

강진만 생태계에서의 이화학적 특성과 미생물군집의 계절적 분포

김기성 · 이우범¹ · 주현수 · 이제철 · 조재위 · 전순배² · 이성우³ · 박종천*

서남대학교 의과대학 미생물학교실, ¹여수대학교 해양환경공학부, ²전남대학교 생명과학부, ³한국수자원공사 댐관리처

강진만 수역에서 이화학적 요인과 미생물군집의 변화를 조사하기 위해 영양염류, 수온, 투명도, 염분도, DO, COD 및 종속영양세균, 균류 그리고 분변성 대장균을 계절별로 분석하였다. 분석 결과 조사기간 동안 분변성 대장균과 종속영양세균의 개체수 변화는 각각 $16.1 \sim 166.0$ CFU/ml 과 $5.0 \times 10^3 \sim 13.1 \times 10^3$ CFU/ml 의 범위를 보였다. 또한 이들 세균군집의 정점별 평균값은 다른 정점보다 담수유입 수역인 1번 정점에서 매우 높은 밀도를 보였다. 이화학적 조사와 미생물학적 조사 결과를 고찰했을 때 강진만 생태계는 계절에 따라 2~4개 요인에 의하여 조절되는 것으로 보이며, 주로 담수유입, 영양염류, 염분도 그리고 수온 등에 의하여 영향을 받는 것으로 판단되었다. 이들 결과로 볼 때 강진만의 생태계에서 환경 요인의 영향은 다른 만 (평양만, 진해만, 마산만 등)에 비해 상대적으로 적었던 것으로 사료된다.

Key words □ ecosystem, fecal coliform, heterotrophic bacteria, Gangjin bay

연안 생태계에 있어서 미생물은 대개 분해자로 작용하여 생태계내의 각종 물질을 분해, 순환시킴으로써 환경요소와 생물체를 연결하는 역할을 하며, 이외에도 광·화학합성 작용에 의한 1차 생산자 및 각종 질병의 매체가 되기도 한다. 이와 같은 특성 때문에 미생물들은 수환경에 유입되는 각종 오염물질에 민감하게 반응한다(18). 따라서 유기물질에 의한 오염정도를 종속영양세균이나 일반균류를, 생활하수 및 병원성 미생물의 존재여부를 총대장균 또는 분변성 대장균과 분변성 연쇄상구균 (fecal streptococci) 등과 같은 세균의 상대적인 양적 비교 등을 통해 수환경의 생태계를 예측하는 연구가 많았다(1,5,8,13,17,19,21,22).

조사 수역인 강진만은 강진군 성전면의 목리교로부터 장흥군 마량에 이르는 수심이 비교적 낮고 긴 수로형태로 이루어져 있는 곳으로 다른 만에 비해 상류지역에 위치한 담진강의 담수유입 양에 따라 강진만 생태계에 많은 영향을 줄 것으로 보인다. 그런데 최근 담진강 상류에 댐이 착공되고 있기 때문에 댐 완공 후 담수 유입량의 변화가 예상됨으로써 상대적으로 각종 영양염류 및 생활오폐수 유입량의 변화가 예측되어 연안 해역에 분포하는 미생물 군집의 변동으로 인한 전반적인 강진만의 생태계 변화가 예상된다.

따라서 본 연구에서는 댐의 완공전 강진만 수역에서 종속영양세균, 일반균류, 분변성 연쇄상구균 그리고 분변성 대장균 등과 같은 미생물 군집분포와 용존산소량(DO), 화학적 산소요구량(COD), 그리고 질소성물질 등의 이화학적 특성을 계절별로 조사함으로써 이 수역의 생물학적 수질변동과 향후 강진만의 생태계 변화를 예측하는 기초자료로 활용하는데 목적을 두고자 한다.

재료 및 방법

조사기간 및 조사정점

본 연구에서 현장조사 및 시료채취는 1999년 2월, 5월, 7월 그리고 10월에 실시하였으며, 조사 수역은 전라남도 강진군에 위치한 강진만으로 조사정점은 다량의 담수유입이 이루어지는 정점 1번부터 비교적 외해 영향을 받는 비래도 남단의 정점 7번까지 총 7곳을 선정하였다(Fig. 1).

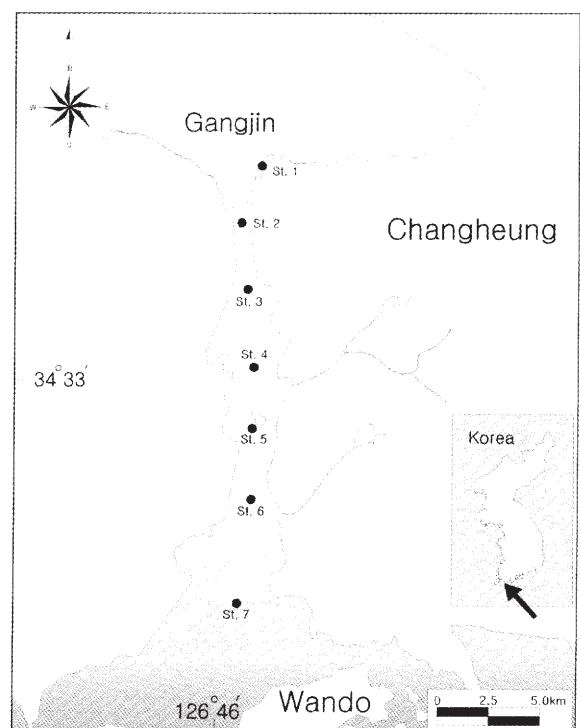


Fig. 1. A map showing sampling stations.

