

부산 도심하천의 활성세균도 비교연구

김미희* · 정재원 · 권기원 · 빈재훈 · 박호국

환경조사과

Comparison Between Active and Total Bacterial Populations in Streams of Busan

Mi-Hee Kim[†], Jae-Won Jeong, Ki-Won Kwon, Jae-Hun Bin and Ho-Kuk Park

Environmental Research Division

Abstract

We investigated water quality of five streams in Busan by measurements of bacterial numbers and several physicochemical items from March to November, 2007. The range of mean values of total bacteria estimated by AODC method were $2.1 \times 10^4 \sim 3.1 \times 10^7$ cells mL⁻¹ and active bacteria estimated by CTC method were $2.0 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^7$ cells mL⁻¹. The average ratios of active to total bacterial numbers were 33.0% in Seonakdong river, 17.3% in Gamjeon watercourse, 41.7% in Daecheon stream, 38.7% in Oncheon stream and 54.8% in Dong stream. The average ratios of heterotrophic to total bacterial numbers were within the range of 0.8~5.2%. Meanwhile, the range of mean values of total coliforms were $0 \sim 5.0 \times 10^6$ coliform count 100mL⁻¹ and fecal coliforms were $0 \sim 1.6 \times 10^6$ coliform count 100mL⁻¹. The distribution of bacterial populations and environmental factors showed various values by months. The correlation coefficients between active bacterial numbers and environmental factors indicated by physicochemical items were 0.986(p<0.01) with total bacteria, 0.873(p<0.01) with heterotrophic bacteria, -0.762(p<0.05) with concentration of total nitrogen in Seonakdong river, 0.986(p<0.01) with total bacteria, 0.878(p<0.01) with chlorophyll-a, 0.758(p<0.05) with COD item in Daecheon stream, 0.960(p<0.01) with total bacteria, 0.843(p<0.01) with heterotrophic bacteria in Oncheon stream and 0.966(p<0.01) with total bacteria, 0.950(p<0.01) with COD item, 0.834(p<0.01) with BOD item, -0.694(p<0.05) with DO item in Dong stream, respectively

Key Words : Active bacteria, Total bacteria, AODC, CTC, Environmental factor

서론

수생태계내에서의 세균은 유기물을 분해하여 무기물로 전환시키거나 전환된 무기물을 흡수, 동화하여 영양단계가 높은 다른 생물에게 피식되어 에너지를 공급함으로써 수중 물질순환에 기여한다²⁾. 이렇듯 세균은 유기물의 분해자뿐만 아니라 영양단계가 높은 포식자의 먹이원으로서 먹이사슬과 유기물의 물질순환에도 중요한 역할을 담당하고 있으나, 수생태계내에 존재하는 미생물 혹은 미생물 유래 유전자원을 확보하기 위해 전통적으로 사용해 온 방법인 미생물의 배양은 시간이 오래 소요되며, 제한된 배지 및 배양조건에서 검출되지 않는 미생물이 대다수인 점 외에도 특정 관련 미생물을 정량적으로 해석하기에는 어려움이 있다. 배양기술만으로 얻어지는 미생물의 종류가 지극히 제한적이며 자연 서식지에서 매우 중요한 활성을 가지는 미생물들 상당수가 배양되지 않는 등 수생태계내의 전체 미생물을 파악하는 데 제한적이었으나, 최근 현미경 기술과 분

자생물학적 기법의 발달로 유전자 수준에서의 연구가 가능하게 되어, 비슷한 성질의 미생물만이 순수배양을 통해 알려지고 있고 또한 그 수는 자연계 전체 미생물의 1% 정도에 불과하다³⁾고 하였다. 수생태계의 총세균수를 측정하는 방법은 Acridine orange⁴⁾, DAPI⁵⁾ 등과 같은 염료를 이용하는 방법이 있고, 활성을 가진 세균을 측정하는 데에는 Direct Viable Count (DVC)⁶⁾와 전자전달계(ETS, electron transport system)활성을 이용하는 방법이 있다. 형광물질인 CTC (5-cyano-2,3-di-4-tolyl-tetrazolium chloride)가 호흡하는 세균을 측정하는데 이용되고 있는데 CTC-formazan의 형광성은 검출 민감도를 증가시켜, CTC 환원력이 작은 세균이나 크기가 작은 세균도 계수가 가능하게 한다⁷⁾.

국내에서 총세균수, 활성세균수의 크기 등 세균군집에 관한 연구는 대부분 호소 및 저수지를 중심으로 이루어졌으며^{8,9,10,11,12)}, 강과 하천에 대한 연구는 전무한 실정으로 오염물질을 대표로 하는 수질과 유기물질에 의한 오염 정도를 위성 지표세균인 총대

[†] Corresponding author. E-Mail: mheek@hanmail.net
Phone: 051-758-6123, Fax: 051-757-2879

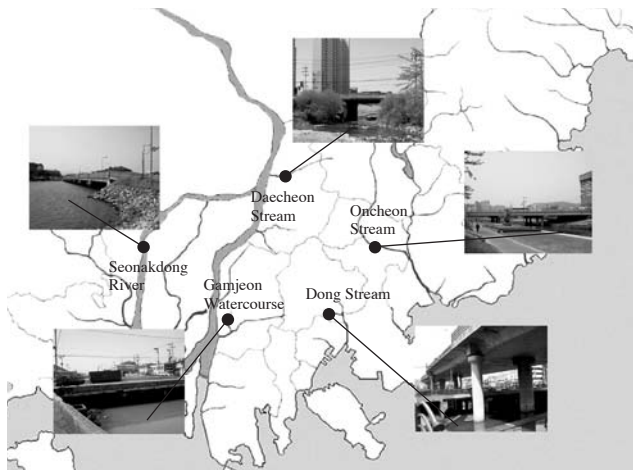


Fig. 1. Map and pictures of sampling sites

장균군을 측정하여 상대적인 양적 비교평가에 의존하고 있다.

