: Acid volatile sulfide

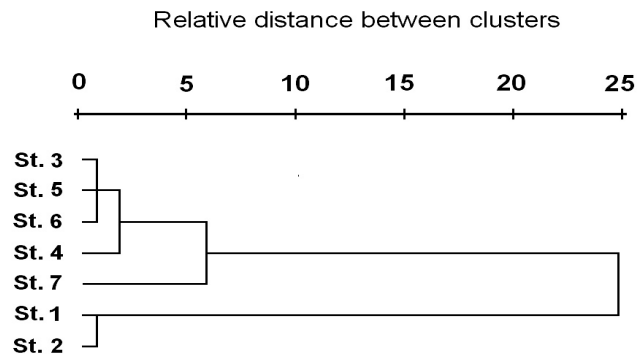


Fig 2. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at station based on factor score.

침강 퇴적된다. 그러기 때문에 퇴적환경을 명확히 하는 것은 장기 수질환경의 누적적 변화 과정을 추적하는데 매우 유효한 수단으로 해역의 환경문제를 보다 확실하게 할 수 있다⁴⁰⁾.

3.3 군집분석

조사 지점별 수질과 저질의 평균값으로 군집분석을 수행하여 분석된 결과를 덴드로그램(dendrogram)으로 나타냈다. 군집분석에서 3개 그룹으로 나누었을 때, 대조구(함구미)와 정점 2(대두라)는 오염이 적은 지역, 정점 3~6(월항, 화태, 군내, 금천)은 다소 오염이 되어있는 지역, 정점 7(소죽도)은 오염이 많이 진행된 지역으로 나눌 수 있다(Fig. 2). 앞으로, 가막만 어장의 효율적 이용을 위해서는 폐류와 해조류⁴¹⁾를 포함하여 모든 수산생물과 환경의 지속적 조사가 필요하다.

- 서 11월의 수질COD는 3.33 mg/L로 높았다.
- 저질은 함수율이 24.26~65.28%, 강열감량이 3.84~10.35%, 저질 COD가 4.99~22.47 mg/g, 황화물이 0.004~0.640 mg/g 이었다. 소죽도 어장에서 유기오탁 현상을 보였으며, 다른 어장들은 소죽도 어장에 비해 유기물 집적이 덜 불리한 환경적 특성을 가졌지만, 함구미(대조구)수역보다 저질COD와 황화물 함량이 높아서 대규모 해상가두리어류양식에 따른 유기물 누적으로 퇴적물의 환원상태가 진행되고 있다고 보여진다.
- 군집분석 결과, 함구미수역과 대두라 어장은 오염이 적은 지역, 월항, 화태, 군내, 금천어장은 다소 오염이 되어있는 지역, 소죽도 어장은 오염이 많이 진행된 지역으로 나눌 수 있었다.

참 고 문 헌

4. 결 론

여수연안 가막만에서 해상가두리어류양식어장 수역의 수질 및 퇴적물 환경의 특성을 파악하기 위해, 대조구 1지점과 해상가두리어류양식어장 6지점의 총 7지점을 선정하여 2007년 1월부터 2007년 11월까지 총 6회에 걸쳐 수질 및 퇴적물을 조사하였다.

- 수질은 수온이 8.2~25.1 °C, 염분농도가 29.3~35.3 psu, pH가 7.53~8.33, DO가 5.35~11.61 mg/L, COD가 0.06~3.33 mg/L, 용존무기질소가 0.005~0.309 mg/L, 인산성 인은 0.001~0.053 mg/L, 규산 규소가 0.017~0.690 mg/L, 클로로필-a가 0.65~20.18 µg/L이었다. 대부분의 수역에서 양호하였으나, 내만에 위치한 소죽도 어장에

- 이규형, 조규대, "가막만의 수온과 염분의 분포," 韓水誌, 23(1), 25~39(1990).
- 팽우현, "가막만에 양식어장 주변해역 수질 및 퇴적물환경 특성에 관한 연구," 여수대학교, 수산대학원, 석사학위논문, pp. 109(2003).
- 해양수산부, "가두리양식어장 정화방법 개발 연구," 한국어항협회, pp. 166(2005).
- 이규형, 장선덕, "가막만의 해수교환," 한국해양학회지, 17, 12~18(1982).
- 이규형, 최규정, "가막만의 수온, 염분 및 투명도 분포," 韓水誌, 18, 157~165(1985).
- 이규형, "駕莫灣의 養殖굴의 생산에 관한 수산 해양학적 연구," 부산수산대학교, 박사학위논문, pp. 180(1993).