*To whom correspondence should be addressed.

Tel: 063-620-0343 Fax: 063-620-0345

E-mail: pjcoli@tiger.seonam.ac.kr

시료채수

시료는 Van Dorn 채수기를 이용, 해당 정점의 수면 아래 0.5 m 깊이에서 표층시료를 채수하였고, 저층수는 필요시 수심이 4 m 이상인 정점을 대상으로 실시하였으며, 채수 부위는 저질에서 1 m 상층부위에서 채수하였고, 조사를 위한 채수 시료는 멸균된 1 l 시료병에 담아 4°C로 냉장하여 실험실로 운반·분석하였다 (16).

이화학적 조사

투명도는 Secchi disk를 이용·현장 측정하였으며, 염분도는 Salinity meter (YSI #33)를 이용하여 측정하였다. 수온 (DO meter, YSI #58)과 pH (Orion EA 940)는 현장에서 직접 측정하였고, 용존산소 (DO)의 측정은 DO meter와 Winkler-Azide 방법 (16)을 병행 실시하였다. 영양염류인 암모니아성 질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$), 질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 인산염 인 ($\text{PO}_4\text{-P}$)과 부유물질은 Strickland와 Parson(24) 및 환경오염 공정시험방법(15)에 따라 분석하였으며, 화학적 산소요구량 (COD)은 Carberg(20)방법에 따라 분석하였다.

미생물의 군집조사

미생물군집 분석은 Standard Method(16)에 따랐다. 채수된 시료를 멸균된 해수로 일정량 희석 ($10^{-1}\sim 10^{-3}$)한 후, 담수성 종속 영양세균(heterotrophic bacteria, HB)은 TYG 한천 배지(0.5% tryptone, 0.25% yeast extract, 0.1% glucose, 1.5% agar)에서, 해양성 종속영양세균은 Bacto Marine agar배지 (Difco)에 접종하여 25°C로 24시간 동안 배양하였다. 그리고 균류(Fungi, FG)는 2.3% nutrient agar (Difco), 0.1% yeast extract, 0.45% peptone, 1% glucose, 0.05% chloramphenicol, 100 ml filtered sea water로 만든 배지에서 25°C로 5일간 배양하였고, 분변성 대장균군(fecal coliform, FC)은 membrane filter (Satorius, dia. 47 mm, pore size 0.45 μm)로 여과한 다음, M-FC agar (Difco)배지 (1.0% tryptone, 0.5% polypeptone, 0.3% yeast extract, 0.5% sodium chloride, 0.15% bile salts No. 3, 0.01% aniline blue)에 접종하여 vinyl bag에 밀봉한 다음, 44.5°C의 water bath에 담귀 24~36 시간 동안 배양하였다. 그리고 분변성 연쇄상구균(fecal streptococci)은 membrane filter로 여과한 다음, KF streptococcus agar (Difco)배지 (1.5% agar)에서 35°C로 48시간 동안 배양하여 나타난 colony수 (colony forming unit; CFU)를 평판계수법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

이화학적 특성

탐진강 하구인 강진만의 수역에서 계절별로 이화학적 특성을 조사한 결과는 Table 1과 같았다. 수온의 측정값은 동계의 경우 최대 11.0°C, 최소 7.0°C, 평균 8.4°C이었으며, 춘계는 18.4~22.2°C, 평균 20.3°C를 나타냈고, 하계는 23.0~26.0°C, 평균 23.8°C이었고, 추계의 경우는 17.2~19.6°C, 평균 18.3°C로 조사되었다. 따라서 연중 변화는 8.4~23.8°C로 전형적으로 수심이 낮은 하천수와 유사한 경향을 나타냈다(7). pH는 평균 7.9~8.2로

Table 1. Seasonal mean values of physico-chemical parameters in Gangjin bay

Parameters	Winter	Spring	Summer	Autumn
Tem.(°C) ^a	8.4 ± 0.7	20.3 ± 1.5	23.8 ± 0.5	18.3 ± 0.3
pH	7.9 ± 0.3	8.0 ± 0.4	8.1 ± 0.4	8.2 ± 0.3
Trans.(m) ^b	1.0 ± 0.2	0.8 ± 0.4	0.7 ± 0.4	1.1 ± 0.6
Salinity(‰)	25.1 ± 6.0	22.0 ± 13.5	21.2 ± 15.8	23.4 ± 13.8
DO(mg/l)	9.8 ± 0.3	8.6 ± 0.9	6.4 ± 0.3	8.0 ± 0.5
COD(mg/l)	3.4 ± 1.1	2.9 ± 0.81	5.6 ± 0.9	2.5 ± 0.9
SS(mg/l)	19.8 ± 45.2	15.4 ± 9.8	24.0 ± 9.2	16.1 ± 7.6
$\text{NH}_3\text{-N(mg/l)}$	0.26 ± 0.04	0.15 ± 0.07	0.16 ± 0.09	0.27 ± 0.08
$\text{NO}_3\text{-N(mg/l)}$	0.21 ± 0.08	0.23 ± 0.15	0.37 ± 0.3	0.27 ± 0.2
T-N(mg/l)	0.48 ± 0.15	0.42 ± 0.22	0.56 ± 0.39	0.54 ± 0.27
$\text{PO}_4\text{-P(mg/l)}$	0.06 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.02