하천은 일반적으로 지표수를 나르는 수로의 기능을 가지며 이를 통해 육지로부터 많은 양의 물질을 바다로 운반하는 물순환의 일부분이고, 각종 동식물이 존재하는 서식처로서의 기능을 가지며 특히 도시하천은 수변위락, 수변경관 감상 등의 친수기능을 가지는 귀중한 공간자원으로서의 기능이 확대되어 우리의 일상생활과 점차 밀접하게 연관되어지고 있다. 그리하여 많은 하천이 생태형 하천으로 조성되고 있으며 이와 더불어 하천환경을 평가하는 방법이 있어서도, 환경부가 BOD 등 오염물질 관리위주의 물환경 정책에서 탈피하여 생태적으로 건강한 하천과 유해물질로부터 안전한 물환경 조성을 목표로 향후 10년간(2006~2015)의 정책방향을 담은 물환경관리 기본계획(2006)을 발표함으로써 수질에 대한 평가기준이 양적인 평

가에서 질적인 평가로 전환하였다.

이에 부산의 서낙동강 및 도심하천에 대하여 다양한 하천 수 환경조건에 대한 총속영양세균이나 총대장균군, 분원성대장균군과 같은 미생물의 상대적인 양적 비교와 더불어 유전자 염색법을 이용한 총세균수와 활성세균수를 측정하여 수중생태계내의 세균군집의 크기 및 활성세균의 분포를 확인하고 다양한 이화학적 환경요인과의 상관성을 분석함으로써 하천수질을 평가하는 새로운 지표를 확립하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

연구내용 및 방법

시료 채취

시료는 Fig. 1과 같이 서낙동강, 대천천, 온천천, 동천, 감전수로 각 1지점에 대하여 2007년 3월에서 11월까지 매일 1회씩 시료를 채취하여 분석하였다. 시료를 채취한 즉시 현장측정기(YSI556, USA)를 사용하여 pH, DO, 수온, 전기전도도를 측정하고, 총세균수분석을 위한 시료는 미리 0.2 μm membrane filter (ø 25mm, Millipore)로 여과 멸균한 formalin으로 최종 2%가 되도록 고정하였고, 전 시료를 4℃로 유지하여 실험실로 옮겨와 다음의 실험을 진행하였다.

세균군집 분석

총세균수 : 시료는 미리 0.2 μm membrane filter (ø 25mm, Millipore)로 여과 멸균한 formalin으로 최종 2%가 되도록 고정하였고, 고정시킨 시료 10 mL 중 1 mL를 0.2 μm nucleopore polycarbonate filter (ø 25mm, Millipore)에 여과하였다. 시료 여과 시 1% acridine orange 용액으로 3분간 염색한 후 여과하고 공기 중에서 건조시킨 후 형광현미경(Leica DMLS, Germany)의 1,000X 배율로 직접 계수하는 AODC법으로 하

Table 1. The physicochemical parameters and their analytical method

Parameter	Unit	Method
Temperature	℃	YSI 556
pH	-	YSI 556
Conductivity	μs/cm	YSI 556
DO	mg/L	YSI 556
BOD	mg/L	Winkler-azide
COD	mg/L	Mn oxidation method
SS	mg/L	Filtered and Dried at 103-105
T-N	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)
T-P	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)
Chl-a	mg/m ³	Extract-spectrophotometric method
Phenol	mg/L	Absorptiometric Analysis
NO ₃ -N	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)
NH ₃ -N	mg/L	Absorptiometric Analysis
PO ₄ -P	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)
DTN	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)
DTP	mg/L	Photometric method(BRAN+LUEBBE)

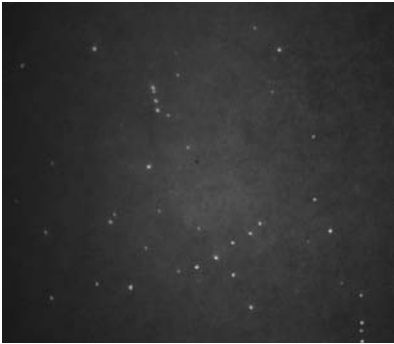


Fig. 2. CTC image of Gamjeon Watercourse

였다. 표본은 시료당 3개를 준비하였고, 총세균수는 한 표본 당 최소한 20 fields 또는 300~500 개체 이상 계수한 후 mL당 평균 세포수로 산정하였다.

활성세균수 : 채취한 시료 5 mL와 미리 멸균된 R2A broth 4 mL, 5 mM CTC (5-cyano-2,3-di-4-tolyl-tetrazolium chloride)용액 1 mL을 멸균된 시험관에 넣고, 실온(23°C)의 압실에서 1시간 동안 shaking하면서 배양한 시료 1mL를 black polycarbonate membrane filter (Nucleopore, pore size 0.2 μ m, ϕ 25mm)에 여과하여 형광현미경 1,000X 배율로 검정하였다.

중속영양세균 : 중속영양세균의 균체수는 멸균된 원충희석액으로 일정량 단계적으로 희석(10^{-1} ~ 10^{-5})한 후 R2A (Difco, USA)배지에 접종하여 25 \pm 2°C에서 3일간 배양하여 나타난 colony수 (colony forming unit: CFU)를 평판계수법으로 측정하였다.

총대장균군 및 분원성 대장균군 : 총대장균과 분원성대장균군은 수질오염공정시험방법의 시험관법에 따랐으며, 총대장균군은 추정시험 후 BGLB (Merck, Multinational Co) 배지에, 분원성 대장균군은 추정시험 후 EC (Merck, Multinational Co.) 배지에 확정시험을 거쳐 정량하였다.

일반수질 지표 항목

BOD, COD, SS, Chl-a, NH₃-N, Phenol의 분석방법은 수질오염공정시험방법에 준하였고, T-N, T-P, DTN, DTP, NO₃-N은 총인총질소자동분석기(BRAN+LUEBBE, Ger)를 이용하여 측정하였고, 사용기기 및 방법명은 Table 1에 나타내었다.

통계분석

세균 항목 결과값과 이화학 항목 결과값간의 상관성 분석은 SPSS for WINDOW (ver. 13.0)을 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

세균군집 크기 및 분포

총세균 및 활성세균 : 총세균, 활성세균(Fig. 2)의 크기는 Fig. 3과 같이, 서낙동강 2.5 $\times 10^5$ ~7.5 $\times 10^6$, 3.8 $\times 10^4$ ~3.5 $\times 10^6$, 감전수로 2.1 $\times 10^4$ ~3.1 $\times 10^7$, 2.0 $\times 10^2$ ~2.9 $\times 10^6$, 대천천 2.1 $\times 10^5$ ~6.0 $\times 10^6$, 2.5 $\times 10^4$ ~3.7 $\times 10^6$, 온천천 2.5 $\times 10^5$ ~4.4 $\times 10^6$, 4.8 $\times 10^3$ ~2.5 $\times 10^6$, 동천 1.9 $\times 10^6$ ~1.7 $\times 10^7$, 1.3 $\times 10^6$ ~1.5 $\times 10^7$ cells mL⁻¹으로 나타났다.

