

골재채취가 세균군집구조에 미치는 영향

박 지 은 · 이 영 옥*

대구대학교 자연과학대학 생명과학과

Effects of Sediment Harvesting on Bacterial Community Structure

Ji-Eun Park and Young-Ok Lee*

Department of Life Science, Daegu University, Kyung-San 712-714, Korea

Abstract - The dynamics of bacterial populations belonging to α · β · γ -subclass proteobacteria, *Cytophaga-Flavobacterium* (CF) group and sulfate reducing bacteria (SRB) in water column of the middle reaches of Nakdong River depending on sediment harvesting were analyzed by fluorescent *in situ* hybridization (FISH) at sediment harvesting site (near the Seongju bridge) and non-sediment harvesting site (near the Gumi bridge). In addition, some physico-chemical parameters such as temperature, pH, chl-*a* and electrical conductivity were measured. Regarding the number of total cell counts, cells stained by DAPI, there were no substantial quantitative differences between both sites, but those fluctuation at sediment harvesting site was greater. And also the ratios of CFgroup and SRB to total cell counts tend to increase at sediment harvesting site with higher chl-*a*, maybe due to the resuspension of sediment into water column. But the total proportion of all determined bacterial populations to total cell counts were greater at non-sediment harvesting site, compared with those at sediment harvesting site. Since the detectibility of bacteria by FISH depends on their metabolic activity, those lower proportion at the sediment harvesting site implies that sediment harvesting may lead to malfunction of those bacteria respect to nutrient recycling and subsequently negative effects on microbial food web.

Key words : Nakdong River, sediment harvesting, CFgroup, SRB, FISH, EC, chl-*a*

서 론

최근 하상에 쌓인 모래나 자갈 등의 골재를 인위적으로 수거해 건축용 자재로 사용하는 사례가 급증하고 있다. 이같은 골재채취로 수심이 깊어지면 수량조절이 가능하므로 집중호우 시에는 하천 범람 방지 등 치수측면의 순기능도 있지만 저니층의 서식하는 저서생물에는

치명적이다 (Pusceddu *et al.* 2005). 우리나라에서 소비하는 골재량은 2000년 기준으로 2억 6천만톤이고 2000년대 중반에는 3억톤 이상으로 추정되고 있다 (한국건설기술연구원 2001). 특히 낙동강 중류인 안동권, 김천권, 상주권에서 강모래가 과다하게 채취되고 있으므로 그로 인한 수중생태계 변화에 대한 조사 및 대책이 마련되어야 함에도 불구하고 그렇지 못한 실정이다. 낙동강 중류의 골재채취가 행해지는 수역에서는 어류의 종다양성이 낮았고 (강 등 2004) 부착규조류로 도출한 유기오탁지수 (DAI_{po})도 낙동강 중류가 낮으며 이와 같은 생물상의

* Corresponding author: Young-Ok Lee, Tel. 053-850-6456, Fax. 053-850-6459, E-mail. ecolomi@daegu.ac.kr

변화가 골재채취와 관련이 있음(박 등 2004)을 시사하였으나 생태계에서 물질순환의 고리를 담당하는 세균에 관한 연구는 전무하다.

해당 생태계에 존재하는 세균군집의 분석결과는 수계의 유기물 오염정도 및 오염원의 정성적 분포양상을 파악하는데 유용한 기초적인 정보가 된다(김 등 1999). 과거에는 배양기법으로 세균군집구조를 분석하였으나 배양기법으로 검출할 수 있는 세균군집의 크기는 실제로 해당생태계에 존재하는 세균의 1% 미만에 불과한 것으로 알려져(Amann *et al.* 1995) 최근에는 16S · 23S rRNA 염기서열 분석법, community DNA hybridization, Fluorescent *in situ* Hybridization (FISH), Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) 등의 분자생물학적인 연구기법이 강, 호수, 해양(DeLong *et al.* 1993; Alfreider *et al.* 1996; Ramsing *et al.* 1996) 뿐 아니라 수돗물(Manz *et al.* 1993), 하수 및 폐수처리시스템의 슬러지(Manz *et al.* 1994; Lee *et al.* 2005) 등 다양한 생태계의 세균군집을 파악하는데 이용되는 추세이다.

