

대청댐 저층 퇴적물 박테리아 군집과 활성 평가

공인철* · 이요상**

영남대학교 환경공학과 환경미생물 연구실*, 한국수자원공사 수자원연구소 호소연구실**
(2003년 1월 27일 접수, 2003년 3월 11일 승인)

Assessment of Bacterial Abundance and Activities in Sediment of Daecheong Dam Reservoir

In Chul Kong* · Yo Sang Lee**

Environ. Microbiol. Lab., Dept. of Environ. Eng., Yeungnam University*
Environ. Research Team, Water Resources Research Institute, KOWACO**
(Manuscript received 27 January 2003; accepted 11 March 2003)

Abstract

Bacterial activities of dam reservoir sediments were assessed using the methods of viable counts, ATP contents, dehydrogenase activity, and oxygen consumption. Viable heterotrophs in collected sediments were observed in the range of 10^6 ~ 10^{10} CFU/g dry wt. sediment. All assessed methods showed high activities in sediment samples collected from near dam site. In addition, bacteria increase in sediments amended with cellulose, starch, lipid, and protein compounds. Various ranges of antibiotics and heavy metals resistance bacteria were also detected, especially, 10~100 times less numbers of Cd resistance bacteria were observed compared with those of Pb and Cr. In general, antibiotics resistance groups were in the range of 10^{-1} ~ 10^{-6} times of control.

Key words : assessed methods, bacterial activity, heterotrophs, resistance bacteria

I. 서론

우리나라 대부분의 호수는 인공호수로서 산업

화 이전에는 농업용수 확보를 위해 축조되었으나, 60년대 이후 산업화와 인구의 도시집중으로 물 수요가 크게 증가하면서 상수원수 확보를 위

해 주요 하천 수계에 많은 댐들이 건설되어 오고 있다. 우리나라 댐 저수지의 수는 만수 면적 10 km² 이상인 호수가 21개소, 1 km² 이상인 호수가 23개소이며, 대부분이 댐 건설로 조성된 인공호이다.⁴⁾

일반적으로 폐쇄수역이라고 할 수 있는 댐 저수지 수질은 외부 오염원에 의해 크게 영향을 받으며, 또한 오염물질들이 퇴적되면서 퇴적물 용출에 의한 내부 오염 물질의 영향도 클 것이다. 댐 저수지 퇴적물 성분은 모래와 자갈, 점토질, humic물질이 풍부한 갈색 진흙, 철산화물, 칼슘 퇴적물 등으로 다양하게 구성되어 있으며, 퇴적물의 특성은 저수지의 위치와 생성역사에 따라 다양성을 갖고 있다. 또한 유역의 변화와 계절에 따라서도 퇴적물 특성이 급속히 변할 수 있다. 특히 외부 오염원을 하수처리장 건설 등의 방법으로 차단한다 할지라도, 건설된지 오래된 저수지의 퇴적물은 다양한 오염원을 함유하고 있으므로 여전히 문제를 내포하고 있다 하겠다. 외국의 경우를 보면 퇴적물로부터의 피해를 막기 위해 준설 (sediment removal), 심층수 폭기 (hypolimnic aeration), 심층수 배제 (diversion of hypolimnic water), 산소주입 (injection of oxygen), 그리고 퇴적물 피복 (sediment covering) 등과 같은 물리, 화학적 방법들을 사용하고 있으나, 만족스러운 성과를 보여준 예는 그리 많지 않다.¹⁾ 미국의 경우에는 적절한 관리를 위해 퇴적물 환경기준을 작성하여 사용하고 있으며, 퇴적물 환경 기준치 (sediment quality criteria)는 수질 환경 기준치 (water quality criteria)와는 다르게 기준치라기 보다는 지침 (guideline)과 같은 특징을 가진다.³⁾

댐 저수지내의 퇴적물은 종속영양계이며 일반적으로 대량의 무척추동물과 박테리아의 생물계 체군을 포함하고 있다. 수생태계에서 종속영양계 군 역할의 중요성이 인식되고 있으며, 담수와 해양생태계의 수중 컬럼과 퇴적물에서 박테리아는 높은 영양단계와 중요한 연결고리를 대표하면서,

또한 유기물의 주요 분해자로 간주되어 오고 있다.¹³⁾ 따라서 종속영양군은 수중 및 퇴적물 먹이 영양단계에서 중심적 역할을 하고 있으며, 유기물에 결합되어 있는 C, N, P, S 등의 원소들의 순환 및 유기물 흐름에 주된 역할을 담당하고 있다.⁹⁾

본 연구는 댐 저수지 지점별 퇴적물에 서식하는 박테리아 군집활성을 다양한 방법으로 평가하였으며, 또한 항생제 및 중금속 내성세균 그리고 유기물 분해균 군집분포를 조사하여, 향후 효과적인 퇴적물 평가 및 관리를 위한 자료로 활용하기 위한 목적으로 연구가 수행되었다.