서낙동강은 총세균수가 8월까지 점차 증가하다가 8월 이후에는 감소하는 경향을 보였고, 감전수로로는 3월에 최대치를 보인 반면 다른 지점보다 변동성이 매우 크며, 나머지 세 지점은 8월까지 증가하다가 이후 감소한 후 11월에 다시 증가하는 경향을 보였다. 총세균수의 크기는 수질의 오염도를 평가하는 데 유용한 지표가 될 수 있는데³⁾, 호수의 영양단계에 따른 총세균수의 분포를 보면, 빈영양호에서는 0.05 $\times 10^6$ ~0.50 $\times 10^6$ cells mL⁻¹이며, 중영양호에서는 0.45 $\times 10^6$ ~1.4 $\times 10^6$ cells mL⁻¹, 부영양호에서는 2.2 $\times 10^6$ ~12.3 $\times 10^6$ cells mL⁻¹이다^{14,15)}. 이러한 기준으로 볼 때 서낙동강은 2.5 $\times 10^5$ ~7.5 $\times 10^6$ cells mL⁻¹로서 11월을 제외하고는 대부분 중영양 또는 부영양 상태를 나타내었고, 대천천은 2.5 $\times 10^5$ ~7.5 $\times 10^6$ cells mL⁻¹로서 대부분 빈영양상태이나 4, 6, 7월은 중영양상태, 8월은 부영양상태를 나타내었으며, 온천천은 7, 8, 11월은 부영양 그 외 대부분은 중영양상태를 나타내었고, 동천은 연중 부영양상태를 나타내었으며, 감전수로로는 우수의 유입이 있는 시기에는 총세균수가 증가하는 반면 우수의 유입이 없는 시기에는 수질오염도의 악화로 인하여 총세균수가 현저히 감소하는 경향을 보였다.

활성세균수는 변동성이 큰 감전수로를 제외한 지점들에서 8월까지 상승추세를 보인 후 다시 10월까지 감소하다 11월에 증가하는 추세를 보여 총세균수가 증가하는 시기에 활성세균수도 증가함으로써 총세균수와 시간에 따른 변화양상이 비슷하게 나타났다.

점차 총세균수를 100으로 보았을 때 활성세균수의 비 즉 활성도가 0.8~87.8%로 매우 다양한 분포를 보이고 있는 것으로 나타났는데, 감전수로 3월이 최저, 동천 8월이 최대를 나타내었다. 감전수로에서 최저율을 보인 것은 강우의 유입이 없는 시기에 환경의 악화로 인해 세균이 활성화가 잘 일어나지 못했기 때문으로 여겨지며, 동천에서 최대율을 보인 것은 동천복원사업의 하나로 8월에 일시적으로 중균제를 투여하여 나타난 인위적인 결과인 것으로 사료된다.

서낙동강과 동천은 3월부터 활성도가 증가하다가 8월에 최대치를 보이고 이후 10월까지 감소를 보이다 11월에 다시 증가하였으며, 대천천은 11월에 최대치를 보였고 3, 7, 8, 11월에도 높은 활성도를 보였으며, 온천천은 6월에 최대치를 보였고 8, 9, 11월에 높은 활성도를 보였으며, 감전수로로는 7, 8, 10월에 높은 활성도를 보였다. 각 지점별 평균 활성도는 서낙동강

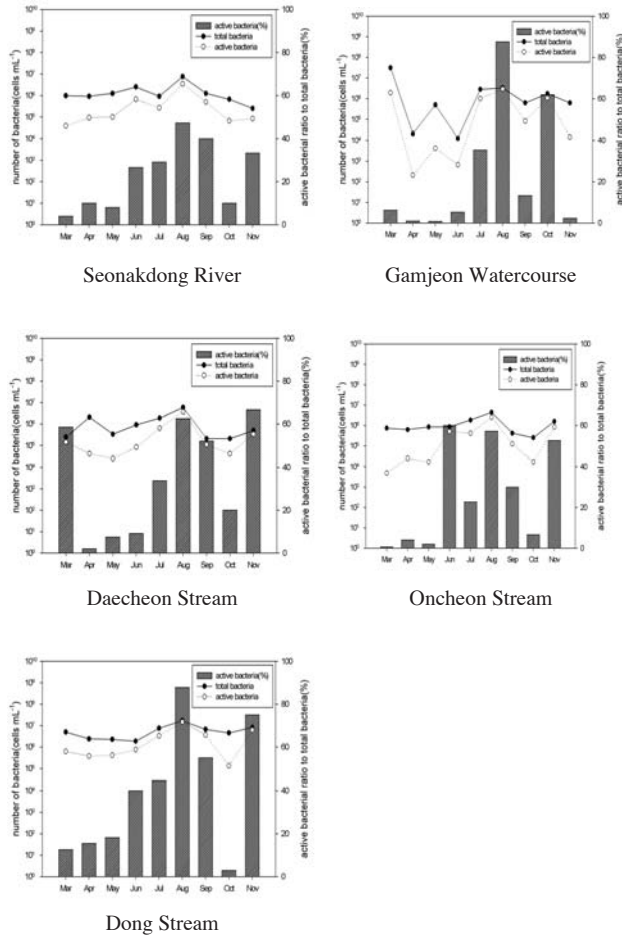


Fig. 3. The monthly variations of total and active bacterial numbers and the ratios of active to total bacteria