FISH법은 세포 내에 다량으로 존재하면서 변이가 심하지 않은 rRNA에 gene probe 즉, 이미 알려져 있는 rRNA database를 이용하여 제작한 다양한 세균군의 single strand DNA (oligonucleotides probes, 약 17~34 nts)를 교잡시켜(hybridized) 배양을 통하지 않고 직접 현장상태(*in situ*)의 세균군집을 동정하는 방법이다.

담수계에 존재하는 세균의 80%가 그람음성균이고 이 그람음성균의 대부분이 proteobacteria에 속하며 이는 다시 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta$ -subclass로 분류된다고 보고되었다(Manz *et al.* 1992). 또한 담수환경의 저니층(sediment)에는 *Cytophaga-Flavobacterium* (CF) group 세균군(Llobet-Brossa *et al.* 1998)이 많이 분포하고 특히, 혐기적 환경의 저니층에는 황산염환원세균이 다량 서식한다고(Widdel *et al.* 1992) 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 중류수계에서 골재채취가 세균군집구조에 미치는 영향을 알아보기 위해 골재채취가 행해지는 하상 주변의 수역과 골재채취가 행해지지 않은 수역에서 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ -subclass proteobacteria, CFgroup 세균군과 황산염환원세균 등의 동태를 FISH법으로 비교분석해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 시료채취 및 이화학적 환경요인

낙동강 중류 중, 골재채취가 이루어 지지 않은 수역인

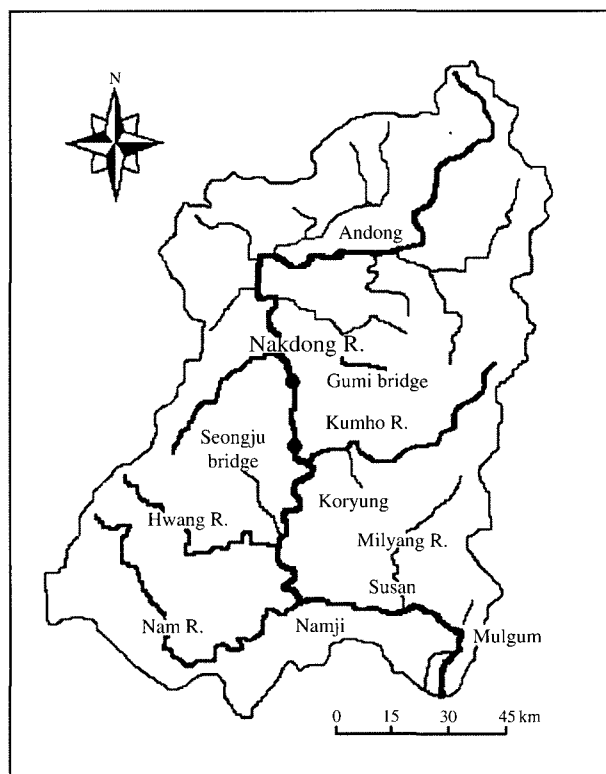


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the middle reaches of the Nakdong River.

구미대교와 장기간에 걸쳐 연속적으로 골재채취가 행해지는 지역인 성주군 소학리(성주대교 인근)를 정점으로 선정하여 2004년 장마 전(7월), 장마 직후(8월) 그리고 골재채취 중인 11월에 3회에 걸쳐 채수하였는데(Fig. 1) 이 두 정점은 유속(구미대교가 성주대교보다 빠름)을 제외한 하폭과 수심 등의 수리적 요인이 비교적 유사하다.

수온, pH, 전기전도도(EC), 용존산소(DO)는 현장에서 바로 측정하였고 엽록소-a 양은 standard method(APHA 1995)에 준하여 측정하였다.

2. FISH법을 이용한 세균군 분석

골재채취가 행해지는 정점과 그렇지 않은 정점간의 제반적인 세균상의 차이를 파악하기 위해 수계생태계에 존재하는 세균의 대부분을 포함하는 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ -subclass proteobacteria과 CFgroup, 황산염환원세균을 문헌에 보고된 탐지자(gene probe, Table 1)를 사용하여 FISH법으로 분석하였다.