II. 실험 방법

1. 퇴적물 채취 및 특성

대청댐 저수지의 유역면적 및 유로 총연장은 4,134 km²과 250km이다. 퇴적토 채취지점은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 대청호 세 지점-장계 (옥

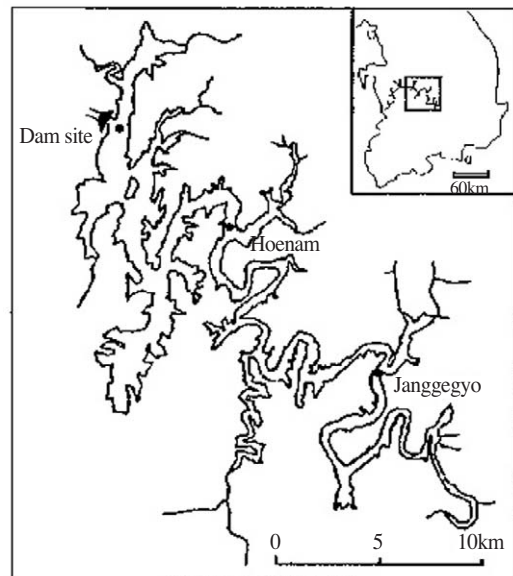


Fig. 1. Map for sample collection sites in Daecheong Dam Reservoir.

Table 1. Physicochemical characteristics of collected sediments.

Sites	pH	Organic cont. (%)	Soil particles(%)		
			sand	silt	clay
Janggye	6.6	4.7~6.9	26 ± 2	42 ± 2	38 ± 3
Hoenam	6.4	6.3~6.6	22 ± 2	37 ± 1	41 ± 2
Dam	6.4	7.3~7.5	24 ± 3	43 ± 2	33 ± 2

천군 안내면 장계리), 회남 (보은군 회남면 어성리), 땀앞 (청원군 문의면 덕유리) -을 각각 상류, 중류, 하류로 보고 채취하였다. 대청댐의 수리학적 체류시간은 대략 8~9개월이며, 최대 수심도 저수위에 따라 상이하나 상류는 10~20m, 중류는 20~40m, 땀앞은 50m 정도이다. 퇴적물은 2002년 하절기에 채취하였으며 퇴적물의 물리화학적 성질을 조사한 결과, 유기물 함량은 땀앞 시료가 높게 조사되었고, pH 및 입자분포는 뚜렷한 차이가 없었다(Table 1).

2. 퇴적물 박테리아 군집 평가

퇴적물내의 종속영양 세균을 배양계수법으로 측정하기 위해 퇴적물 시료를 0.1% sodium pyrophosphate 용액에 단계적으로 희석하여 R2A (DIFCO, Becton Dickinson and Co., MD, USA) 평판배지에 0.1ml 도말 한 후 30°C에서 5일간 배양하여 형성된 colony를 계수하였다. 균류의 성장을 방해하기 위해 cycloheximide 40mg/l를 고형배지 조제 시 첨가하였다. 채취 퇴적물 지점별 서식 박테리아의 활성도를 측정하기 위해 간접측정법을 이용하여 퇴적물의 탈수소 활동도 및 ATP함량을 측정하였다. Dehydrogenase 활동도 측정은 퇴적물을 건조시켜 3g의 퇴적물에 0.03g calcium carbonate 을 넣은 후 2,3,5-Triphenyltetrazolium (TTC)을 1.3ml, 증류수를 3.25ml 넣고 vortex 한 다음 37°C에서 24시간동안 배양하였다. 배양 후 20ml의 methanol을 넣고 20분동안 충분히 진탕한 다음 원심분리한 후 (3000rpm, 10min), 상등액을

methanol로 5배 희석하여 485nm에서 측정하였다. ATP 측정은 퇴적토 5g에 0.1% sodium pyrophosphate 47.5ml와 glass bead를 첨가 후 20분간 혼합한 것을 30초간 정치시킨 후 상등액 1ml에 0.5% Trichloroacetic acid (TCA)를 200 μ l 첨가하고 vortex 한 다음 800 μ l의 Tris-acetate (pH=7.75)을 주입한 후 다시 vortex 하였다. 용액을 여과하여 (pore size : 0.45 μ m) 100 μ l를 test tube에 넣은 후 Enlitten ATP Assay System kit (Promega Co., WI, USA)의 사용법에 따라 Luminometer 20/20 (Turner Design, USA)으로 측정하였다. 호흡량 측정기 (B1-1000 Electrolytic Respirometer, Bioscience, Inc. USA)를 이용하여 퇴적물 지점별 호흡량 (산소소모량 mgO₂/g sediment)을 비교하였다. 1L의 병에 퇴적물 200g을 첨가 후 25°C 온도에서 9일간 축적 산소소모량 (accumulated oxygen consumption)을 조사하였다. 실험은 지점별로 2회 실시하였으며, 대조군은 혼합 퇴적물을 평균하여 사용하였다.