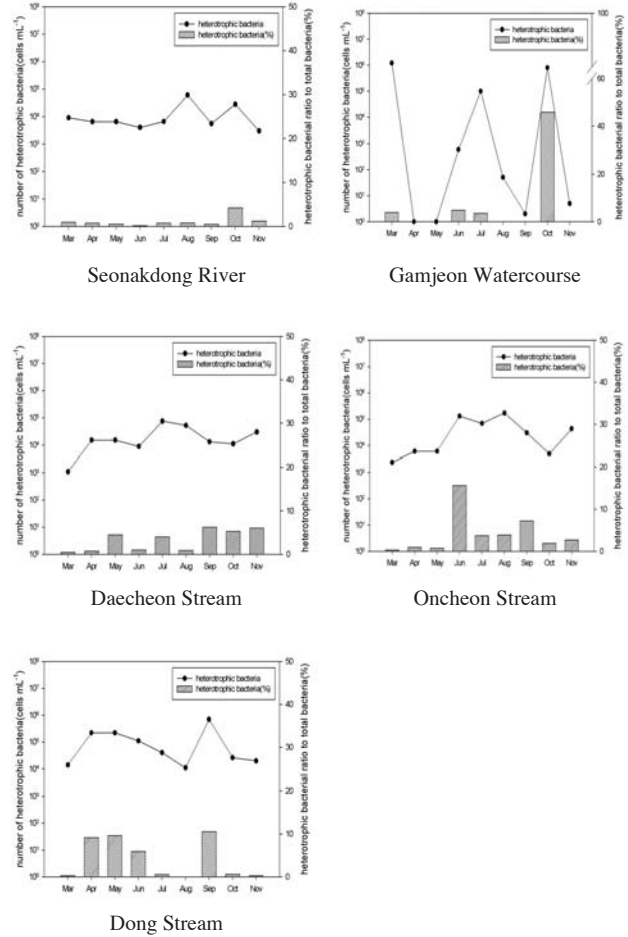


Fig. 4. The monthly variations of heterotrophic bacterial numbers and the ratios to total bacteria

33.0, 감전수로 17.3, 대천천 41.7, 온천천 38.7, 동천 54.8%를 보여 감전수로가 최저, 동천이 최대치를 나타내었다. 총세균수에 대한 활성세균수의 비율이 동천에서 높게 나타난 것은 동천이 물질순환속도가 빠르며 세균의 작용에 의한 유기물분해가 활발히 일어나고 있음을 추정할 수 있고, 다음으로 대천천, 온천천, 서낙동강, 감전수로 순으로 나타났다. 감전수로는 갈수기 오염도가 높은 시기에는 세균군집이 잘 자랄 수 없는 반면 하절기 강수량이 많아져 희석되면 총세균수 및 활성세균수가 많아지고 또한 활성세균비율이 높은 것으로 나타나 감전수로에 대하여는 유지수량이 확보되면 활성세균의 비율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

활성세균의 비율에 대한 다른 연구들을 보면, CTC를 이용한 석 등의 소양호에서 3.7~44.6%, Rodriguez 등⁷⁾의 해수에서 대략 6%, 지하수에서 88%의 결과를 보면 매우 환경에 따라 매우 다양하게 나타나는 것을 알 수 있다.

환경의 변화가 미생물의 생태계에 미치는 영향은 생태적으로 매우 중요하고, 그러한 주위환경의 상태를 나타내는 간접적

인 지표로 환경의 변화에 대해 민감하게 반응하는 세균의 분포와 활성도가 이용되고 있는데¹⁶⁾, 부산 서낙동강 및 도심하천들의 세균의 분포 및 활성비율은 최 등¹⁾, 김 등⁸⁾, 석 등⁵⁾의 다른 담수들에서의 결과와 마찬가지로 하천별로 매우 다양하게 나타나고 있다.

중속영양세균 : 중속영양세균의 크기는 서낙동강 $3.0 \times 10^3 \sim 6.1 \times 10^4$, 감전수로 $1.0 \times 10^0 \sim 1.2 \times 10^6$, 대천천 $1.1 \times 10^3 \sim 7.5 \times 10^4$, 온천천 $2.4 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^5$, 동천 $1.1 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^5$ CFU mL⁻¹로 나타났으며, 시간별 각 지점마다 다양한 추이를 보이는 것으로 나타났고, 특히 감전수로는 매우 큰 변동성을 보여주고 있다(Fig. 4).

이는 배 등⁷⁾의 금강호의 $4.1 \pm 1.0 \times 10 \sim 6.7 \pm 1.1 \times 10^3$ 에 비하여 높은 수치를 나타냈다.

총세균수에 대한 중속영양세균의 평균비는 서낙동강, 감전수로, 대천천, 온천천, 동천이 0.8, 5.2, 1.8, 4.0, 2.4%를 보여 배양에 의한 미생물은 자연계 전체 미생물의 1% 미만이라는 결과³⁾와 서낙동강은 유사한 결과를 보였지만 나머지 지점

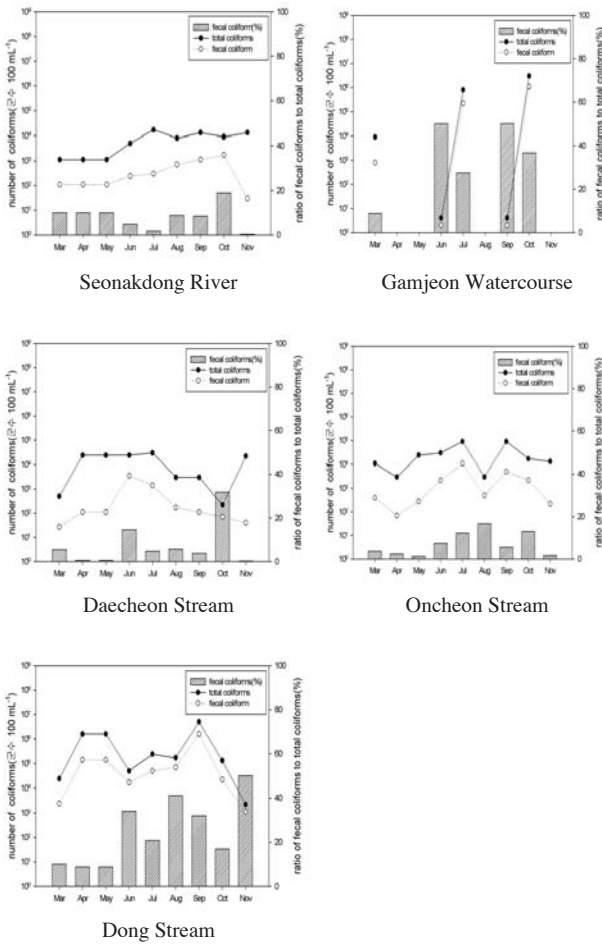


Fig. 5. The monthly variations of total and fecal coliform numbers and the ratios of fecal to total coliforms

들은 모두 1%보다 높은 비율을 보였고, 형광현미경에 의한 직접계수와 배양계수법이 10~10000배의 차이를 보인다⁸⁾와 비교하면 모두 유사한 결과를 보이고 있는 것으로 나타났다.