1) 시료 고정

채취한 시료에 바로 4% paraformaldehyde solution를 3

Table 1. Sequences, target sites, and specificities of rRNA-targeted oligonucleotide probes used for fluorescent *in situ* hybridization

Probe	Probe sequence	Target site (<i>E. coli</i> rRNA positions)	Target organisms	Formamide (%)	Reference
ALF1b	5'-CgTTCgYTCTgAgCCAG-3'	16S (19-35)	α -subclass of proteobacteria	20	Manz <i>et al.</i> 1992
BET42a	5'-gCCTTCCCACTTCgTTT-3'	23S (1027-1043)	β -subclass of proteobacteria	35	Manz <i>et al.</i> 1992
GAM42a	5'-gCCTTCCCACTTCgTTT-3'	23S (1027-1043)	γ -subclass of proteobacteria	35	Manz <i>et al.</i> 1992
CF319a	5'-TggTCCgTGCTCAgTAC-3'	16S (319-336)	<i>Cytophaga-Flavobacterium</i> group	15	Wagner <i>et al.</i> 1996
SRB385	5'-CggCgTCgCTgCgTCAgg-3'	16S (385-402)	Sulfate-reducing bacteria	35	Ramsing <i>et al.</i> 1996

:1의 비율로 넣고 24시간 이상 고정하였다. 고정된 시료를 polycarbonate membrane filter (pore size 0.2 μ m, Φ 25 mm)에 5 mL씩 여과한 후, phosphate buffered saline (1 \times PBS) 1 mL을 여과하였다. 여과된 filter를 50, 80, 99% 0.5 mL ethylalcohol에 차례로 각각 3분 동안 담구어 탈수·여과한 후 filter를 공기 중에 건조시켰다.

2) *In situ* Hybridization

Ethylalcohol이 완전히 건조된 filter를 gelatin coated slide glass에 놓고 미리 예열시켜 둔 16 μ L의 hybridization solution [0.9 M NaCl, 20 mM Tris-HCl (pH 7.4), 0.01% SDS, formamide (Table 1)]에 각각의 rRNA targeted oligonucleotide probe (Table 1) 3 μ L를 첨가하여 잘 섞은 후, 46°C에서 90분간 hybridization chamber에서 배양하였다. 배양 후 세척은 배양온도보다 2°C 높은 온도에서, 15분 동안 행했는데 이때 사용하는 washing solution [20 mM Tris-HCl, 5 mM EDTA, 0.01% SDS, NaCl (농도 ALF 0.225 M; BET·GAM·CF·SRB 80 mM)]은 미리 예열시켜 두었다. 세척 후, 총세균수 측정을 위한 DAPI (4'-6-diamidino-2-phenylindole) 염색 (0.11 μ g mL⁻¹)을 5분간 암실에서 실행한 후 (Hicks *et al.* 1992) 형광현미경 (Axio-plan 2, Zeiss)으로 관찰하였다.

3) 각 세균군의 산출

각 세균군의 크기는 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 각 반응조의 시료 당, 최소한 10개 이상의 임의적인 fields안에 존재하는 해당 세균을 계수하여 얻어진 평균 값을 역시 동일한 fields의 DAPI로 염색된 세균수(총세균수)에 대한 비율(%)로 산출하였다 (Glöckner *et al.* 1999).

결과 및 고찰

1. 이화학적 환경요인

Table 2에서 보는 바와 같이 두 정점간의 이화학적 환경이 수리적인 영향을 많이 받음을 알 수 있다. 즉 장

Table 2. Physico-chemical factors at Gumi and Seongju in the middle reaches of the Nakdong River

Month	Parameters	Sampling site	
		Gumi	Seongju
Jul. 04 (Before heavy rainfall)	Temp. (°C)	24	22
	EC (μ S cm ⁻¹)	182	220
	pH (μ S cm ⁻¹)	9.0	8.9
	DO (mg L ⁻¹)	9.5	9.8
Aug. 04 (After heavy rainfall)	Chl- <i>a</i> (mg m ⁻³)	30.3	65.8
	Temp. (°C)	29	30
	EC (μ S cm ⁻¹)	195	193
	pH (μ S cm ⁻¹)	6.6	6.8
Nov. 04 (During sediment harvesting)	DO (mg L ⁻¹)	7.2	7.4
	Chl- <i>a</i> (mg m ⁻³)	51.1	54.7
	Temp. (°C)	9.3	12
	EC (μ S cm ⁻¹)	265	284
	pH (μ S cm ⁻¹)	7.7	7.8
	DO (mg L ⁻¹)	11.0	9.5
	Chl- <i>a</i> (mg m ⁻³)	15.8	20.3