a: temperature, b: transparency

조사되었으며, 전형적인 내만의 pH의 범위를 보이고 있었으며, 모든 정점에서 약 염기성 pH를 보이는 것으로 나타났다. 강진만의 경우 다량의 염류를 포함하는 해수의 특성과 비교적 일치하는 것으로 판단된다. 투명도의 연중 변화는 0.7~1.1 m로 강우가 잦은 춘계와 하계에 낮았으며, 정점별로는 0.0~1.7 m로 비교적 변화 폭이 컸는데 계절에 관계없이 정점 1번으로 갈수록 낮은 것으로 나타났다. 이는 정점 1번으로 갈수록 낮은 수심으로 인하여 저니 층의 침전물이 부유했기 때문으로 생각된다. 염분은 일반적으로 담수의 유입정도와 강우량, 증발량 등의 영향을 크게 받으며, 일반적인 해수의 염분농도는 32.5~34.3‰이다. 조사결과 각 계절별 평균 염분농도는 25.1‰(동계), 22.0‰(춘계), 21.2‰(하계), 그리고 23.4‰(추계)로 조사되었으며, 정점별로는 0.0(정점 1)~31.5‰(정점 6, 7)의 변화 폭을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 강진만의 평균 염분농도는 일반 해수에 비해 전체적으로 낮았으며, 계절별 변화의 폭은 비교적 적었다. 그렇지만 담수유입 수역인 내만과 해수의 영향을 받는 외만과는 뚜렷한 차이가 있음을 나타내고 있다. 이것은 전형적인 강하구에서의 염분농도 특성을 나타내고 있다(24). 한편, DO의 경우는 평균값이 9.8 mg/l(동계), 8.6 mg/l(춘계), 6.4 mg/l(하계), 8.0 mg/l(추계)의 분포를 각각 나타내고 있었으며, 정점별로는 1번 정점으로 갈수록 높았고 외만(정점 7번)으로 갈수록 낮아지는 경향을 보여주었다. DO는 수온 및 염분농도에 반비례하므로(4) 동계 및 내만에서는 높은 농도를, 하계 및 외만에서는 낮은 농도를 나타내고 있으며, 특히 담수유입 수역인 정점 1번의 경우는 낮은 수심으로 인한 폭기 및 하천수 유입에 의해 DO가 재보충되어 해역보다 높은 농도를 보이고 있는 것으로 판단된다. 한편 용존산소의 환경기준은 I 등급 해역에서 6.0 mg/l 이상, II 등급 및 III 등급 해역에서는 5.0 mg/l 이상임을 감안할 때(14), 강진만 전 해역은 I등급 수질환경 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 화학적 산소요구량(COD)은 BOD와 더불어 주로 유기물질의 농도를 간접적으로 나타내는 지표로서 산화제(KMnO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)를 이용, 수중의 피산화물을 이용하여 산소량을 표시하는 것으로 해수나 공장폐수와 같이 무기

물질을 함유하고 있어 BOD 측정이 불가능할 경우 일반적으로 COD를 측정한다. 4차에 걸쳐 조사된 강진만 전 해역의 COD는 1.2~11.7 mg/l 범위였으며, 계절별 평균값은 각각 3.4 mg/l(동계), 2.9 mg/l(춘계), 5.6 mg/l(하계), 그리고 2.5 mg/l로 계절별 변화 폭은 적었으며, 정점별로 보면 담수유입 수역인 1번 정점에서 3.6(춘계)~11.7 mg/l(동계)의 범위로 높게 나타났고, 7번 정점인 외만으로 갈수록 1.2~2.4 mg/l 범위로 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 이는 1번 정점의 경우 낮은 수심에 의한 저니층 유기물의 용출과 강우 등에 따른 인근 농경지와 토사의 용출 때문으로 보여지며, 동계에 특히 높은 이유는 10월 이후 식물성 사체의 증가 때문으로 판단된다. 또한 4계절 중 COD 농도가 가장 높은 하계의 경우는 잦은 강우에 따른 토사와 농경지로부터 유입되는 유기질 비료 등이 COD의 농도를 전반적으로 상승시키는 가장 큰 요인인 것으로 판단된다. 부유물질(SS)은 수중의 용존 착색물질이나 현탁입자(세균이나 플랑크톤을 포함한 미립자로 이루어진 유기물)로 이들은 어패류의 호흡을 방해함은 물론 물의 투명도를 저하시켜 광합성을 억제시킴으로써 수중의 광합성생물의 기초생산력을 저하시키는 원인으로 작용한다. 4차에 걸친 조사결과 SS의 평균값은 각각 19.8 mg/l(동계), 15.4 mg/l(춘계), 22.5 mg/l(하계), 그리고 16.1 mg/l(추계)이었으며, 정점별로 보면 강하구인 내만(정점 1)의 경우 15.8~32.0 mg/l 범위로 평균값에 비해 높았으며, 외만(정점 7)의 경우 11.5 mg/l(동계), 15.4 mg/l(춘계), 22.5 mg/l(하계), 10.0 mg/l(추계)로 SS 값의 함량이 낮은 것으로 나타났다.