3. 퇴적물 생분해 특성 조사

각 지점별 퇴적물의 유기물(섬유소, 전분, 지방, 단백질) 분해능을 조사하기 위해 김철호 등 (1996)²⁾이 수시료를 대상으로 조사한 방법을 변형하여 사용하였으며, 개략적인 방법은 다음과 같다. 퇴적토 5g에서 추출한 상등액을 0.85% NaCl로 1/10씩 연속적으로 희석하여 사용하였다. 섬유소 분해세균은 carboxymethylcellulose(CMC) 한천배지 (CMC 5g, MgSO₄ 2g, CaCl₂ 0.5g, KCl 1g, FeSO₄

1mg, peptone 5g, agar 15~20g, 증류수 1L)에 희석 시료를 도말접종하여 30°C 배양기에서 3일간 배양한 후 0.5% congo Red 용액을 처리하여 주위에 투명대를 형성하는 균체수를 계수하였다. 전분 분해세균은 수용성 전분을 함유하는 한천배지(peptone 10g, CaCl₂ 0.5g, MgCl₂ 5g, MgSO₄ 2g, KCl 1g, FeSO₄ 1mg, starch 5g, agar 15~20g, 증류수 1L)에 희석 시료를 도말접종하여 30°C 배양기에서 3일간 배양한 후 Gram's Iodine 용액을 처리하여 colony주위에 투명대를 형성하는 것을 계수하였다. 지방분해세균은 Tween 80을 함유하는 펩톤 고체배지(peptone 10g, CaCl₂ 0.1g, Tween 80 10ml, agar 15~20g, 증류수 990ml)에 희석액을 도말접종하여 30°C 배양기에서 3일간 배양한 후 colony주위에 불투명한 결정체가 나타난 것을 계수하였다(Cowan, 1974). 단백질 분해세균은 gelatin을 함유하는 한천배지(beef extract 3g, peptone 5g, gelatin 5g, agar 15~20g, 증류수 1L)에 희석 시료를 도말접종한 후 30°C 배양기에서 3일간 배양하여 1% tannic acid 용액을 처리했을 때 colony주위에 형성된 희미한 결정체를 계수하였다.

또한 특정 유기물 첨가에 따른 ATP 함량 변화를 관찰하기 위해 퇴적물에 CMC, Tween 80, gelatin 과 starch를 각각 2% (W/V) 농도로 주입하여 3일간 배양 후 ATP 함량 변화를 대조군(유기물 미첨가) 과 비교하였다.

4. 중금속 및 항생제 내성 세균 조사

지점별 퇴적물 중금속 내성세균을 조사하기 위해 Cd 0.1mM(11.2ppm), 0.2mM(22.5ppm), Cr 0.1mM(5.1ppm), 0.2mM(10.4ppm), Pb 0.1mM(20.7ppm), 0.2mM(41.4ppm)가 첨가된 R₂A 고형배지에 퇴적물을 도말하여 30°C, 3일간 배양한 후 형성된 colony를 계수하였다. 항생제 내성세균 분포를 지점별로 비교하기 위해 kanamycin (50mg/l), tetracycline(15mg/l)과 chloramphenicol

(25mg/l)을 첨가한 R₂A 고형배지에 퇴적물 시료를 접종하여 30°C, 3일간 배양한 후 형성된 colony를 계수하였다.²⁾

III. 결과 및 고찰

1. 퇴적물 지점별 미생물 군집 평가

퇴적물 각 지점의 박테리아 분포를 배양계수법 및 다양한 간접계수법으로 조사하여 평가하였다. 하절기 퇴적물에는 대체적으로 $5.6 \times 10^7 \sim 1.5 \times 10^9$ CFU/g dry wt. 범위의 종속영양균이 조사되었으며, 하절기에는 장계 및 회남에 비해 댐앞 시료 퇴적물에 가장 많은 종속영양균(대략 $10^2 \sim 10^3$ 배)이 존재하는 것으로 조사되었다(Table 2). 증류의 회남 퇴적물에는 장계(상류) 퇴적물에 존재하는 종속영양세균의 77~12% 정도의 분포가 관찰되었다. 퇴적물에 존재하는 종속영양세균 분포는 댐 앞 > 장계 > 회남의 순서로 조사되어 하류로 갈수록 높게 나타났다. 댐의 연령, 유입원등과 같은 다양한 요인들이 종속영양균 분포에 영향을 미칠 수 있을 것이며, 또한 대청댐 중상류에 비해 하류에 축적된 높은 유기물 함량(Table 1) 과도 밀접한 관계가 있을 것이다. 대청호 퇴적물의 유기물 함량은 평균 6.55% 정도로 외국의 수심이 낮은 부영양 호수들의 평균 유기물 함량이 10%이상인 것에 비하면 비교적 낮은 유기물 함량을 함유하고 있음을 알 수 있었다.¹⁰⁾ 형광계수(AODC법)에