총대장균군 및 분원성대장균군: 분원성 지표인 총대장균군과 분원성대장균군의 크기는 Fig. 5와 같이, 서낙동강 $1.1 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^4$, $3.0 \times 10^1 \sim 1.7 \times 10^3$, 감전수로 $0.0 \sim 3.0 \times 10^6$, $0.0 \sim 1.1 \times 10^6$, 대천천 $2.2 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^4$, $2.7 \times 10^1 \sim 3.5 \times 10^3$, 온천천 $3.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^4$, $7.0 \times 10^1 \sim 1.1 \times 10^4$, 동천 $2.2 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^6$, $1.1 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^6$ 군수 100mL^{-1} 으로 나타나 동천이 최대치를 보였다. 각 지점별로 시간적 분포가 다양하게 나타났으며, 이는 수온의 상승에 비례하여 하절기에 최대를 보인다는 이 등19의 결과와 차이를 나타내었다. 종속 영양세균에 대한 총대장균군의 평균비는 각각 0.5, 1.8, 0.6, 0.6, 6.5%로 동천이 가장 높고 다음으로 감전수로가 높은 것으로 나타나 동천과 감전수로는 주변 오·하수의 유입을 추정할 수 있었다.

총대장균군에 대한 분원성대장균군의 평균비는 6.4, 34.7,

4.2, 7.8, 23.2%로 대천천이 최저, 감전수로가 최대치를 보여 감전수로가 분원성유래 세균비가 가장 높은 것으로 나타났고, 동천이 다음으로 분원성유래 세균비가 높은 것으로 나타났다.

이화학적 수질결과

각 조사지점별 주요환경요인의 평균치와 표준편차는 Table 2에 나타낸 바와 같다.

각 조사지점의 환경인자는 조사시기와 지점에 따라 많은 차이를 나타내어 하천의 다양한 환경요인을 반영하고 있다. 각 지점별 주요 환경인자의 월별 분포값은 Fig. 6과 같다.

수온은 9~31°C로 서낙동강 3월이 최저, 감전수로 8월이 최대를 나타내었고, pH는 2.2~9.4로 감전수로 11월이 최저, 온천천 11월이 최대를 나타내었는데, 특히 감전수로로는 평균 pH가 4.7으로 연중 매우 낮은 것으로 나타났는데 이는 감전수로 주변 산업체의 오·폐수의 유입에 기인하고, 온천천 11월이 최대를 나타낸 것은 겨울철 구조류의 영향인 것으로 판단된다.

DO는 0.3~18.6 mg/L로 동천 8월이 최저, 대천천 6월이 최대를 나타내었으며, 해수가 유입되는 동천이 연중 가장 낮은 값을 나타내었고, 수질이 양호한 대천천과 온천천이 높게 나타났다.

BOD는 0.1~1328.9 mg/L로 대천천 11월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었으며, COD는 0.6~980.0 mg/L로 대천천 3월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었는데, BOD와 COD는 월별 유사한 분포를 보였으며 주변 산업체로부터 오·폐수가 유입되는 것으로 추정되는 감전수로가 가장 높았고 다음으로 동천, 서낙동강, 온천천, 대천천순으로 나타났다.

TN은 1.394~464.300 mg/L로 서낙동강 8월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었고, 감전수로가 연중 가장 높게 나타났으며 다음으로 동천 순이었고, 나머지 3개 지점은 비슷한 값을 나타내었으며, TP는 0.046~4.855 mg/L로 대천천 7월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었다.

Chl-a는 0~196.6 mg/m³으로 감전수로가 최저, 동천 3월이 최대를 나타내었는데 서낙동강은 호소형 강으로 연중 조류 발생량이 높아 Chl-a이 높게 나타나고 있으며, 동천은 하천복원사업의 하나로 수중보를 가동하고 있는데 3월과 11월에는 수중보의 가동으로 인한 동천수체의 정체로 말미암아, 일시적으로 조류의 bloom이 생겨 Chl-a가 매우 높게 나타나고 있었다.

Phenol은 0.017~2.208 mg/L로 감전수로에서만 검출되었으며, 감전수를 제외한 다른 지점에서는 모두 불검출이었다.

항목 간 상관성

세균군집의 분포와 이화학 항목의 결과값 간의 상관성을 통계프로그램인 SPSS 13.0을 이용하여 요인분석(Factor analysis)을 한 결과는 Table 3, 4와 같다.

서낙동강은 총세균수에 대하여 황성세균과 종속영양세균이 0.986(p<0.01), 0.853(p<0.01)으로 가장 상관성이 높은 것으로 나타났고 그 외에 TN, DTN, NO₃-N에 대하여 -0.812(p

Table 2. Variation of some environmental parameters in streams of Busan from March to November, 2007(mean±standard deviation)

	Seonakdong River	Gamjeon Watercourse	Daecheon Stream	Oncheon Stream	Dong Stream
Temperature(°C)	17±8	18±8	20±6	20±8	16±7
pH	7.9±0.8	4.7±1.5	8.2±0.8	8.3±0.7	7.4±0.2
Conductivity(μs/cm)	671±372	4618±3703	170±56	372±158	15804±11519
DO(mg/L)	9.2±4.1	4.4±10.2	12.1±3.4	10.1±2.8	3.0±2.5
BOD(mg/L)	3.6±2.0	564.6±10.7	0.6±0.4	3.1±1.3	11.9±0.3
COD(mg/L)	6.9±1.5	448.3±15.9	1.5±0.8	5.2±1.5	12.1±8.7
SS(mg/L)	20.9±6.6	176.1±323.0	7.3±14.4	8.7±6.5	9.5±5.8
T-N(mg/L)	2.517±0.570	189.989±187.968	2.417±0.535	2.632±0.390	6.169±1.882
T-P(mg/L)	0.123±0.023	1.981±2.377	0.071±0.015	0.120±0.036	0.355±0.144
Chl-a(mg/m ³)	42.4±52.8	0.5±0.9	3.1±3.8	20.6±37.7	38.2±73.6
Phenol(mg/L)	0.000±0.000	0.631±0.651	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
NO ₃ -N(mg/L)	1.527±0.684	39.537±52.285	1.887±0.828	1.698±0.536	1.183±1.450
NH ₃ -N(mg/L)	0.324±0.251	71.381±91.702	0.061±0.060	0.357±0.326	3.773±2.525
PO ₄ -P(mg/L)	0.043±0.022	0.208±0.358	0.046±0.012	0.070±0.033	0.208±0.160
DTN(mg/L)	2.301±0.541	184.281±184.809	2.308±0.585	2.551±0.377	5.792±1.955
DTP(mg/L)	0.060±0.022	0.952±1.032	0.060±0.015	0.093±0.039	0.298±0.156