영양염류의 농도를 측정하기 위해 총질소 (T-N)와 인산염 인 ($\text{PO}_4\text{-P}$)을 계절별로 조사하였다. 총질소는 인과 함께 하천과 바다에 존재하는 생물체를 성장시키는 필수 영양소로 작용할 뿐만 아니라 과다한 양이 존재할 경우 생물체의 대량생장으로 수질을 악화시킨다(18). 해수에서 총질소는 암모니아성 질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$), 아질산성 질소 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)의 합계로 나타내는데, 주로 암모니아성 질소가 대부분을 차지한다. 강진만 해역에서 질소성분 중 가장 많은 농도로 검출되는 항목은 질산성 질소와 암모니아성 질소이었으며, 아질산성 질소는 거의 검출되지 않았다. 조사결과를 보면 총질소의 평균값은 각각 0.475 mg/l(동계), 0.418 mg/l(춘계), 0.535 mg/l(하계), 그리고 0.540 mg/l(추계)이었고, 정점 7(외만)에서 정점 1번(내만)으로 갈수록 총질소 값

이 높아졌다. 총질소에 대한 해역의 수질 기준에 따르면 1 등급은 0.05 mg/l 이하, II 등급은 0.1 mg/l 이하, III 등급은 0.2 mg/l 이하로 이 기준에 의하면 강진만 전 수역은 0.2 mg/l 이상으로 III 등급의 수질을 상회하는 것으로 나타났다. 이는 계절에 관계없이 인근 육상에서 많은 질소관련 물질이 유입되기 때문으로 판단된다. 특히 하계의 경우 농경지에 사용한 복합 비료 및 토사 등이 잦은 강우에 의해 유입되어 다른 계절에 비해 다소 증가한 것으로 보이며, 춘계의 경우는 일부 수생 관속식물의 사멸 등으로 이들 분해산물의 유입량의 증가가 원인인 것으로 생각된다(7). 또한 외만의 경우 총질소의 농도가 낮아지는 요인은 해수에 의해 일부가 희석되었기 때문인 것으로 보인다. 한편 해수의 인산염 농도는 바다 생산력의 제한 인자로 작용하여 저농도의 경우 플랑크톤 수의 증가를 억제함으로써 바다의 생산력을 제한한 것으로 알려져 있다(18). 강진만 전 해역에서의 인산염 인의 평균값을 보면 동계가 0.057 mg/l을, 춘계가 0.029 mg/l을, 하계의 경우는 0.036 mg/l을, 그리고 추계는 0.037 mg/l의 농도를 각각 나타냈다. 정점별로 보면 담수유입 수역인 1번 정점이 1.494(하계)~1.759 mg/l(춘계)의 범위로 높게 나타난 반면에 7번 정점의 경우는 0.096(춘계)~0.296 mg/l(추계)로 거의 10배정도 차이가 나는 것으로 조사되었다. 이와 같이 춘계와 담수유입 수역에서 높은 농도를 보인 것은 하천 상류 식생대의 소멸에 따라 춘계에 다소 높은 결과를, 그리고 질소의 순환과는 달리 인산염 인은 유동성이 다양하지 못하여(7,25) 내만(정점 1)과 외만(정점 7)에서 비교적 많은 차이를 나타낸 것으로 보인다.

미생물군집의 분석

중속영양세균

수환경 내에 과량의 유기물이 유입되면 일시적으로 중속영양세균의 밀도와 생체량이 급증하게 되는데 그럴 경우 순간적인 조류의 번식과 더불어 용존산소를 다량 소비함으로써 심각한 혐기적 상태를 유도할 수 있다(16,18). 이처럼 수환경내의 중속영양세균은 해당 수역의 유기물 양과 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 수환경과 생물에 미치는 영향이 크므로 이들의 밀도를 분석하면 수질판정의 지표로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 수환경의 변화를 예측하는 자료로 활용할 수 있게 된다(16,17,19,21).

Table 2. Analysis results of stationary, seasonal microbial population in the Gangjin bay

Stations	Winter			Spring			Summer			Autumn		
	HB ^a	FG ^b	FC ^c	HB	FG	FC	HB	FG	FC	HB	FG	FC
1	5.4	65	166	19.9	25	55	44.0	70	920	14.2	45	768
2	1.1	15	25	6.8	12	30	14.6	15	148	1.9	35	72
3	0.4	8	3	1.1	5	22	5.2	30	53	1.6	5	34
4	0.8	10	3	2.2	5	6	4.1	15	5	1.5	5	4
5	1.0	6	2	6.1	5	0	1.9	15	17	0.2	4	4
6	1.6	5	2	5.1	5	0	8.2	15	10	0.8	3	0
7	1.7	8	0	7.5	3	0	14.1	20	9	1.2	2	0
Average	1.7	16.7	28.7	7.0	8.6	16.1	13.1	25.7	166.0	3.1	14.1	126.0

a: heterotrophic bacteria(10^3 CFU/ml), b: fungi(CFU/ml), c: fecal coliform(CFU/100 ml)