마 전인 7월에는 골재채취가 행해지는 성주대교 수역의 전기 전도도(EC) 측정값이 비골재 채취 수역인 구미보다 높았으나 장마 직후에는 정점간의 차이가 거의 없고 골재채취 중에 채수한 시료에서는 성주가 약간 높았다. 그러나 엽록소-*a* 양은 골재 채취 지역이 비골재채취 지역보다 장마 전에는 2배 이상 높았고 장마 직후에는 거의 유사하였다. 이는 조사수역의 수심이 1.5 m 이하로 얕아 집중 강우로 인해 저니질이 수층으로 재분산(resuspension)되는 등 수리적인 영향을 크게 받기 때문인 것 같다. 낙동강 중류에서의 동물성 플랑크톤의 개체수 동태도 하절기에는 수리적인 영향을 크게 받는다고 보고되었다 (Kim *et al.* 2005). 골재채취로 인해 저니층 입자의 재분산으로 탁도가 높아짐에도 엽록소-*a* 양은 골재채취 지역에서 항상 더 높게 측정되었는데 이는 골재채취로 인해 증가하는 탁도가 수심이 얕은 낙동강 중류에서는 조류의 광합성을 저해할 정도가 아님을 의미한다. 이 결과는 뉴질랜드 호수에서 저니질의 재분산 효과가 식물성 플랑크톤의 생산성을 증가시켰다고 결과와 일치하였다 (Schallenberg and Burns 2004).

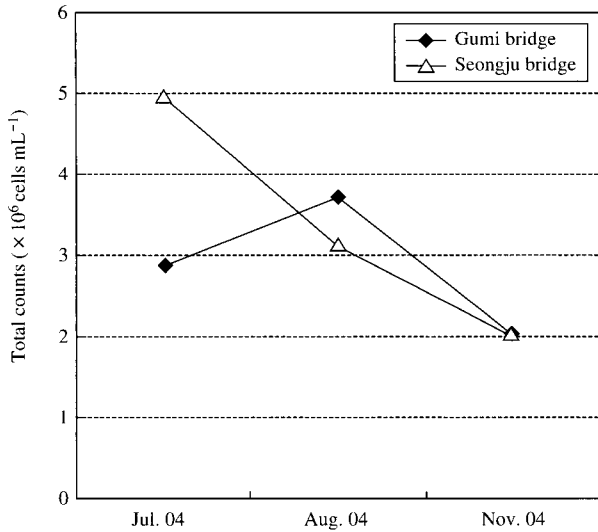


Fig. 2. Variation of total cell counts (=total counts) stained with DAPI at Gumi, where sediment was not removed and Seongju, where sediment was taken artificially.

2. 두 정점 간의 세균군의 차이

1) 총세균수

형광물질 (DAPI)로 염색해 채수한 세균수, 즉 총세균수의 변화양상을 보면 골재채취가 행해지는 성주수역 ($2.0 \sim 5.0 \times 10^6$ cells mL⁻¹)과 비골재채취 수역인 구미 ($2.0 \sim 3.7 \times 10^6$ cells mL⁻¹)간에 큰 차이가 없었다. 다만 그 변동 폭이 골재채취가 행해지는 성주에서 더 컸으며 장마 전에는 성주의 세균 수가 2배 정도 많았으나(성주: 5.0×10^6 cells mL⁻¹, 구미: 2.9×10^6 cells mL⁻¹) 장마 직후와 실제로 골재채취 진행 중에 채수한 11월의 시료에서는 두 정점간의 차이가 거의 없었다 (Fig. 2). 이와 같이 골재채취여부와 무관하게 정점 간에 차이를 보이지 않는 세균수는 집중 호우로 인해 야기되는 저니질 훼손(wash out) 및 수층 재유입효과가 골재채취로 인해 야기되는 변화를 상회함을 뜻한다. 아울러 골재채취 중인 11월에 채수한 시료의 총세균수와 비골재채취 수역인 구미의 총세균수보다 오히려 약간 적게 검출되었는데 이 또한 집중 강우로 인해 이미 저니질이 많이 씻겨 내려가 저니질이 수층으로 유입되어도 그로인한 세균수의 증가는 없었기 때문으로 추정된다.

