

제주도내 양식장 배출수의 이화학적 특성 분석

김만철 · 장태원 · 한용재 · 김주상 · Ramasamy Harikrishnan · 오덕철¹ · 김기영² · 허문수*

제주대학교 수산생명의학과 해양과환경연구소, ¹제주대학교 생명과학과, ²제주대학교 해양생명과학과

Received March 30, 2009 / Accepted May 28, 2009

Physico-Chemical Characteristics of Aquacultural Discharging Water in Jeju Island. Man-Chul Kim, Tae-Won Jang, Yong-Jae Han, Ju-Sang Kim, Ramasamy Harikrishnan, Duck-Chul Oh¹, Ki-Young Kim² and Moon-Soo Heo*. *Department of Aquatic Life Medicine & Marine and Environmental Research Institute, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea, ¹Department of Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea, ²Department of Marine Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea* - Physical and chemical analyses of water discharged from 4 crowded farms (Sungsan, Pyosun, Wimi and Daejung) in Jeju island were performed from July, 2006 to Dec, 2006, and the result of the analyses showed that hydrogen ion concentrations (pH) for water discharged from Sungsan farm was 7.74, Pyosun was 7.68, Wimi was 7.68 and Daejung was 7.7. Salinity levels for Sungsan, Pyosun and Wimi had an average of 31~33 ‰, indicating characteristics of far distance areas, whereas that of Daejung was 28.81‰, which was far lower compared to regular sea water salinity. As the result of measuring dissolved oxygen (DO) for each area, each area showed first graded DO for each discharged water based on water quality level for each sea district. The result of measuring the temperature for discharged water showed that water temperatures for summer were 23~25°C, and those for winter were 16~18°C. Nitrogen concentrations for discharged water exceeded each sea area's water quality level in all farms. In the case of phosphate, its average value was 0.48 mg/l for Sungsan, 0.55 mg/l for Pyosun, 0.66 mg/l for Wimi, and 0.44 mg/l for Daejung, and chemical oxygen demand (COD) was shown to be 1.5 mg/l, 1.8 mg/l, 1.6 mg/l and 2.3 mg/l for Sungsan, Pyosun, Wimi and Daejung respectively. For suspended solids (SS), the average concentration was 19.3 mg/l, 21.2 mg/l, 21.3 mg/l and 18.5 mg/l for Sungsan, Pyosun, Wimi and Daejung respectively. The results of physical and chemical analyses for discharged water in farms based on time showed that almost all items were shown to increase in the forenoon and decrease, overall, in the afternoon.

Key words : Physico-chemical, discharging water, farms, Jeju

서 론

육상시설을 이용하는 양식은 날씨가 해황 변동의 영향을 직접 받지 않는다는 이점이 있어 1970년대 후반부터 보급되기 시작하였다[5].

육상 수조식 양식 산업이 지역경제의 성장과 수산업의 발전에 기여하는 바가 큰 것이 사실이지만, 양식장 배출수에 의한 연안 환경오염문제 또한 중요한 문제로 대두되고 있는 실정이다. 일반적인 육상 양식시설은 넓은 부지와 다량의 해수를 이용한 사육방식이기 때문에 유지 및 관리차원에서 비경제적이며, 배출수는 그 수량이 막대하고, 오염물질 배출농도의 변화 폭이 대단히 크다는 점 등의 제한요인들에 의하여 기존의 통상적인 물리·화학적, 생물화학적 폐수처리공법의 도입이 거의 불가능한 특성을 가지고 있다[4,12].

최근 우리나라의 연안해역은 육상으로부터 오염물질의 다량유입과 양식장의 자가오염으로 인하여 빈산소수괴가 형성

되고, 영양염류의 용출량 증가로 부영양화가 가속화되어 적조 발생과 같은 2차적인 문제가 발생하고 있다. 특히, 양식장 퇴적물은 어패류의 배설물 등에 의한 유기물의 다량 퇴적으로 연안 환경 악화를 초래하는 주원인이 되고 있으며, 수산물 생산에 커다란 장해요인이 되고 있다[8,10].

양식장에서 발생하는 오염물 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 사료의 공급에 의한 경로에 의해 발생하는 것으로 미접취 사료와 대사 작용 중 소화하지 못한 영양분, 어분, 뇨 등에 의해 수질이 오염된다[11].