Table 2. Heterotrophic bacterial populations in collected sediments.

Sites	July ($\times 10^6$ CFU/g dry wt. sediment)	August ($\times 10^6$ CFU/g dry wt. sediment)
Janggye	326 (1.7)*	1290 (3.2)
Hoenam	56 (1.2)	159 (90)
Dam Site	15400 (2030)	2030 (1.79)

* Values in parentheses indicate standard deviation on three replicate sediment samples

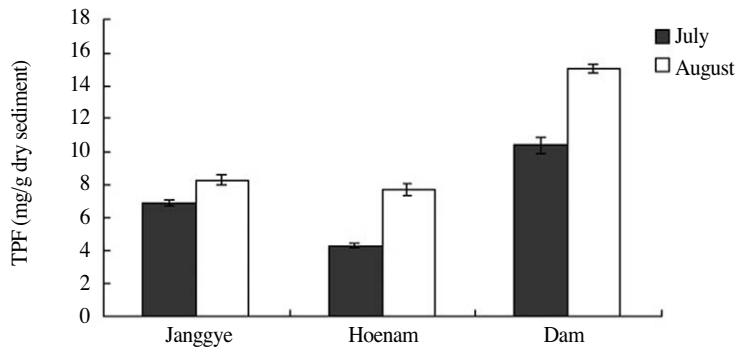


Fig. 2. Dehydrogenase activities in sediments collected from different locations.

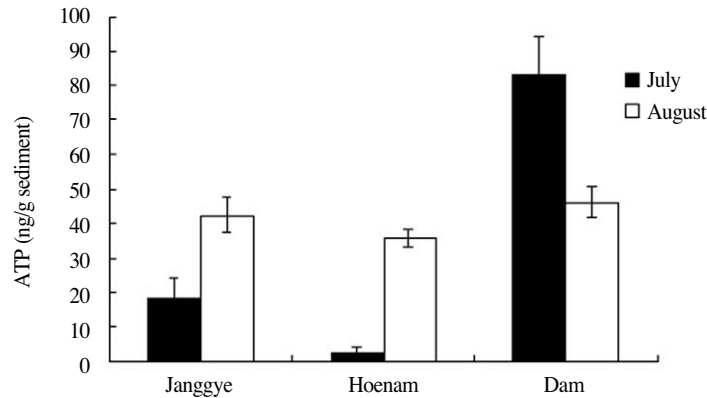


Fig. 3. Comparison of ATP concentrations in sediments.

의하면 약 3m의 연안대와 21m 깊이의 심저대 퇴적물에 그램당 약 $1.6 \sim 5.3 \times 10^{10}$ 의 박테리아가 분포하며, 심저대(profoundal) 퇴적물의 박테리아 분포 및 활동도가 연안대(littoral) 퇴적물에서 보다 높은 것으로 연구 보고하고 있다.¹²⁾ 또한 생산성이 높은 댐앞 혹은 호수의 퇴적물이 역시 높은 박테리아 군집 분포와 활동도가 관찰된다고 보고되어 있어 본 연구결과와 일치하였다.

일반적으로 탈수소효소는 생물 활성과 밀접한 관계가 있는 것으로 잘 알려져 있다.⁸⁾ 본 연구에서 하절기 각 지점별 탈수소효소 활동도를 조사한 결과 장계와 회남 활성은 비슷하게 관찰되었으나(4.3~8.3 TPF mg/g dry wt.), 댐 시료

(10.5~15.0 TPF mg/g dry wt.)가 장계와 회남보다 약 2배 이상 높게 조사되었다. 미생물 활성을 나타내는 다양한 방법중에서 산소 흡수량과 탈수소효소 활동도는 긴밀한 관계가 없다는 보고가 있기도 하지만,¹⁴⁾ 본 조사에서는 탈수소효소 활성과 산소 흡수량 평가에서 댐앞 시료 활성이 두 지점에 비해 높게 조사되었다.