2) 세균군집구조

수계에 존재하는 α · β · γ -subclass proteobacteria와 CFgroup 세균군이 총세균수에서 차지하는 비율을 보면 (Fig. 3) 장마 전에는 비골재채취 지역인 구미에서 γ -subclass (10.46%) > α -subclass (9.28%) > CFgroup 세균군 (7.73%) > β -subclass (4.27%) 순으로 우점하였고 이들 각

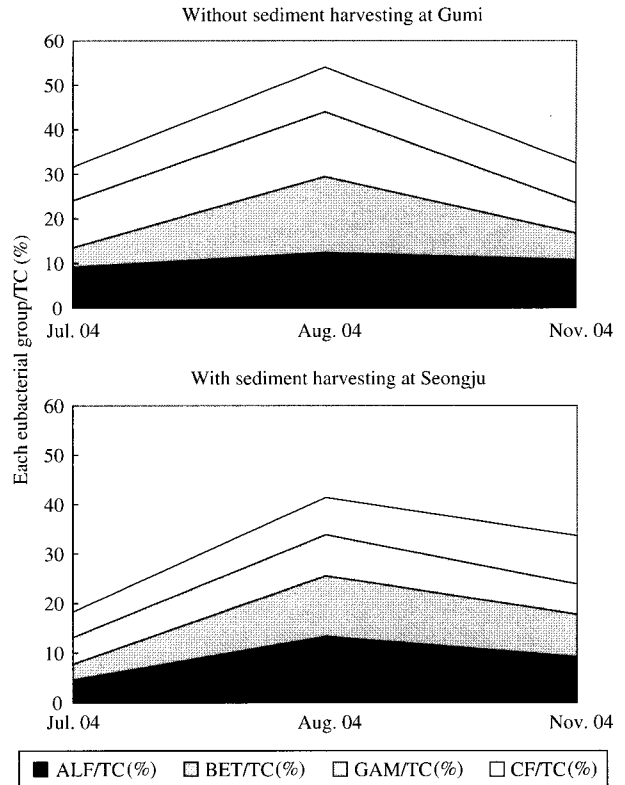


Fig. 3. Dynamics of eubacterial groups bacteria detected by group-specific fluorescent probes to total counts (%) at both sites.

세균군이 총세균수에서 차지하는 비율의 합이 31.74% 였던 반면, 골재채취 지역인 성주에서는 각 세균군의 검출비율 (γ -subclass: 5.4%, CFgroup 세균군: 5.12%, α -subclass: 4.74%, β -subclass: 3.0%)이 거의 비슷했고 검출된 모든 세균군들이 총세균수에서 차지하는 비율(18.29%)도 구미에 비해 상당히 낮았다. 그러나 장마 직후에는 골재채취와 무관하게 2 정점, 특히 비골재채취 수역인 구미에서 검출한 모든 세균군이 급격히 증가(구미: 53.94%, 성주: 41.53%)하였다. 즉, 강우라는 수리적인 외부요인이 골재채취로 인한 저니질 재유입효과보다 더 크게 작용하였고 또한 강우에 의한 저니질의 수층으로의 유입효과가 지속적으로 골재채취가 행해지는 성주보다 그렇지 않은 구미에서 더 커서 β -subclass proteobacteria의 경우, 장마전/후에 크게 증가(4.27 → 17.17%)하였다가 11월에는 다시 6%로 격감하였다. 또한 α -subclass 세균군도 장마 전에는 구미(9.28%)에 비해 골재채취 수역인 성주에서 훨씬 낮은 비율(4.74%)로 검출되었으나 장마 후에는 급증(구미: 12.3%, 성주: 13.3%)하였다. α -subclass와 β -subclass 세균군들은 빈영양상태 수계에 우점하고 (Pernthaler *et al.* 1998) α -subclass 세균군들은 다양한 형태 및 물질대사능을 가졌으며 다른 세균

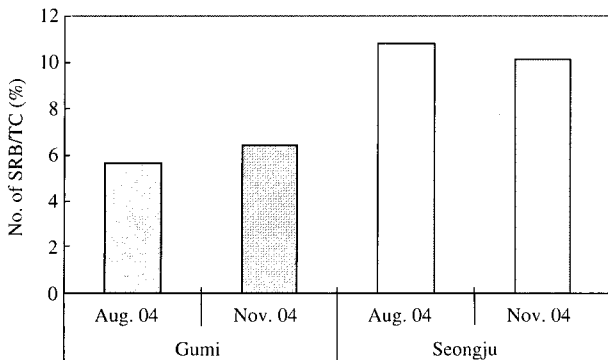


Fig. 4. Proportion of sulfate reducing bacteria detected by specific fluorescent probes SRB365 to total bacteria (%) at Gumi, where sediment was not removed and Seongju, where sediment was taken artificially.