이처럼 양식장에서 발생하는 오염물의 가장 큰 특징은 고형물질과 암모니아와 같은 용존 물질이 모두 포함되어 있다는 것이다. 이러한 폐쇄적 양식장은 비교적 좁은 사육조에서 많은 어류를 수용하므로 어류의 활동에 의한 수질 등 환경요소의 변화를 가져오기 쉽고, 또 양식 어류의 밀도가 높아짐에 따라 노폐물의 축적이 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 사육조 내에서는 어류의 대사 배설물이나 먹고 남은 찌꺼기 등이 여러 가지 현탁 물질로 부유하고 있으며, 이들 고형물질이 분해 되는 과정에서 생성되는 암모니아는 수중생물에 대하여 강한 독성을 야기해 큰 문제점으로 부각되고 있다[6,12].

*Corresponding author

Tel : +82-64-754-3473, Fax : +82-64-756-3493

E-mail : msheo@cheju.ac.kr

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.

육상 양식장의 경우에는 주변 해역의 해양환경이 양식 생물의 성장 및 생존에 치명적인 영향을 끼치게 된다. 이와 같이 연안 및 육상의 양식장의 양식어류를 비롯한 유용한 수산자원의 대량폐사로 인하여 수산업계에 커다란 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 양식장 주변의 해양환경의 실태와 그 특성을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하며, 해역의 효율적인 이용과 관리가 절실히 요구되고 있는 곳이기도 하다. 그러나 현재까지는 양식장 인접 해역과 대조구 해역에 대한 조사가 집중적으로 이루어지거나, 양식장 배수구를 중심으로 한 해양환경 조사는 미흡한 실정이다[2].

따라서 본 연구는 제주도내 육상수조양식장의 밀집지역 배출수의 연안 오염 실태를 정밀히 파악 및 미생물 군집을 분석하고 그 특성을 밝힘으로 차후 관련 연구를 위한 기초적인 자료를 제공하고자 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

Sampling 지역의 위치

제주도 관내 양식장 밀집 지역을 4곳(성산, 표선, 위미, 대정)으로 나누었으며, 양식장 배출수 시료가 샘플링 된 장소를 Fig. 1에 나타내었다.

시료의 채취 및 수질분석

본 실험에 사용된 배출수는 선정된 양식장을 중심으로 밀군된 11 무균 채수병을 이용하여 월 1회씩 배출수를 직접 채수하였으며, 채수 후 4°C를 유지하면서 실험실로 운반하여 분석실험을 실시하였다.

시간대별 채수의 경우 선정된 양식장을 중심으로 밀군된



Fig. 1. A map showing the sampling station on Jeju island.

11 무균 채수병을 이용하여 9:00시, 12:00시, 15:00시, 18:00시에 배출수를 직접 채수하였으며, 채수 후 4°C를 유지하면서 실험실로 운반하여 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 의거하여 수질을 분석하였다. 수온, 염분, 용존산소(DO), pH는 YSI 556 MPS (Multi-probe system)의 probe module을 현장의 배출수에 직접 담그고 그 측정값을 산출하였다. 배출수의 화학적 산소 요구량(COD)의 측정을 위하여 시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 60분간 수욕상에서 가열반응 시키고 요오드화칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하는 과망간산칼륨 법을 사용했다[1].

부유물질(SS) 및 암모니아성 질소(NH4-N) 측정

부유 물질 측정은 미리 무게를 단 유리섬유 거름종이(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 105~110°C에서 건조하여 무게를 달아 여과 전·후의 유리섬유 거름종이의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하는 방법을 사용했다. 해수중의 암모니아는 염기성 차아염소산 용액과 산화 반응하여 모노크로아민을 생성한 후, 페놀과 촉매인 니트로프러시드 그리고 과량의 차아염소산에 의해 푸른색의 인도페놀을 생성하게 된다. 이때 분광광도계 또는 자동분석기(Autoanalyzer)로 최대 흡수파장인 640 nm에서 최종 발색된 인도페놀의 흡광도를 측정하였다[9].