강진만에서 1999년 2월(동계), 5월(춘계), 8월(하계) 그리고 10월(추계)에 조사된 종속영양세균의 개체수 밀도 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보여준 바와 같이 종속영양세균의 개체수 변화는 0.4×10^3 CFU/ml(2월 정점 3)~ 44.0×10^3 CFU/ml(8월 정점 1)의 변화 폭을 나타냈으며, 평균 8.27×10^3 CFU/ml로 나타났는데 97년에 박 등(5)이 조사한 광양만의 10.3×10^3 CFU/ml과 비슷하였으나 마산만(10)의 78.0×10^3 CFU/ml, 그리고 진해만(6)의 66.0×10^3 CFU/ml 보다는 상당히 낮은 수치를 보여 주었다. 한편 강진만에서 강 등(1)에 의해 조사한 결과와 비교했을 때 추계를 제외한 모든 계절에 다소 증가한 것으로 나타났다(Fig. 3).

계절별 종속영양세균의 변화는 동계에 1.7×10^3 CFU/ml로 가장 낮았고 8월 하계로 갈수록 높아져 하계에 13.1×10^3 CFU/ml로 최대치를 나타내었다. 동계에서부터 하계까지 계속적으로 종속영양세균의 증가는 수온에 의해 크게 영향을 받고 있는 것으로 보여 진다. 정점별 변화는 동계의 경우 정점 3과 4번에서 낮고 정점 1에서 최대치를 나타낸 반면 춘계와 하계에는 정점 2, 3, 그리고 4에서 비교적 낮고 오히려 정점 1과 7에서 높은 개체

수를 나타내고 있다. 이러한 결과는 1번 정점의 경우 담수성과 해양성 종속영양세균이 모두 높은 밀도로 분포하고 있었고, 6과 7번 정점은 해양성 종속영양세균의 개체수 증가가 원인인 것으로 보인다(Fig. 2). 이것은 염분도 및 영양염류가 가장 큰 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

한편 종속영양세균의 개체수에 의한 수서환경의 영양화 정도를 비교함에 있어서 7월~8월의 개체수가 10^3 CFU/ml 이하이면 빈영양역, 10^3 CFU/ml~ 10^4 CFU/ml이면 부영양역, 10^3 CFU/ml~ 10^5 CFU/ml이면 과영양역 그리고 10^5 CFU/ml 이상이면 폐수역으로 구분하는데(12), 이러한 기준에 의하면 강진만은 평균 10^4 CFU/ml 정도로 거의 부영양역 수역에 속한다고 볼 수 있다.

균류

생태계 내에서 균류는 목재나 초본식물과 같은 식물성 유기물을 기질로 하여 주로 증식한다. 따라서 수환경에 유입되는 생물의 사체뿐만 아니라 종속영양세균이 분해하기 힘든 섬유소나 hemicellulose, pectin, lignin 그리고 chitin 등의 식물성 잔해를 분해하며, 수서 생태계내의 어류, 곤충, 그리고 식물체 등에 기생하