미생물 활성은 ATP와 같은 세포생화학 물질을 측정하여 평가할 수 있으므로,⁶⁾ 퇴적물에 대한 ATP함량을 조사하였다(Fig. 3). 7월 시료에서는 탈수소효소 활성 및 증속영양세균 측정 결과와 동일하게 댐시료에서 가장 높은 함량(83.05 ngATP/g sediment)이 조사되었고, 장계(18.13 ng

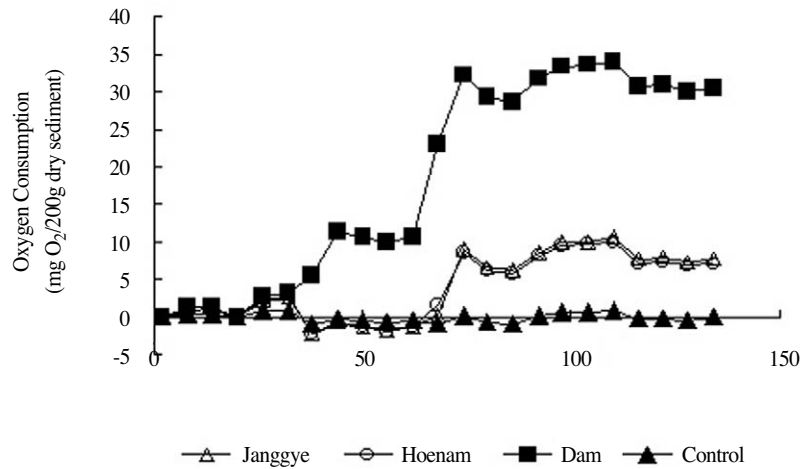


Fig. 4. Profiles of accumulated oxygen consumption by microbial activities in sediments.

ATP) 역시 회남(2.49 ng ATP)보다 높은 ATP 함량이 조사되었다. 8월 시료 역시 7월과 같이 댐 시료(46.10), 장계(42.39) 그리고 회남(35.76 ng ATP/g.d.s.)의 순서로 조사되었다. 심저대의 진흙(muds)에서 높은 ATP 함량을 관찰할 수 있다는 보고와 같이¹¹⁾ 비록 시료 간에 대한 크기 차이는 있지만 댐앞이 가장 높게, 그리고 장계와 회남의 순서로 조사되었다.

지점별 미생물 활성을 퇴적물 호흡량(산소 소비량)으로 평가하였다. 장계, 회남 퇴적물과 비교하여 댐앞 퇴적물의 산소소비량이 훨씬 높은 것으로 조사되었으며($\sim 35 \text{ mgO}_2/200\text{g dry wt.}$), 상대적으로 낮은 산소 소비가 관찰된 상류와 중류 지점인 장계와 회남 퇴적물의 호흡량($5\sim 10 \text{ mgO}_2/200\text{g dry wt sediment}$)은 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 4). 댐부근의 퇴적물은 대체적으로 약 40시간의 적응기를 지난 후부터 박테리아 활동에 의한 산소 소비량의 증가가 관찰되었으며, 대조군은 예상한 바와 같이 산소소비량을 거의 관찰할 수 없어 실험군의 산소소비량이 생물적 현상임을 확인할 수 있었다. 댐 퇴적물이 다른 두 지점에 비해 높은 산소소비량을 보인 것은 유기

물의 함량과 관계가 있을 것으로 사료된다. 댐앞 퇴적물은 약 50 m 깊이에서 채취한 것으로 시료를 채취한 하절기에는 성층현상에 의해 퇴적물 용존산소가 매우 낮은 것으로 조사되었다.¹⁵⁾ 봄·가을의 댐 저수지 혼합시기에는 산소공급으로, 퇴적물 생태계에 서식하는 다양한 호기성 종속영양세균에 의해 활발한 오염 유기물 분해를 예상할 수 있을 것이다.

탈수소효소 활동도는 토양 미생물의 총물질대사 활동도에 의존하기 때문에 상이한 개체군을 포함하고 있는 상이한 토양에서의 수치가 특수한 배지에서 생균수를 반영하고 있지 않기 때문에 CO_2 발생, 단백질 분해 활동 그리고 질산화 능력과 상관성이 높지만, 생균수와는 상관성이 없다는 보고가 있다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 조사 대상 3지점의 퇴적물의 박테리아 활성을 생균수, 효소 활성, ATP, 그리고 호흡량으로 측정하여 평가한 결과, 모든 측정 방법에서 댐앞 > 장계 \geq 회남의 순서로 하류에 높게 나타났으며, 조사한 모든 측정 방법에서 하류 퇴적물의 미생물 활성이 높게 조사되었다. 따라서 다양한 방법으로 퇴적물 미생물 활성 평가 가능성을 알 수 있었다.