아질산성 질소(NO2-N) 및 질산성 질소(NO3-N) 측정

해수시료중의 아질산 질소는 일차적으로 방향족 질소 화합물인 설퍼닐아미드와 산성화에 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 다른 방향족 질소화합물인 나프틸 에틸렌아미드와 반응하여 분홍색의 용액을 생성하게 된다. 이때 분광광도계 또는 자동분석기(autoanalyzer)로 최대 흡수파장인 543 nm에서 최종 발색된 용액의 흡광도를 측정하였다. 해수시료중의 질산 질소는 구리 촉매로 처리된 카드뮴 환원관을 이용하여 아질산 질소로 환원시킨 후 아질산 질소의 측정원리에 따라 측정하였다[9].

인산인염 측정

해수시료중의 인산 인은 산성의 몰리브덴산과 반응하여 인산몰리브덴산 착화합물을 형성한 후 안티몬이 첨가된 환원용액인 아스코르빈산에 의해 환원되어 푸른색 용액을 생성하게 된다. 이때 분광광도계 또는 자동분석기로 최대 흡수파장인 845 nm에서 최종 발색된 용액의 흡광도를 측정하였다[9].

결과 및 고찰

월별 양식장 배출수의 이화학적 특성 분석

제주도내 양식장 밀집 지역을 4곳으로 나누어 2006년 7월부

터 2006년 12월까지 채집한 양식장 배출수의 이화학적 특성을 조사한 결과를 Table 1,2에 나타내었다. 성산지역 양식장 배출수의 평균 수소이온농도(pH)는 7.74로 약염기성으로 나타났다. 성산 지역은 11월의 경우 7.40으로 평월에 비하여 낮게 나타났으나, 12월에 관측결과, 7.74로 평균 수소이온농도 값으로 나타났다. 표선지역 양식장 배출수의 경우 평균 수소이온농도(pH) 값이 7.68로 나타났으며, 9월에 7.60으로 평월에 비하여 가장 낮은 수소이온농도 값을 보였으며, 표선지역의 경우 다른 지역과 달리 매월마다 불규칙한 양상을 나타내는 것으로 관측됐다. 위미지역의 양식장 배출수의 평균 수소이온농도(pH) 값이 7.68로 나타났으며, 위미지역의 양식장 배출수의 경우 7, 8, 9, 10, 12월에는 일정한 값을 보였으나, 11월의 경우 7.48로 평월에 비하여 낮은 농도 값을 보였다. 대정지역의 양식장 배출수의 경우 평균 7.7로 나타났으며, 대정지역의 배출수의 경우, 9월에 값이 7.99로 다른 지역과 달리 유독 높은 수치를 보였으며, 수소이온농도(pH)의 경우 모든 양식장 배출수에서 수치가 약염기성을 띄는 것으로 조사되었다(Table 1).

염분농도는 일반적으로 담수의 유입정도와 강우량 및 증발량 등의 영향을 받는다. 평균적인 해수의 염분농도는 평균 32.5~34.3 ‰ 정도로 알려져 있다[7]. 본 연구의 관측결과 성산, 표선, 위미지역의 양식장 배출수의 평균 염분농도가 일반적인 해수의 염분농도와 유사하게 나타났으나, 대정지역의 양식장 배출수의 경우 평균 염분농도가 28.8 ‰로 일반적인 해수의 평균염분농도에 비하여 매우 낮은 염분농도 값을 나타냈다. 해양의 염분농도의 경우 외양역은 거의 일정한 수준을 연중 유지하지만 본 조사지역과 같은 연안역, 특히 연안 육상유입수가 많은 해양에서는 육상 담수유입에 의한 저염현상을 나타내는 것으로 알려져 있다. 하지만 성산, 표선, 위미 지역의 경우 육상 담수유입이 활발히 일어나는 7월과 8월에도 31 ‰를 상회하고 나머지 조사기간 중에도 염분농도가 31~33 ‰ 범위로 외양역의 염분특성을 나타내는 것으로 나타났으나, 대정지역의 경우 외양역의 영향보다는 육상수의 유입에 따른 저염현상을 보이는 것으로 사료 된다(Table 1).

본 연구의 각 지역의 DO를 측정된 결과 성산지역의 양식장 배출수의 경우 7월과 8월에 각각 5.04, 4.88 mg/l의 해역별 수질기준으로 II등급에 이르는 낮은 DO 값이 관측됐을 뿐,

모든 지역의 배출수에서 해역별 수질기준으로 1등급에 이르는 DO 값을 보였다(Table 1).