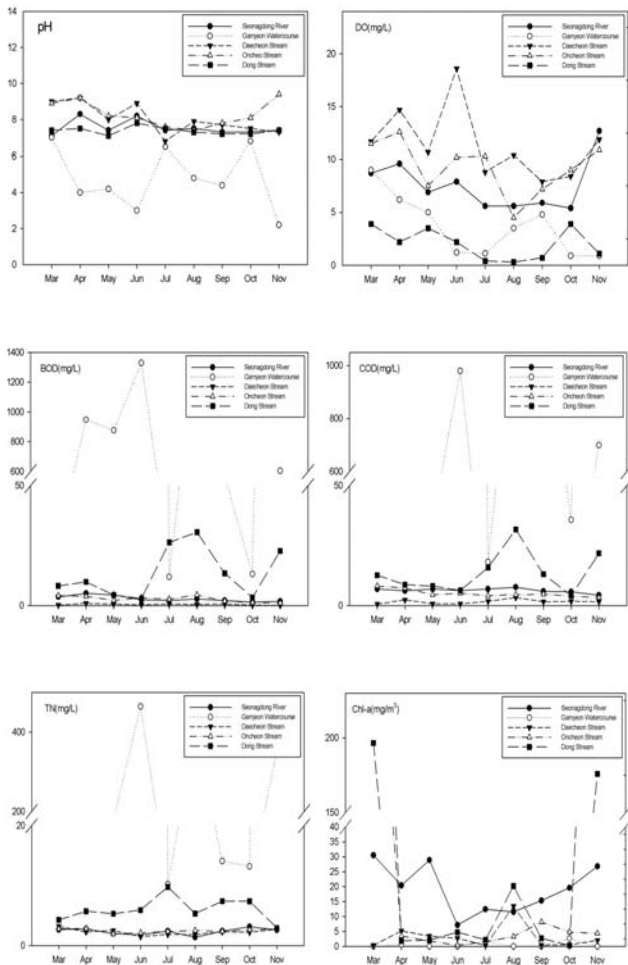


Fig. 6. The monthly variation of some environmental parameters in streams of Busan from March to November, 2007

<0.01), -0.745(p<0.05), -0.702(p<0.05)으로 높은 음의 상관성을 나타내었고, 감전수로는 Phenol에 대하여 0.849(p<0.01)로 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 다음으로 종속영양세균, DO에 대하여 0.756(p<0.05), 0.671(p<0.05)의 상관성을 나타내었다. 대천천은 활성세균, Chl-a, COD에 대하여 0.937(p<0.01), 0.916(p<0.01), 0.837(p<0.01)로 높은 상관성을 나타내었고, 온천천은 활성세균과 종속영양세균에 대하여 0.960(p<0.01), 0.778(p<0.015)로 높은 상관성을 보였으며, 동천은 활성세균, COD, BOD에 대하여 0.966(p<0.01), 0.937(p<0.01), 0.860(p<0.01)으로 높은 상관성을 나타내었다. 대체로 총세균수에 대하여 활성세균, 종속영양세균 군집간의 상관성이 높은 것으로 나타났고 그 이외의 항목을 보면, 서낙동강은 영양염류 중 질소계에 높은 음의 상관성을 보였고, 감전수로는 독성물질인 Phenol, 대천천은 Chl-a 즉 algae, COD, 동천은 유기물질인 COD, BOD에 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

김 등²⁰은 소양호에서 총세균수가 수온, Chl-a, PO₄-P에 높은 양의 상관, DO에 음의 상관을 보였는데, 이는 감전수로를 제외한 4개 지점에서 총세균수에 대하여 수온이 양의 상관성을 보이고, DO는 3개 지점이 음의 상관을 보여 김 등의 결과와 일치하였다. 또한 Chl-a는 대천천만이 높은 양의 상관을 보이고, PO₄-P는 4개 지점이 음의 상관을 보여 다소 상이한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 감전수로서 Phenol에 높은 양의 상관을 나타내는 것은 Phenol에 대하여 높은 이용능을 가진 세균군집의 존재 가능성을 추측케 한다.

활성세균수에 대한 항목간 상관성은 서낙동강이 총세균수에 대하여 0.986(p<0.01), 종속영양세균 0.873(p<0.01), TN -0.762(p<0.05), DTN -0.675(p<0.05)의 상관성을 보였고, 감

Table 3. Correlation coefficients($p < 0.05$) of each properties and total bacteria

	Seonakdong River	Gamjeon Watercourse	Daecheon Stream	Oncheon Stream	Dong Stream
	r	r	r	r	r
Temperature	0.551	-0.487	0.402	0.508	0.582
pH	0.101	0.559	-0.017	-0.415	-0.210
Conductivity	0.569	-0.333	-0.223	0.625	0.626
DO	-0.374	0.671*	0.013	-0.572	-0.645
BOD	-0.006	0.322	0.272	0.436	0.860**
COD	0.623	-0.351	0.837**	-0.259	0.937**
SS	0.580	-0.139	-0.177	-0.406	0.259
Total bacteria	1	1	1	1	1
Active bacteria	0.986**	0.504	0.937**	0.960**	0.966**
Heterotrophic bacteria	0.853**	0.756*	0.591	0.778*	-0.200
Total coliform	0.045	-0.105	0.033	-0.172	-0.089
Fecal coliform	0.064	-0.110	0.156	-0.021	0.026
TN	-0.812**	-0.307	-0.461	0.012	-0.057
TP	0.387	0.087	-0.272	0.510	0.232
Chl-a	-0.491	-0.167	0.916**	-0.173	0.109
Phenol	(a)	0.849**	(a)	(a)	(a)
NO ₃ -N	-0.702*	-0.282	-0.138	-0.053	-0.580
NH ₃ -N	0.015	-0.213	0.391	0.414	-0.194
PO ₄ -P	-0.021	-0.140	-0.077	0.312	-0.104
DTN	-0.745*	-0.304	-0.496	0.055	-0.083
DTP	0.064	-0.132	-0.085	0.201	0.106

* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

(a) : Cannot be computed because at least one of the variables is constant

Table 4. Correlation coefficients($p < 0.05$) of each properties and active bacteria

	Seonakdong River	Gamjeon Watercourse	Daecheon Stream	Oncheon Stream	Dong Stream
	r	r	r	r	r
Temperature	0.558	0.249	0.339	0.492	0.579
pH	0.034	0.579	-0.165	-0.547	-0.127
Conductivity	0.469	-0.596	-0.299	0.634	0.631
DO	-0.354	0.190	-0.160	-0.498	-0.694*
BOD	-0.098	-0.606	0.011	0.410	0.834**
COD	0.544	-0.586	0.758**	-0.293	0.950**
SS	0.491	-0.331	-0.065	-0.382	0.192
Total bacteria	0.986**	0.504	0.937**	0.960**	0.966**
Active bacteria	1	1	1	1	1
Heterotrophic bacteria	0.873**	0.447	0.558	0.843**	-0.159
Total coliform	0.130	0.113	-0.174	-0.250	-0.076
Fecal coliform	0.087	-0.116	0.062	-0.131	0.018
TN	-0.762*	-0.551	-0.337	0.033	-0.170
TP	0.408	0.357	-0.310	0.537	0.226
Chl-a	-0.492	-0.167	0.878**	-0.232	0.054
Phenol	(a)	0.258	(a)	(a)	(a)
NO ₃ -N	-0.662	-0.481	-0.122	-0.181	-0.567
NH ₃ -N	0.075	-0.377	0.266	0.477	-0.325
PO ₄ -P	0.050	-0.347	0.082	0.348	-0.217
DTN	-0.675*	-0.545	-0.394	0.052	-0.219
DTP	0.198	-0.362	-0.165	0.282	0.070

* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

(a) : Cannot be computed because at least one of the variables is constant

전수로는 0.05 유의수준의 상관성을 나타내는 항목이 없었으며, 대천천은 총세균수 0.937(p<0.01), Chl-a 0.878(p<0.01), COD 0.758(p<0.05), 온천천은 총세균수 0.960(p<0.01), 종속영양세균 0.843(p<0.01), 동천은 총세균수 0.966(p<0.01), COD 0.950(p<0.01), BOD 0.834(p<0.01), DO -0.694(p<0.05) 순으로 높은 상관성을 보였다. 활성세균수에 대하여도 세균군집 간에 높은 상관성을 나타내었으며, 활성세균수에 대한 항목간의 상관성도 총세균수와 유사하게 나타났다. 총세균수에 대한 활성세균수의 비율이 높은 동천과 대천천이 COD 즉 유기물에 대하여 높은 상관성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

결 론

부산시 도심하천의 수환경조건에 대한 종속영양세균이나 총대장균군, 분원성대장균군과 같은 미생물의 상대적인 양적 비교와 더불어 유전자 염색법을 이용한 총세균수와 활성세균수를 측정하여 수중생태계내의 세균군집의 크기 및 분포를 확인하고 이화학적 항목과의 상관성을 분석함으로써 하천수질을 평가하는 새로운 지표를 확립하기 위한 기초자료를 얻고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 총세균, 활성세균의 크기는 서낙동강 $2.5 \times 10^5 \sim 7.5 \times 10^6$, $3.8 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^6$, 감전수로 $2.1 \times 10^4 \sim 3.1 \times 10^7$, $2.0 \times 10^2 \sim 2.9 \times 10^6$, 대천천 $2.1 \times 10^5 \sim 6.0 \times 10^6$, $2.5 \times 10^4 \sim 3.7 \times 10^6$, 온천천 $2.5 \times 10^5 \sim 4.4 \times 10^6$, $4.8 \times 10^3 \sim 2.5 \times 10^6$, 동천 $1.9 \times 10^6 \sim 1.7 \times 10^7$, $1.3 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^7$ cells mL⁻¹으로 나타났다. 서낙동강은 총세균수가 8월까지 점차 증가하다가 8월 이후에는 감소하는 경향을 보였고, 감전수로는 3월에 최대치를 보인 반면 다른 지점보다 변동성이 매우 크며, 나머지 세 지점은 8월까지 증가하다가 이후 감소한 후 11월에 다시 증가하는 경향을 보였다. 총세균수를 100으로 보았을 때 활성세균수의 비 즉 활성도가 0.8~87.8%로, 각 지점별 평균 활성도는 서낙동강 33.0, 감전수로 17.3, 대천천 41.7, 온천천 38.7, 동천 54.8%를 보여 감전수가 최저, 동천이 최대를 나타냈다.

2. 종속영양세균의 크기는 서낙동강 $3.0 \times 10^3 \sim 6.1 \times 10^4$, 감전수로 $1.0 \times 10^0 \sim 1.2 \times 10^6$, 대천천 $1.1 \times 10^3 \sim 7.5 \times 10^4$, 온천천 $2.4 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^5$, 동천 $1.1 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^5$ CFU mL⁻¹으로 나타났으며, 각 지점마다 다양한 추이를 보이는 것으로 나타났고, 특히 감전수로는 매우 큰 변동성을 보여주고 있다. 총세균수에 대한 종속영양세균의 평균비는 서낙동강, 감전수로, 대천천, 온천천, 동천이 0.8, 5.2, 1.8, 4.0, 2.4%를 보여 형광현미경에 의한 직접계수와 배양계수법이 약 20~100배의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

3. 분원성 지표인 총대장균군과 분원성대장균군의 크기는 서낙동강 $1.1 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^4$, $3.0 \times 10^1 \sim 1.7 \times 10^3$, 감전수로 $0.0 \sim 3.0 \times 10^6$, $0.0 \sim 1.1 \times 10^6$, 대천천 $2.2 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^4$, $2.7 \times 10^1 \sim 3.5 \times 10^3$, 온천천 $3.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^4$, $7.0 \times 10^1 \sim$

1.1×10^4 , 동천 $2.2 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^6$, $1.1 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^6$ 균수 100mL⁻¹으로 나타나 동천이 최대치를 보였다. 종속영양세균에 대한 총대장균군의 평균비는 각각 0.5, 1.8, 0.6, 0.6, 6.5%로 동천이 가장 높은 것으로 나타났고, 총대장균군에 대한 분원성대장균군의 평균비는 6.4, 34.7, 4.2, 7.8, 23.2%로 대천천이 최저, 감전수로는 최대치를 보여 감전수로가 분원성유래 세균비가 가장 높은 것으로 나타났다.