2. 특정 유기물 분해 및 내성세균 군집 조사

퇴적물내의 특정 유기물(섬유소, 지방, 단백질, 전분)에 대한 분해세균 군집은 최소 1×10^6 에서 최대 4.5×10^9 CFU/g 범위로 존재하는 것으로 조사되었다. 연구결과에서는 특정분해군 군집의 지점별 분포가 다양한 범위로 조사되었으나, 대체적으로 지방분해군(lipolytics) 분포가 타 그룹에 비해 높게 조사되었고, 전체시료에서 낮은 군집 분포가 조사된 전분분해군 군집(amylolytics)을 제외하고는 중속영양세균의 분포결과와 같이 담시료에 상대적으로 높은 군집이 분포하고 있는 것으로 조사되었다(Table 3).

대청호 주변의 농경지, 공업지대 또는 하천으로부터 유입되는 오염원의 오랜 퇴적으로 인해 다양한 항생제 내성균군이 존재할 것으로 가정할 수 있다. 항생제 내성균에 대해 조사한 결과, 항생제를 첨가하지 않은 대조군 퇴적물에는 $5.58 \times 10^7 \sim 1.54 \times 10^{10}$ CFU/g dry wt. 정도의 총중속영양세균이 관찰되었고, 첨가한 농도에 대한 항생제 내성세균은 대략 $10^3 \sim 10^7$ CFU/g dry wt. 정도 분포하는 것으로 조사되었다(Table 4).

Table 3. Population ranges of specific bacterial groups in sediments.

(Unit: $\times 10^6$ CFU/g dry wt.)

Bacteria	Janggye	Hoenam	Dam
Cellulolytics	1~141*	2~10	2~1999
Lipolytics	1~150	6~56	4~4510
Proteolytics	2~17	8~52	24~3360
Amylolytics	2~24	3~52	1~22

* Ranges of specific bacterial groups in reservoir sediments

Table 4. Population ranges of antibiotic resistant bacterial numbers in sediments.

Sites	Numbers with following antibiotics ($\times 10^4$ CFU/g dry wt.)		
	Kanamycin	Tetracycline	Chloroamphenicol
Janggye	1.5~9.7	2.4~1440	3.0~15.6
Hoenam	0.6~6.1	1.6~1.9	2.5~7.4
Dam	0.8~2.8	3.8~96.0	8.0~11.0

포하는 것으로 조사되었다(Table 4). 대청호 수계의 항생제 내성균의 분포 조사에 의하면 지점에 따라 차이는 있으나 ml당 높게는 10^6 에서 낮게는 10^1 CFU 분포한다는 보고가 있다.²⁾ 조사한 항생제 농도에 대한 종류별 항생제 내성균주의 분포를 보면, Kanamycin 내성세균이 Tetracycline과 Chloroamphenicol에 대한 내성세균과 비교하여 적게 분포한다는 사실을 알 수 있었다($0.6 \times 10^4 \sim 9.70 \times 10^4$ CFU/g). Kanamycin의 내성균의 경우에는 회남(중류) 및 담앞 퇴적물에 비해 장계(상류) 퇴적물에 약 10배 많이 존재하는 것으로 조사되었으며 회남과 담앞 퇴적물에는 거의 비슷한 수준의 Kanamycin 내성균이 조사되었다. Chloroamphenicol 내성세균 분포는 대부분의 시료에 있어서 조사된 다른 두 항생제 내성세균 군집의 중간정도로 분포가 관찰되었다. 오염의 정도나 오염물질을 추측할 수는 없으나 오염원 유입지점인 장계퇴적물에서 다른 지점에 비해 높은 항생제 내성균의 분포가 조사되었다.

항생제 내성균의 분포와 마찬가지로, 임의 오염 농도에 대한 중금속 내성군 군집도 상류인 장계지역 퇴적물에 대체적으로 높게 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 조사대상의 3 중금속 중에서 Cd에 대한 내성균이 Pb과 Cr에 대한 내성균보다 대략 10~100배정도 적게 분포하는 것으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 Cd에 대한 미생물의 독성 민감도 때문으로 사료된다. 중금속 독성은 생물종 및 오염중금속 화학종에 따라 차이가 있으나 Cd은 특히 Pb에 비해 독성이 높은 금속으로 알려져 있다(Bitton *et al.*, 1994).

Table 5. Population ranges of heavy metal resistant bacterial groups in sediments.