성산, 표선, 위미, 대정 지역의 양식장 배출수를 중심으로 수온을 조사한 결과 성산지역의 경우, 7월에 24.6°C로 기록되었으나 동절기인 12월에 들면서 17.8°C로 약 7°C 가량 감소하였으며, 표선지역의 경우, 하절기인 7월에 23.9°C이었던 수온이 12월에는 16.8°C로 감소하였으며, 위미지역의 배출수의 경우, 7월에 24.1°C이었던 수온이 12월에는 17.1°C로 감소하였다. 대정지역도 다른 지역과 유사하게 하절기인 7월에 24.6°C이었던 수온이 동절기인 12월에는 16.84°C로 감소를 보였으며, 이러한 감소 폭은 성산, 표선, 위미, 대정이 모두 비슷하게 나타났(Table 1).

화학적 산소요구량(COD)은 Chemical oxygen demand의 약칭으로 화학적 산소 소비량, 또는 화학적 산소 요구량이라고도 한다. 배수 중의 유기물, 아초산염, 제1철염 등이 배수 중의 용존산소를 소비하고 수중 생물의 생육을 저해하므로, 이들의 산소 소비량을 화학적으로 정량하여 수질 오락에 있어서의 하나의 지표로 사용한다. 하지만 해수에는 무기물이 다량 함유되어 있어 생물학적 산소요구량(BOD) 측정이 불가능하여 COD를 그 지표로 사용하고 있다. 2006년 7월부터 12월까지 COD를 측정된 결과 성산, 표선, 위미 지역에서의 COD의 평균농도가 1.5 mg/l, 1.8 mg/l, 1.6 mg/l로 수조식 육상양식시설의 방류수 수질 허용 기준인 2 mg/l을 넘지 않는 것으로 나타났으나, 대정지역의 양식장 배출수의 경우, COD의 평균농도가 2.3 mg/l로 수조식 육상양식시설의 방류수 수질 허용 기준인 2 mg/l을 초과하는 것으로 나타났(Table 1).

총 질소는 인과 함께 하천과 바다에 존재하는 생물체를 성장시키는 필수 영양소로 작용할 뿐만 아니라 과다한 양이 존재 시 부영양화로 인하여 조류, 세균 등의 대량 발생을 촉발하여 수질을 악화시킨다. 해수에서 총 질소는 암모니아성 질소(NH3-N), 질산성 질소(NO3-N), 아질산성 질소(NO2-N)의 합으로 나타내는데, 주로 암모니아성 질소(NH3-N)와 질산성 질소(NO3-N)가 대부분을 차지한다[7]. 본 연구의 총 질소 농도는 성산, 표선, 위미, 대정 지역의 모든 양식장 배출수에서 해역별 수질 등급을 모두 초과 하였다. 성산지역의 경우 총 질소 농도의 평균값이 1.20 mg/l, 표선지역의 경우 1.17 mg/l로 나

Table 1. Monthly mean values of physico-chemical parameters of aquaculture waste water on Jeju island from July to December in 2006

Month	Seongsan					Pyoseon					Wimi					Daejeoung				
	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)
Jul	7.64	31.48	5.04	24.65	2.8	7.82	32.02	6.08	23.85	0.7	7.70	31.86	6.77	24.04	3.1	7.63	25.42	7.53	24.56	2.6
Aug	7.77	31.86	4.88	24.55	0.8	7.79	32.14	7.16	23.73	1.3	7.72	31.98	6.97	23.96	1.1	7.67	25.65	7.60	24.47	1.2
Sep	7.75	27.75	8.25	20.27	1.3	7.60	33.01	7.26	21.38	2.4	7.73	32.84	7.09	21.85	0.5	7.99	31.66	8.15	24.1	2.8
Oct	7.80	33.77	5.47	21.14	1.2	7.74	33.57	5.42	20.28	2.4	7.73	33.20	6.03	20.55	0.4	7.85	29.72	5.85	21.77	2.8
Nov	7.45	31.53	6.48	18.16	0.3	7.46	33.50	7.32	17.26	1.8	7.48	33.26	6.55	18.34	2.1	7.54	31.42	6.91	17.72	1.8
Dec	7.74	32.31	8.29	17.77	3.8	7.67	33.53	8.33	16.85	5.0	7.69	33.39	7.79	17.08	3.4	7.55	29.01	8.62	16.84	2.4

타났으며, 위미지역의 경우 0.97 mg/l로 다른 지역과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 평균 농도 값을 보였으며, 대정지역의 양식장 배출수의 경우 2.27 mg/l로 채수 지역 중 가장 높은 총 질소 농도로 나타났다. 이러한 결과로 비추어 볼 때 질소원을 제어할 수 있는 기술이 시급히 도입되어야 할 것으로 사료된다(Table 2).