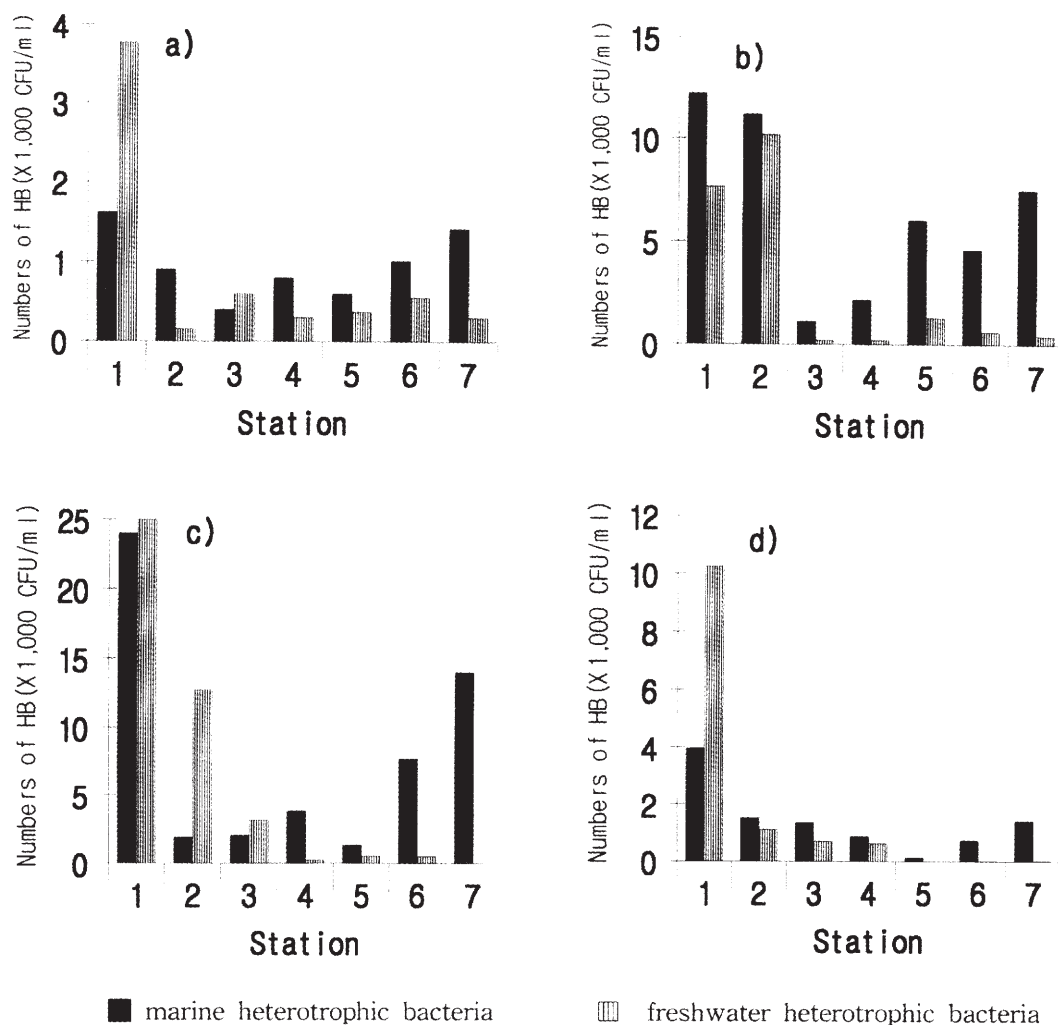


Fig. 2. Distribution of seasonal, stational marine and freshwater heterotrophic bacteria in the Gangjin bay. a) Winter b) Spring c) Summer d) Autumn.

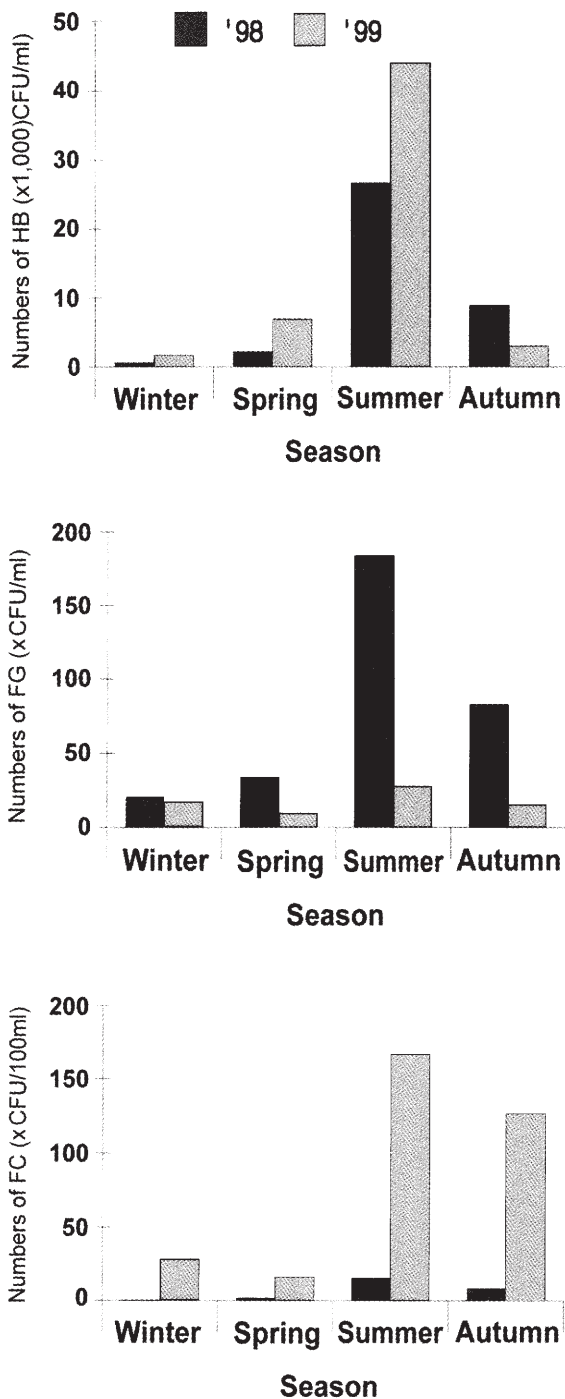


Fig. 3. Variation of annual mean values of microbial population in the Gangjin bay.

여 질병을 유발하기도 한다(3,18). 그러므로 균류의 밀도를 조사하게 되면 해수역으로 유입되는 식물성 잔해와 같은 유기물의 정도와 그에 따른 생태학적 영향을 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있게 된다(14).

조사기간 동안 균류의 개체수 변화 (Table 2)는 2.0 CFU/ml (10월 정점 4)~70 CFU/ml(8월 정점 5)의 변화 폭을 나타내었고, 평균 16.3 CFU/ml를 나타내었다. 이러한 결과는 박 등(5)이

조사한 광양만의 120.0 CFU/ml, 최와 안(10)이 조사한 마산만의 $1.7 \times 10^3 \sim 2.3 \times 10^3$ CFU/ml, 그리고 안(6)이 조사한 진해만의 2.7×10^3 CFU/ml의 그것보다는 훨씬 낮은 수치를 보여 주었다. 이는 강진만이 다른 만에 비해 식물성 유기물의 유입이 비교적 낮다고 판단되어 진다. 또한 98년 강 등(1)이 조사한 강진만의 결과에 비해서도 낮은 개체수를 보였다(Fig. 3). 이것은 이미 앞서 언급했듯이 유입수의 안정화로 인한 계절적 요인이 주로 작용했을 것으로 판단된다.