Sites	Numbers with following heavy metals ($\times 10^5$ CFU/g dry wt.)		
	Cd	Pb	Cr
Janggye	0.5~11.4	201~323	0.6~462
Hoenam	0.1~1.1	48.5~112	0.1~569
Dam	0.5~2.5	1.6~112	0.3~163

항생제와 중금속의 농도에 따라 차이가 있을 수 있으나, 본 실험조건에서는 퇴적물에 중금속 내성 세균 군집이 항생제 내성세균 군집에 비해 높게 분포하고 있는 것으로 평가되었다. 또한 항생제와 중금속 내성세균의 분포가 상류 장계지점의 퇴적물에서 공통적으로 높은 수치를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

3. 첨가된 유기물 분해에 따른 미생물 군집 및 ATP함량 변화

퇴적물에 임의 첨가된 오염원 분해로 인한 중속영양세균 군집변화를 지점별, 오염원 종류별로 관찰하였다. 대조군(유기물 미첨가) 퇴적물의 중

속영양 세균은 이미 축적되어 있는 유기물을 동화하여 초기보다 대략 $10 \sim 10^3$ 배 정도의 세균분포 증가가 관찰되어 적절한 환경조건에서의 유기물 분해 활성을 확인하였다. 또한 Table 6에 나타낸 바와 같이 4종의 유기물이 첨가된 퇴적물내의 뚜렷한 중속영양세균의 증가를 관찰할 수 있었다. 하절기 상류 장계시료를 분석하면 gelatin을 첨가한 경우에 대조군 보다 건조그램 퇴적물 당 10^2 배 정도의 총중속영양세균 증가가 관찰되었다. 전체적으로 대조시료(유기물 미 첨가)에 비해 첨가된 유기물은 탄소원 및 에너지원으로 이용되어 약 10배에서 100배 정도까지의 총중속영양세균 증가가 관찰되었다. 따라서 댐저수지 퇴적물내에서 다양한 유기물에 대한 활발한 분해 활동이 박테리

Table 6. Increase of heterotrophs as a result of assimilation of amended specific organics

Conditions		Increase of heterotrophs ($\times 10^{10}$ CFU/g dry wt. sediment)		
		Janggye	Hoenam	Dam
no organic added	Initial	0.03~0.13	0.006~0.02	0.2~1.5
	Incubated	11~17	6~0.5	2~3
	CMC	17~1440	9~94	3~8
organic added	Tween80	258~987	2~86	3~237
	Gelatin	1840~1960	3~250	4~35
	Starch	4~404	2~9	373~1940

Ranging values present minimum and maximum cell numbers from six samples collected during summer time (July and August).

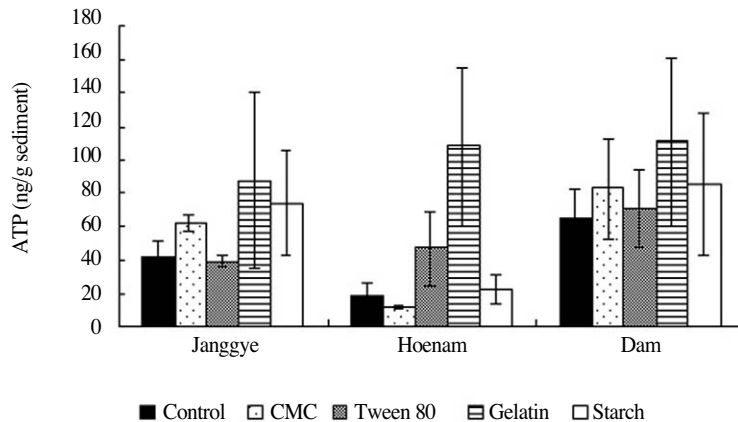


Fig. 5. Changes of ATP contents in organic amended sediments.

아에 의해 발생하고 있다는 것을 알 수 있었다.

유기물 첨가 후 분해에 따른 미생물 생체량 증가를 ATP함량 변화로 유기물을 첨가하지 않은 대조군과 비교하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 대조군의 ATP함량은 댐 시료가 가장 높게 조사되었다. 대조군의 ATP함량은 초기 ATP함량 보다 높게 조사되었고, 초기 퇴적토의 ATP함량(ng ATP/g)의 순서와 같이 댐앞(64.7) > 장계 (41.54) > 회남(18.98) 순서로 조사되었다. 유기물 첨가 후에는 유기물 분해균군의 증가와 함께 대부분 ATP 함량은 대조군과 비교하여 높게 관찰되었다(Fig. 5). 세 지점 모두 gelatin 첨가한 경우에는 ATP 함량변화가 대조군과 비교하여 적게는 2배에서 많게는 5배정도 관찰되었고, Tween 80 첨가한 경우에는 ATP 함량변화가 미미하게 관찰되었다. 유기물 첨가 후 배양된 퇴적물 시료의 박테리아 군집 함량 측정에서 배양계수법으로 측정한 종속영양세균 분포와 ATP함량의 뚜렷한 증가를 관찰할 수 있었으나, 정확한 상관관계를 평가할 수는 없었다.