해수의 인산인염 농도는 해양에 존재하는 생물체의 생산력을 제한하는 인자로 작용하는데 저농도의 경우 플랑크톤의 증가를 억제함으로써 바다의 생산력을 제한하는 것으로 알려져 있다[7]. 본 연구에서 양식장 배출수에서의 인산인염의 함량을 조사한 결과 성산지역의 경우 평균 0.48 mg/l, 표선지역의 경우 0.55 mg/l로 나타났으며, 가장 높은 농도를 보인 위미지역의 경우 0.66 mg/l로 조사되었으며, 대정지역의 경우 다른 지역과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 0.44 mg/l의 농도를 나타냈으며, 10월의 경우 모든 배출수에서 농도가 감소함을 확인 할 수 있었다(Table 2).

부유물질(Suspended Particulate Matter, SPM)은 해저나 육지에서 기원된 것이기 때문에 해수의 연직 혼합 및 유동 상태 등 해황을 판단하는데 유용한 지표로 사용될 수 있다. 부유물질은 식물플랑크톤의 광합성과도 관련이 있어 연안해역에서의 일차생산력 및 영양염의 분포에 영향을 주는 요인이 된다[3]. 또한 해역의 부유물질(SS)은 침전되면서 정착성 생물의 표면을 덮음으로써 호흡곤란 상태에 이르고, 부유성 생물에는 호흡기 장애를 유발시키는 요인으로 작용한다. 또한 SS 농도가 높으면 광투과 저하를 가져와 해중생물이나 식물플랑크톤의 광량저하와 광합성 량에도 막대한 지장을 초래하게 된다. 또한 SS의 양은 수조식 육상양식시설의 방류수 수질기준에 평상시 SS는 3 mg/l 이하로 급이 시에는 10 mg/l 이하로 각각 규정하고 있다. 본 연구에 성산, 표선, 위미, 대정지역의 양식장 배출수의 SS 농도를 조사한 결과 성산지역의 양식장 배출수의 경우 평균농도가 19.3 mg/l, 표선지역의 경우 평균농도가 다른 지역과 비교 시 상대적으로 높은 21.2 mg/l, 위미지역의 경우 평균농도가 21.3 mg/l로 나타났으며, 대정지역의 경우에는 18.5 mg/l의 상대적으로 낮은 농도가 나타났다. 하지만 조사한 모든 지역의 양식장 배출수가 수조식 육상양식

설의 방류 기준을 2배 이상 초과하는 것으로 조사되었다(Table 2).

시간대별 양식장 배출수의 이화학적 특성 분석

제주도내 양식장 밀집 지역을 4곳으로 나누고 각각의 지역의 양식장 배출수를 9:00, 12:00, 15:00, 18:00시에 각각 채수하여 시간대별 양식장 배출수의 이화학적 특성을 분석하였으며, 결과를 Table 3-4에 나타내었다. 평균 수소이온농도(pH)는 성산 지역의 경우 7.74, 표선지역의 경우 7.64, 위미지역의 경우 7.62, 대정지역의 경우 7.62로 모든 지역의 양식장 배출수에서 약염기성으로 나타났으며, 성산, 표선, 위미지역의 배출수의 경우 09:00시부터 15:00시까지는 점차 증가하다가 18:00시에는 전체적으로 감소하는 것으로 나타났으나 대정지역의 배출수에서의 수소이온농도(pH)는 다른 지역과 반대로 18:00시에 급격히 증가하는 양상을 보였다.