7. 조현서, 유영석, 이규형, "가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동특성," 麗水水産大學校 水産科學研究所 研究報告, 3, pp. 21~33(1994)
8. 노일현, "가막만 양식장 주변해역 퇴적물중 유기물량 분포 및 기원" 여수대학교 대학원 석사학위논문, pp. 126(2003).
9. 윤호섭, 최상덕, "가막만 살조개, *Protothaca jedensis* 서식지 환경 특성," 한국양식학회지, 19(1), 7~13(2006).
10. 최상덕, 김성연, 양문호, 박중수, 라성주, 우찬열, 김두용, 정대신, "가막만 양식굴의 대량폐사에 관한 연구. I. 굴양식장 환경요인," 麗水大學校 産業技術 · 地域開發研究所 論文集, 8, pp. 259~266(1999).
11. 최상덕, 김양섭, 우찬열, 이용한, 조주현, 김두용, 최규정, "가막만에서 살포식 및 수하식 양식에 따른 피조개(*Scapharca broughtonii*)의 성장과 생존율," Bull. Fish. Sci. Inst. Yosu Nat'l Univ, 9, 122~127(2000).
12. 김귀영, "駕莫灣의 理化學的 環境特性과 堆積物에서의 物質 舉動 研究," 영남대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 68(2002).
13. 조규대, 이동식 가두리, 양식공학, 부경대학교 해양산업개발연구소, 태화출판사, pp. 332(1996).
14. FAO, The state of world fisheries and aquaculture 2002, ISBN 92-5-104842-8(2002).
15. 해양수산부, 2003년도 해양수산 주요통계, pp. 221(2004).
16. Tsutsumi, H., T. Kikuchi, M. Tanaka, T. Higashi, K. Imasaka and M. Miyazaki, "Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming," Mar. Pollut. Bull., 23, 233~238(1991).
17. Hall, P. O. J., L. G. Anderson, O. Holby, S. Kollberg and M. O. Samuelson, "Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon," Mar. Ecol. Prog. Ser., 61, 61~73(1990).
18. Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg and M. O. Samuelson, "Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen," Mar. Ecol. Prog. Ser., 98, 81~91(1992).
19. Holby, O. and P. O. J. Hall, "Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus," Mar. Ecol. Prog. Ser., 70, 263~272(1991).
20. Holby, O. and P. O. J. Hall, "Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. III. Silicon," Aquaculture, 120, 305~318(1994).
21. Black, Kenneth D, Environmental impacts of aquaculture, Sheffield Academic Press, pp. 214(2001).
22. Cho, C. H, "Mariculture and eutrophication in Jinhae Bay, Korea," Mar. Pollut. Bull., 23, 275~279(1991).
23. Lee, J. H. W., R.S.S. Wu and Y. K. Cheung, "Forecasting of dissolved oxygen in marine fish culture zone," J. Environ. Eng., 117, 816~833(1991).
24. Song, X., L. Huang, J. Zhang, X. Huang, J. Zhang, J. Yin, Y. Tan and S. Liu, "Variation of phytoplankton biomass and primary production in Daya Bay during spring and summer," Mar. Pollut. Bull., 49,

- 1036~1044(2004).
25. 권정노, "해상 어류 가두리양식장의 환경관리 모델링," 부경대학교대학원, 박사학위논문, pp. 130(2004).
26. 해양수산부, 해양환경 공정 시험 방법, pp. 400(2005).
27. Strickland, J. D. and T. R. Parsons, A Practical Handbook of Seawater Analysis, Bull. Fish. Res. Bd. Can., pp. 310(1972).
28. SCOR-Unesco Working Group 17, "Determination of photosynthetic pigments," Determination of photosynthetic pigments in sea water, Monographs on oceanographic methodology 1, Unesco (Ed.), Unesco, Paris, pp. 10~18(1966).
29. 조현서, 팽우현, 박순현, 신현출, "가막만 양식장 주변해역 수질 및 저질환경," 한국해양환경공학과 2001년도 추계학술대회 논문집, 여수대학교 pp. 67~70(2001).
30. Takano, K. and S. Hino, "The effect of silicon concentration on replacement of dominant diatom species in a silicon-rich lake," Jpn. J. Limnol. 57, 153~162 (1996).
31. Chen, D. S, and Y. B. Go, "The distribution of chlorophyll a in the neighbouring waters of Cheju Island," Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Cheju Nat. Univ, 7, 23~27(1983)
32. Yoshida, Y, "Changes in biological production in low trophic levels," (in) Fisheries Series, Koseisha Koschikaku, Tokyo, 92~103(1973).
33. 여수시, "가두리 양식어장 정화시험사업 1차 해양환경 조사용역 보고서", 국립수산물학원 여수수산물사무소, pp. 55(2008).
34. 日本水産資源保護協會, 新編水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 552(1980).
35. Izawa H, "Sampling of sediment", Water Science and Technology, Vol. 16(2), 6~10(1993). (in Japanese).
36. 畑幸彦, "II. 適正利用基準 4. 堆積物", 海面養殖と養魚場環境(水産學シリーズ 82), 渡辺 競(Ed.), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 51~68(1990).
37. 이규형, "가막만의 해수유동 Pattern," 漁業技術, 28(2), 117~131(1992).
38. 이연규, 황진연, 정규귀, "가막만 표층퇴적물 특성 및 점토광물," Jour. Korean Earth Science Society, 16(6), 477~488 (1995).
39. 추효상, "가막만 남쪽 화태도 주변의 해양 특성," 麗水水産大學校 水産科學研究所 研究報告, 7, pp. 145~157(1998).
40. 윤양호, "득량만 표층퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원," 한국환경과학회지, 12(7), 735~744(2003).
41. 임여호, "麗水 駕莫灣 垂下式 養殖場의 效率的利用을 爲한 基礎研究" 전남대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 223(2009)