IV. 결론

본 연구는 충청권의 주요 수자원으로 사용되고 있는 대청댐 퇴적물 내 유기물 분해에 중요한 역할을 담당하고 있는 박테리아 군집 분포 및 특성을 다양한 방법으로 평가하여 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 저수지내 3지점별(장계, 회남, 댐앞) 종속영양세균 그룹은 $10^6 \sim 10^{10}$ CFU/g sediment 분포하고 있는 것으로 조사되었으며, 댐앞 시료에 전반적으로 높은 종속영양 세균 군집 분포, 탈수소효소 활동도, ATP함량 및 호흡량이 관찰되었다.

(2) 지점별 퇴적물에 존재하는 cellulolytic, amylolytic, proteolytic, lipolytic 박테리아를 조사한 결과 대략 $10^6 \sim 10^9$ CFU/g으로 조사되었으며, 지점별로는 댐앞 시료에 많은 분포가 관찰되었다.

또한 임의로 유기오염원 섬유소, 전분, 지방 및 단백질에 대해서도 생분해와 함께 종속영양세균 군집의 증가를 뚜렷히 관찰할 수 있었다.

(3) 동일 농도의 중금속에 대해 Cd 내성세균이 가장 적게 관찰되었고, Cr과 Pb에 대한 내성세균은 비슷하게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 항생제 내성세균은 항생제의 농도와 종류에 따라 차이가 있으나, 항생제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 많게는 10^1 배에서 적게는 10^6 배 정도의 분포를 관찰할 수 있었다.

결론적으로 댐 저수지 퇴적물에 축적된 유기오염원의 생물분해에 중요한 역할을 담당하고 있는, 세균 군집 활성을 다양한 방법으로 측정한 결과 각 퇴적물내 왕성한 세균 활성을 관찰할 수 있었고, 공통적으로 하류 댐시료의 퇴적물 박테리아 활성이 높게 조사되었다.

사사

본 연구는 영남대학교 2002년도 자유공모 연구비에 의해 수행되었습니다. 본 연구의 퇴적물 시료 채취를 담당해 주신 수자원공사 대청댐 직원 및 미생물 분석을 담당한 대학원생 서혜영에게 감사를 드립니다.

참고문헌

- 국립환경 연구원, 2000, 한강 수질 검사소, 하천 및 호소의 정화 방안.
- 김철호, 이희준, 최영길, 박영식, 이기성, 최철일, 1996, 대청호 및 금강수계의 종속영양미생물 분포와 세포의 호소 활성도의 계절별 변화, 한국육수학회지, 29(1), 17-28.
- 박석순, 1995, 퇴적물 초기 속성작용과 미량 오염물질의 거동, 대한환경공학회지, 17(9), 825-834.
- 이근광 편저, 1998, 수계 환경 오염 개론, 동화기술.

- 이요상, 이경식, 2000, 대청댐 저수지 퇴적물의 용출특성과 수질에 미치는 영향에 관한 연구, 환경영향평가, 9(2), 99-107.
- Bitton, G., 1994, Wastewater Microbiology, John Wiley and Sons.
- Bitton, G. and Koopman, B., 1992, Bacterial and enzymatic bioassay for toxicity testing in the environment. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 125, 1-22.
- Bitton, G., Jung, K. and Koopman, B., 1994, Evaluation of a microplate assay specific for heavy metal toxicity. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 27, 25-28.
- Fenchel, T., 1988, Marine plankton food chains. Annu. Rev. Ecol. Syst. 19, 19-38.
- Hakanson, L., 1984, On the relationship between lake trophic level and lake sediments, Wat. Res., 18, 302-314.
- Hargrave, B. T., 1976, The central role of invertebrate faeces in sediment decomposition. in Anderson, J. M. and Macfadyen, A (eds.), The Role of Terrestrial and Aquatic Organisms in Decomposition Processes, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 301-321.
- Jones, J. G., 1980, Some differences in the microbiology of profundal and littoral lake sediments. J. Gen. Microbiol., 117, 285-292.
- MUnster, U. and ChrOst, R. J., 1990, Origin, composition, and microbial utilization of dissolved organic matter. in Overbeck J. and ChrOst R. J (eds.), Aquatic Microbial Ecology: Biochemical and Molecular Approaches, Springer-Verlag, New York, 8-46.
- Ross, D. J., 1973, Some enzyme and respiratory activities of tropical soils from New Hebrides, Soil Biol. Biochem., 5, 559-567.
- Skujins, J., 1973, Dehydrogenase: An indicator of biological activities in arid soils,, Bull. Ecol. Res. Commun. NFR, 17, 235-241.