염분농도의 경우 시간대별로 큰 차이는 나타나지 않았으나 표선지역의 양식장 배출수에서 33.47 ‰로 일일 평균 염분농도가 가장 높게 나타났으며, 성산지역의 양식장 배출수의 일일 평균 염분농도는 32.37 ‰, 위미지역의 경우 33.18 ‰로 각각 나타났다. 그리고 대정지역의 경우는 29.76 ‰로 매우 낮은 염분농도를 나타냈으나 이 농도는 대정지역의 평균 염분농도인 28.81 ‰ 보다는 높은 수치였다.

해양생물서식에 있어서 없어서는 안 되는 DO는 성산지역의 양식장 배출수의 경우 일일 평균 농도가 8.98 mg/l로 나타났으며, 표선 지역의 경우 7.87 mg/l, 위미지역의 양식장 배출수의 경우 7.47 mg/l, 대정지역의 양식장 배출수에서는 8.47 mg/l로 각각 나타났다. 이러한 일일 평균 DO양은 생물 서식에 필요한 5 mg/l을 상회하는 높은 양으로 나타났다.

수온의 경우 4곳 지역의 시간대별 수온 변화는 크게 나타나지 않았으며, 각 지역의 일일 평균 수온을 살펴보면, 성산지역의 배출수의 일일 평균수온은 17.8°C로 상대적으로 가장 높게 나타났으며, 표선지역의 경우 16.9°C, 위미지역은 17°C, 대정지역의 경우에는 16.5°C로 각각 나타났다.

COD는 해역의 유기물 오염지표로 널리 사용되는 방법으로 수조식양식 시설의 방류수 기준인 평상시 2 mg/l, 급이 시

Table 2. Monthly mean values of physico-chemical parameters of aquaculture waste water on Jeju island from July to December in 2006

Month	Seongsan			Pyoseon			Wimi			Daejeoung		
	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
Jul	18	0.43	0.49	22	1.18	0.72	20.9	0.54	0.82	19.3	1.26	0.28
Aug	17.6	0.64	0.42	18.6	1.23	0.78	18.8	1.52	0.95	12.8	2.27	0.32
Sep	20.3	3.20	0.71	21.7	1.84	0.53	20.8	1.39	0.59	19.8	3.05	0.66
Oct	19.4	0.29	0.20	21.4	0.91	0.39	21	0.81	0.44	19.8	2.35	0.46
Nov	20.5	0.75	0.75	21.3	0.77	0.62	22.6	0.63	0.70	18.7	2.11	0.54
Dec	19.8	1.29	0.31	22.3	1.08	0.28	23.5	0.97	0.48	20.8	2.60	0.38

규정인 5 mg/l로 규정하고 있으며, 성산 지역의 경우 09:00시에 3.8 mg/l이었던 양식장 배출수가 12:00시 경에 2.4 mg/l까지 감소하였다가 15:00시에는 4.6 mg/l 까지 상승한 후 18:00시에는 다시 2.0 mg/l로 안정화를 되찾았다. 하지만 표선지역의 경우 12:00시경에 최고 농도인 6.2 mg/l까지 상승 후 15:00시 경에는 2.2 mg/l까지 농도가 떨어지다가 18:00시에 다시 급격한 농도로 증가되는 것을 확인 할 수 있었다. 위미지역의 화학적 산소요구량(COD) 농도는 다른 지역과는 다르게 09:00시에 16.2 mg/l까지 상승했던 농도가 계속적으로 떨어지면서 18:00시 경에는 3.4 mg/l의 농도까지 감소하였다. 대정지역의 경우 09:00시에 가장 낮은 농도를 보이다가 12:00시에는 10.8 mg/l까지 급격히 상승 하였다가 15:00에는 2.4 mg/l까지 감소 후 18:00시에는 다시 농도가 증가함을 확인하였다(Table 3).

해역에서 암모니아성 질소(NH₃-N), 질산성 질소(NO₃-N), 아질산성 질소(NO₂-N)의 합으로 나타내는 총질소의 일일 평균 농도의 경우, 성산지역의 양식장 배출수의 경우 1.03 mg/l, 표선지역의 경우 1.12 mg/l, 위미지역의 경우 상대적으로 가장 낮은 농도인 0.95 mg/l, 대정지역의 경우 4지역 중 가장 높은 농도인 2.64 mg/l로 각각 나타났으며, 성산지역의 18:00시에 채취한 배출수를 제외한 모든 배출수에서 해역별 수질 등급기준을 모두 초과하였으며, 대정, 위미, 표선지역의 경우 총질소의 농도 변화가 거의 나타나지 않았으나, 성산지역의 경우 일정하던 총질소 농도가 18:00시에 급격히 감소하는 양상을 보였다.