4. 수온은 9~31℃로 서낙동강 3월이 최저, 감전수로 8월이 최대를 나타내었고, pH는 2.2~9.4로 감전수로 11월이 최저, 온천천 11월이 최대를 나타내었으며, DO는 0.3~18.6 mg/L로 동천 8월이 최저, 대천천 6월이 최대를 나타내었다. BOD는 0.1~1328.9 mg/L로 대천천 11월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었으며, COD는 0.6~980.0 mg/L로 대천천 3월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었다. SS는 0.2~1105.8 mg/L로 대천천 9월이 최저, 감전수로 11월이 최대, TN은 1.394~464.300 mg/L로 서낙동강 8월이 최저, 감전수로 6월이 최대, TP는 0.046~4.855 mg/L로 대천천 7월이 최저, 감전수로 6월이 최대를 나타내었다. Chl-a는 0~196.6 mg/m³으로 감전수로가 최저, 동천 3월이 최대치를 나타내었으며, Phend은 0.017~2.208 mg/L로 감전수로에서만 검출되었으며, 감전수로를 제외한 다른 지점에서는 모두 불검출이었다.

5. 활성세균수에 대한 항목간 상관성은 서낙동강이 총세균수에 대하여 0.986(p<0.01), 종속영양세균 0.873(p<0.01), TN -0.762(p<0.05), DTN -0.675(p<0.05)의 상관성을 보였고, 감전수로는 0.05 유의수준의 상관성을 나타내는 항목이 없었으며, 대천천은 총세균수 0.937(p<0.01), Chl-a 0.878(p<0.01), COD 0.758(p<0.05), 온천천은 총세균수 0.960(p<0.01), 종속영양세균 0.843(p<0.01), 동천은 총세균수 0.966(p<0.01), COD 0.950(p<0.01), BOD 0.834(p<0.01), DO -0.694(p<0.05) 순으로 높은 상관성을 보였다. 활성세균수에 대한 세균군집 간에 높은 상관성을 나타내었으며, 활성세균수에 대한 항목간의 상관성도 총세균수와 유사하게 나타났다. 총세균수에 대한 활성세균수의 비율이 높은 동천과 대천천이 COD 즉 유기물에 대하여 높은 상관성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Chróst, R. J., Microbial ectoenzymes in aquatic environments, pp47-78, In R. J. Chróst(ed.), Aquatic Microbial Ecology, Springer Verlag, New York(1990)
2. Ahn, T. S., Byeon, M. S. and Choi, S. I., "Observation and enumeration of attached bacteria on cellulose film", *J. Microbiol.* 33, pp1-

- 4(1995)
3. Amann, R., Ludwig, W. and Schleifer, K. H., "Phylogenetic and in situ detection of individual microbial cells without cultivation", *Microbiol. Rev.*, 59, pp143-169(1995)
 4. Hobbie, J. E., Daley, R. J. and Japer, S., "Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy", *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, pp1225-1228(1977)
 5. Poter, K.G. and Feig, Y. S., "The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora", *Limnol. Oceanogr.*, 25, pp943-948(1980)
 6. Masao, N., Daisaku, Y. and Nobuysasu, Y., "Improved direct viable count procedure for quantitative estimation of bacterial viability in freshwater environments", *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, pp5544-5548(2000)
 7. Rodriquez, G.G., Phipps, D., Ishiguro, K. and Ridgway, H. F., "Use of a fluorescent redox probe for direct visualization of actively respiring bacteria", *Appl. Environ. Microbiol.* 58, pp1801-1808(1992)
 8. 김동주, 홍선희, 안태석, "소양호에서 세균군집의 계절적 · 수직적 변화", *한국미생물학회지*, 35, pp242-247(1999)
 9. 석정현, 홍선희, 김범철, 안태석, "소양호에서 활성세균수의 계절적 · 수직적 변화", *한국미생물학회지*, 37, pp80-84(2001)
 10. 이동훈, "소양호 세균군집구조의 분자생태학적 연구", 이학박사학위논문, 서울대학교 대학원(1995)
 11. 최승익, 변명섭, 안태석, "소양호에서 총세균수의 분포", *한국육수학회지*, 30, pp377-383(1997)
 12. 홍선희, 안태석, "Fluorescent In Situ Hybridization 방법으로 분석한 소양호 세균군집의 계절적 변화", *한국미생물학회지*, 34, pp169-174(1998)
 13. Martin, M. T., Sato, M. I. Z., Alves, M. N., Stoppe, N. C., Pradq, V. M. and Sanchez, P. S., "Assessment of microbiological quality for swimming pools in South America", *Wat. Res.*, 29, pp2417-2420(1995)
 14. Rheinheimer, G., *Aquatic microbiology*, 3rd. ed. John Wiley & Sons, Inc. Chichester, pp158-159(1985)
 15. Wetzel, R.G., *Limnology*, 2nd ed. Saunders College Publishers, New York, pp487-518(1983)
 16. Atlas, R. M. and Bartha, *Microbial ecology* 2nd ed., The Benjamin Cummings Pub. Co., Menlo Park, pp350-352(1986)
 17. 배명숙, 박석환, 최강국, 이근광, 이진형, "금강 하구둑 인근에서 미생물군집의 특성", *한국생태학회지*, 28(3), pp129-134(2005)
 18. Daley, R. J., *Direct epifluorescence enumeration of native aquatic bacteria: Uses, limitations, and comparative accuracy*, *Native aquatic bacteria: Enumeration, Activity, and Ecology*, ASTM STP 695, Costerton, J. W. and Colwell, R. R. (eds.), American Society for Testing and Materials, pp29-45(1979)
 19. 이규철, 이희숙, "한국 지표수에서 수인성 장관계 바이러스에 대한 지표미생물로서 총대장균군과 분원성 대장균군", *Journal of the Korean society of water and wastewater*, 20(6), pp885-892(2006)
 20. 김명운, 강찬수, 김상중, "소양호 수중 생태계에서의 세균 생체물질량의 분포", *한국미생물학회지*, (June), pp130-138(1989)