계절별 개체군의 변화는 춘계에 8.57 CFU/ml로 가장 낮았고, 하계에 평균 25.71 CFU/ml로 가장 높았다. 일반적으로 균류의 밀도는 자연적인 식물성 유기물의 유입이 많은 계절에 증가한다고 보고되고 있다(8). 따라서 광양만(5)의 경우 춘계에 가장 높은 밀도를 보여 주고 있듯이, 강진만의 경우도 춘계에 비해 추계와 동계에 높아지는 경향을 보여 광양만의 그것과 유사한 양상을 보여 주고 있다. 정점별 개체군의 변화는 정점1에서 비교적 높은 수치를 보였으나 그 외 정점에서는 변화 폭이 크게 나타나지 않았다. 이러한 이유는 식물성 유기물이 분해속도가 비교적 낮아 담수유입 지역에 집중되어 있지 않고 해류 등의 영향으로 전 수역에 고르게 분포하고 있기 때문으로 사료된다.

분변성 대장균군

일반적으로 대장균을 포함한 장내세균이 수계로 유입되면 광, 수온, 그리고 염분도 등에 의해 사멸되는데 대개 담수에서는 5일 정도 생존하는 것으로 알려져 있으나 해수에서는 담수보다는 생존 기간이 짧은 것으로 알려져 있다(23). 따라서 대장균의 분포는 인구가 밀집되어 있는 수계에서 대부분 높게 나타난다. 이러한 이유 때문에 수계의 분변성 대장균군의 존재는 인간에 의한 오염 정도를 파악할 수 있는 지표가 된다. 한편 가축의 분변에 의한 오염지표로는 분변성 연쇄상구균을 조사함으로써 예측할 수 있는데 대개 분변성 대장균군과 분변성 연쇄상구균의 비를 이용해 오염요인을 파악할 수 있다(14,22,23).

조사기간 동안 분변성 대장균의 개체수 변화는 0.0 CFU/100 ml(동계의 정점 7과 춘계의 정점 5, 6, 7 및 추계의 정점 6, 7)~920.0 CFU/100 ml(하계의 정점 2)의 변화 폭을 나타내었고, 평균 82.21 CFU/100 ml 이었다(Table 2). 이러한 결과는 박 등(5)이 조사한 광양만의 118.6 CFU/ml에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 이 수역 주변이 비교적 인구밀도가 낮아 생활 오폐수 유입량이 낮은 뿐만 아니라 유입되는 담수가 비교적 오염이 되지 않은 것으로 판단된다. 그러나 98년 결과(1)에 비해서는 4배 정도의 증가 요인이 발생한 것으로 보인다(Fig. 3).

한편 추계의 경우 분변성 연쇄상구균의 개체수 결과를 보면 정점 1에서는 3.4×10^3 CFU/100 ml를, 2번 정점은 101 CFU/100 ml를, 정점 3은 63.0 CFU/100 ml를, 그리고 정점 4부터 7 번까지는 7.0~1.0 CFU/100 ml로 분변성 대장균에 비해 많게는 20배 이상 높은 것으로 조사되어 인간에 의한 오염보다는 가축의 분변 오염이 더 많은 것으로 보여진다(22).

정점별 개체수 변화는 계절에 관계없이 정점 6과 7에서 낮고, 정점 1과 2에서 최대치를 보여 주고 있다. 이 결과로 볼 때 다른 군 중에 비해 정점별 변화가 뚜렷하고 특히 담수 유입지역에

서 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 분변성 대장균이 염분에 약하다는 사실로 미루어 볼 때(23), 이 수역의 경우도 분변성 대장균과 염분농도와의 상관관계가 높은 것으로 판단된다.