인산인염의 경우 위미지역의 양식장 배출수와 대정지역에서 일일 인산인염의 평균농도가 0.4 mg/l로 나타났으며, 나머지 지역인 성산과 표선지역의 평균농도는 0.3 mg/l로 나타났다. 이러한 평균농도는 4지역의 양식장 배출수 모두가 해역별 수질 등급기준을 초과하는 수치이며, 성산과 위미지역의 양식

장 배출수의 경우 0.38 mg/l, 0.48 mg/l로 가장 높은 농도를 보이는 12:00시를 기점으로 하여 농도가 0.15 mg/l, 0.33 mg/l로 각각 감소하였으나, 표선과 대정지역의 경우 성산, 위미지역과는 반대로 12:00시를 기점으로 배출수내 인산인염 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

부유물질(SS)은 성산지역의 양식장 배출수의 경우 일일 평균농도가 20.5 mg/l로 나타났으며, 표선지역의 경우 22.5 mg/l, 위미지역의 경우 상대적으로 높은 농도인 23 mg/l로 조사되었으며, 대정지역의 양식장 배출수의 경우 21.1 mg/l의 농도를 나타내었다. 각 각의 시간대별 SS의 농도의 차이가 있었으나, 모든 시간대에 농도가 수조식 육상양식시설의 방류수 수질기준인 10 mg/l을 상회하는 농도분포를 보였다(Table 4). 이러한 결과를 바탕으로 차후 제주 연안의 양식장 배출수에 대한 환경적 오염도를 평가할 수 있는 기초적인 자료로 제시 될 수 있을 것으로 사료되며, 미생물학적 군집의 분석에 있어서 미생물 분포 및 종에 대한 연관성을 연구하는데 있어 매우 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

제주도 내 양식장 밀집 지역을 4곳(성산, 표선, 위미, 대정)으로 나누어 2006년 7월부터 2006년 12월까지 채집한 양식장 배출수의 이화학적 특성을 조사한 결과, 성산지역 양식장 배출수의 평균 수소이온농도(pH)는 7.74, 표선지역은 7.68, 위미지역은 7.68, 대정지역은 7.7로 나타났다. 성산, 표선, 위미지역의 염분농도는 평균 31~33 ‰ 범위로 외양역의 염분특성을 나타내는 것으로 나타났으나, 대정지역의 양식장 배출수의 경우 평균 염분농도가 28.81 ‰로 일반적인 해수의 평균염분농도에 비하여 매우 낮은 염분농도 값을 나타냈다. 각 지역의

Table 3. Physico-chemical parameters change of aquaculture waste water at different sampling time on Jeju island

Hour	Seongsan					Pyoseon					Wimi					Daejeoung				
	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)	pH	Salinity (%)	DO (mg/l)	Tem (°C)	COD (mg/l)
09:00	7.74	32.31	8.29	17.77	3.8	7.67	33.45	8.33	16.85	5.0	7.61	33.39	7.87	17.18	16.2	7.62	30.57	8.75	16.28	2.6
12:00	7.75	32.34	8.09	17.64	2.4	7.71	33.53	7.88	16.92	6.2	7.69	33.39	7.79	17.08	10.6	7.52	29.97	8.29	16.28	10.8
15:00	7.81	32.22	8.04	17.94	4.6	7.75	33.48	8.01	17.06	2.2	7.74	32.99	7.68	16.88	3.4	7.55	29.01	8.62	16.84	2.4
18:00	7.64	32.61	7.97	18	2.0	7.44	33.04	7.27	16.94	5.4	7.44	32.96	6.55	16.89	3.4	7.8	29.48	8.23	16.65	4.0

Table 4. Physico-chemical parameters change of aquaculture waste water at different sampling time on Jeju island

Hour	Seongsan			Pyoseon			Wimi			Daejeoung		
	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
09:00	19.8	1.12	0.31	22.3	1.08	0.28	23.1	0.78	0.38	21.7	2.24	0.39
12:00	20.0	1.08	0.38	22.5	1.07	0.31	23.5	0.78	0.48	22.2	2.58	0.35
15:00	20.7	1.17	0.35	22.6	1.13	0.30	22.7	0.72	0.41	20.8	2.40	0.38
18:00	21.6	0.32	0.15	22.7	1.19	0.36	22.8	0.82	0.33	20.4	2.51	0.40

용존산소(DO) 측정 결과 배출수에서 해역별 수질기준으로 보았을 때 1등급에 이르는 용존산소(DO) 값을 보였다. 배출수의 수온을 조사한 결과 조사지역의 하절기 수온은 23~25°C, 동절기에는 16~18°C로 조사되었다.

양식장 배출수의 질소 농도는 성산, 표선, 위미, 대정 지역의 모든 양식장 배출수에서 해역별 수질 등급을 모두 초과 하였으며, 인산인염인 경우 성산지역 평균 0.48 mg/l, 표선 0.55 mg/l, 위미 0.66 mg/l, 대정 0.44 mg/l의 농도를 나타냈으며, 화학적 산소요구량(COD)를 측정된 결과 성산, 표선, 위미 지역에서의 화학적 산소요구량(COD)의 평균농도가 각각 1.5 mg/l, 1.8 mg/l, 1.6 mg/l, 대정지역은 2.3 mg/l 나타났다. 부유물질(SS) 농도를 조사한 결과 성산지역은 평균농도가 19.3 mg/l, 표선지역 21.2 mg/l, 위미지역 21.3 mg/l, 대정지역 18.5 mg/l로 조사되었다. 양식장 배출수의 시간대별 이화학적 조사결과에서는 거의 모든 항목들이 오전에는 증가하다가 오후에는 전체적으로 감소하는 양상을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 제주지역환경기술개발센터의 연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Carlberg, D. R. 1972. New baltic manual with method for sampling and analysis of physical, chemical and biological parameters. inter, council for ezporation of the sea, charlotelund slot, Dk-2920 chanlotlend, Denmark.
2. Cho, K. D., C. I. Lee., D. S. Kim, and Y. J. Yang. 2002. Oceanographic environment characteristics in waters adjacent to fish farm on land. *J. of the Environmental Sciences* **11**, 297-308.
3. Choi, J. Y., S. Y. Kim, and H. J. Kang. 2004. Distribution of suspended particulate matters in the east China sea, southern yellow sea and south sea of Korea during the winter season. *J. Korean Soc. Oceanogr.* **39**, 212-221.
4. Huh, M. and B. R. Kang. 1995. Treatment of inland aquaculture effluent by biofilm filtration process(II). *J. of KSEE* **17**, 964-965.
5. Lee, Y. D., C. Y. Kim, and M. P. Kang. 2002. A study on the sater quality characteristics of aquacultural efflents by electrolysis. *J. of KTSWT* **10**, 41-49.
6. Lee, Y. D. and C. S. Bu. 2001. The removal characteristics of organic matters and ammonia in the aqyacultural effluents by electrolysis. *J. of KTSWT* **9**, 35-43.
7. Moon, Y. G., M. C. Kim, J. B. Lee, C. B. Song, I. K. Yeo, M. J. Kim, G. T. Park, H. J. Son, W. B. Choi, and M. S. Heo. 2006. Distribution of microorganisms and physico-chemical characteristics in the Chagwi-Do coastal waters, Jeju Island. *J. of the Environ. Sci.* **15**, 271-278.
8. Murakami, K., Y. Hosokawa, and S. Talano. 1998. Monitoring on bottom sediment quality improvement by sand capping in Mikawa bay. *Bull. Coastal Oceanogr.* **36**, 83-89.
9. Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish Res. Bd Canada* **167**, 311.
10. Takeuchi, T. 1999. Possibility of water quality improvement works for environmental conservation in water areas. *Bull. Coastal Oceanogr.* **36**, 508-513.
11. Timmons, M. B. 1994. System carrying capacity and flow estimation, Aquaculture Water Reuse System; Engineering design and management. pp. 4, In Timmons, M. B. and T. M. Losordo (eds.), Elsevier, Amsterdam.
12. Yun, C. J., C. D. Heo, S. W. Kim, I. S. Kim, and Park. S. C. 1999. Ammonia removal of aquacultural water by electrochemical method. *J. of KTSWT* **21**, 1171-1177.