위와 같이 1999년 2월부터 10월까지 강진만 수역에서 조사된 14개 물리화학적 및 생물학적인 환경변화의 결과로 보았을 때, 비록 4번의 조사로 완벽한 결론을 내리는데 어려움은 있지만, 강진만의 생태계는 탐진강수계에 의한 담수유입과 칠량천 등의 지천으로부터 유입되는 담수 등으로 영양염류의 증가 및 염분도의 변화를 가져옴으로써 미생물군집에도 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 강진만은 광양만(5.8,11,13), 진해만(6.9,12,21) 마산만(10) 및 낙동강하구(4) 등과 달리 수심이 낮고 목리교로부터 마량에 이르는 긴 수로형태일 뿐만 아니라 만 주변지역이 비교적 인구집중도가 낮고 공장지대가 없는 특성으로 인하여 복잡한 환경요인에 의해 영향을 받기보다는 계절적인 요인인 수온 및 강우 등으로 인한 탐진강 수계의 담수유입량에 따른 영양염류의 증가 및 염분도에 크게 의존하는 것으로 보여지며, 해류 및 외해의 영향은 비교적 적은 것으로 판단된다(1). 따라서 이러한 결과는 현재 강진만의 상류지역에서 진행 중인 탐진강 다목적 댐이 완공된 이후의 조사결과와 비교함으로써 댐 건설로 인한 강진만 생태계의 환경변화에 미치는 영향정도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 1999년도 수자원공사에 지원에 의하여 수행된 연구의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강성윤, 김두홍, 주현수, 이우범, 이제철, 박종천. 1999. 강진만 생태계의 환경요인 분석. 한국환경생물학회지 17, 521-527.
2. 김지식. 1991. 만경강 하구의 저서동물과 서식환경에 관한 연구. 한국육수학회지 24, 17-26.
3. 김상진, 이건형. 1998. 해양·미생물학. 동화기술. pp.137 - 160.
4. 김원진, 이해주. 1998. 낙동강 하구의 환경요인 및 미생물 분포. 한국육수학회지 31, 25-31.
5. 박종천, 이우범, 주현수. 1998. 광양만 생태계의 미생물군집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지 16, 143-150.
6. 안태석. 1984. 진해만 생태계에 있어서 미생물 분포에 영향을 미치는 환경요인의 분석. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
7. 이건형, 이영옥, 이규춘. 1991. 만경강하류 생태계에서의 종속영양세균의 계절적분포와 이화학적 특성. 한국육수학회지 24, 27-35.
8. 위인선, 전순배, 이종빈, 나명석. 1993. 광양만 미생물군집에 관한 환경요인분석. 한국환경생물학회지 11, 11-16.
9. 최영길. 1988. 진해만의 미생물 분포. 한국미생물학회지 19, 45-51.
10. 최영길, 안태석. 1981. 마산만의 미생물 분포에 관한 연구. 환경과학연구소논문집 2, 80-92.
11. 하영칠. 1984. 광양만 생태계에서 미생물군집에 미치는 환경요인의 분석. 서울대학교 자연과학대학논문집.
12. 하영칠. 1978. 진해만 해양기초보고서. 서울대학교 미생물학과.
13. 홍순우, 하영칠, 안태석, 권오섭. 1984. 광양만 미생물 군집의 변화에 관하여. 한국환경미생물학회지 2, 42-57.
14. 환경부. 1995. 한국환경연감.
15. 환경부. 1995. 환경오염 공정시험법 (해수편).
16. APHA, AWWA, WPCF. 1993. Standard methods for the examination of water and waste water(18th ed.). APHA Washington, D.C. 1134pp.
17. Bissonnate, G.K. 1975. Influence of environmental stress on enumeration of indicator bacteria from natural waters. Appl. Environ. Microbiol. 29, 186-194.
18. Brock, T.D. 1997. Microbial activities in nature. pp. 406-456. In Biology of Microorganisms (8th ed.). Prentice-Hall, Inc., Engle Wood Cliffs, New Jersey.
19. Dahle, A.B. and M. Laak. 1982. Diversity dynamics of marine bacteria studies by immunofluorescent staining on membrane filters. Appl. Environ. Microbiol. 43, 169-176.
20. Carberg, S.R. 1972. International council for the exploration of the sea Charlottenland, Denmark. pp. 305-315.
21. Hong, S.W., O.C. Hah, and T.S. Ahn. 1986 Factor Analysis of water Quality and Ecosystem in Jinhae Bay. J. Kor. Wa. Pollut. Res. Cont. 1, 9-17.
22. Krogh, M. and L. Robinson. 1996. Environmental variable and their association with faecal coliform and faecal streptococci densities at thirteen Sydney beach. Marine Pollution Bulletin. 33, 239-248.
23. Rajala, R.L. and H. Heinonen-Tanski. 1998. Survival and transfer of faecal indicator organisms of wastewater effluents in receiving lake waters. Wat. Sci. Tech. 38, 191-194.
24. Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972 A practical handbook of sea water analysis Bull. Fish. Res. Bd. Can. No. 167. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. pp.1-311.
25. Thomas, E.A. 1975. Gewässerfeindliche Wirkung von Ohophaten in Flüssen und Bachten. Z. Hydrobiol. 37, 273-288.

(Received November 3, 2000/Accepted November 30, 2000)

ABSTRACT : Physicochemical Characteristics and Seasonal Distribution of Microbial Population in the Gangjin Bay Ecosystem

Ki-Sung Kim, Woo-Bum Lee¹, Hyun-Soo Joo, Je-Chul Lee, Jae-We Cho, Soon-Bai Chun², Sung-Woo Lee, and Jong-Chun Park*(Department of Microbiology, College of Medicine, Seonam University, Namwon 590-711, ¹Division of Oceanic Environmental Engineering, Yosu National University, Yosu 550-747, ²Division of Life Science Chonnam National University, Kwangju 500-757, ³Korea Water Resources Corporation Department of Dam Management)

To investigate the variations of physicochemical factors and microbial populations in seven stations at water region of Gangjin bay, nutritive salts, water temperature, transparency, suspended solid, salinity, COD, DO, pH, heterotrophic bacteria, fungi and fecal coliform were analysed four times from February to October, 1999. Total fecal coliform and heterotrophic bacterial population during investigation periods ranged 16.1~166.0 CFU/ml and $5.0 \times 10^3 \sim 13.1 \times 10^3$ CFU/ml, respectively. Stational mean values of these bacterial population showed higher densities at the inlet of fresh water inflow than those of other stations. When the aspects of abiotic and biotic parameters measured were analyzed, ecosystem of Gangjin bay was regulated by factors such as inflow of fresh water, nutrient salts, salinity and variation of water temperature during four seasons.