군에 비해 저농도의 유기물 이용능력이 좋은 것으로 알려졌다(김 등 1999) β -subclass 세균군들이 수온이 낮고 비교적 안정된 생태계에서 우점한다는 보고(Alfreider *et al.* 1996)와는 달리 장마 후, α -subclass와 β -subclass 세균군들의 급격한 증가는 저니질의 수층 유입과 관련이 있는 것 같다. 반면에 γ -subclass proteobacteria에 속하는 세균의 다수가 분해가 용이한 유기물질을 이용해 빨리 성장하는 copiotrophs이고(Manz *et al.* 1994), 빈영양 수계에서 이들이 차지하는 비율은 4% 미만으로 아주 낮다는 보고(Glückner *et al.* 1999)와 달리, 골재채취여부와 무관하게 구미(6.7~14.45%)와 성주(5.4~8.45%) 수역 모두에서 높은 검출비율을 나타냈다. 이는 낙동강 중류에 분해가 용이한 유기물질에 의한 오염도가 높다는 의미이기도 하다. 셀룰로즈 등 다양한 고분자 유기물 분해능을 가졌고(DeLong *et al.* 1993, Lee *et al.* 2005) 저니층에도 상당수 분포하는 것(Llobet-Brossa *et al.* 1998)으로 알려진 CF세균군들은 장마 전보다 장마후에 증가하는 추세(성주: 5.12 → 7.47%, 구미: 7.73 → 10.02%)였다. 본 연구결과에 나타나는 이 세균군의 비교적 높은 우점률은 저니층에서 수층으로 유입된 분해가 더딘 고분자물질과 연관이 있을 것으로 생각된다. 아울러 δ -subclass proteobacteria에 속하고 혐기성 세균이어서 저니층의 혐기적 환경에서 주로 서식하며(Widdel *et al.* 1992), 성층화된 Fjord 심수층, 즉 무산소층에서도 상당수 발견된(Ramsing *et al.* 1996) 황산염환원세균이 비골재채취 수역인 구미(8월: 5.65%, 11월: 6.41%)보다 골재채취수역인 성주(8월: 10.82%, 11월: 10.09%)에서 훨씬 높은 비율로 검출되었다(Fig. 4). 이는 저니질의 수층유입을 극명하게 입증하는 결과라 하겠다. 또한 본 연구에 도입된 FISH법에 의한 세균 검출 가능성은 세균에 존재하는 리보솜

의 양에 좌우되는데 즉, 세포당 $10^3 \sim 10^4$ 개 이상의 리보솜이 존재해야 검출이 가능하고 세균의 활성도와 리보솜의 양은 깊은 상관성이 있으므로(Hicks *et al.* 1992) 생리적 기능이 좋거나 빨리 자라는 세균에는 리보솜이 많이 존재하므로 FISH법에 의한 세균 검출가능성이 높는데 반해 정수처리 된 음용수에 존재하는 세균과 같이 기아상태의 세균 검출가능성(총세균수에 대한 Eubacteria 비율)은 40% 미만이라고 하였다(Manz *et al.* 1993). Hicks 등(1992)은 여러 연못에서 eubacteria가 총세균수에서 차지하는 비율이 35~67%의 범위에서 변화하였고 보고하였는데 본 실험에서 저니질의 유입이 배제된 장마 전(7월) 구미에서 검출된 세균검출비율(31.74%)은 비슷하였으나 골재채취 지역인 성주에서는 그 비율이 훨씬 낮은 것(18.29%)으로 보아 저니질의 수층 유입이 수층 생태계에 부정적으로 작용해 세균의 활성을 저해했을 가능성도 배제할 수 없다.

결론적으로 골재를 채취하는 과정에서 저니질이 수층으로 유입되어 수층의 이화학적 환경과 세균군집구조를 변화시켰다. 그러나 낙동강 중류처럼 수심이 얕은 수역에서는 골재채취보다 집중 호우 등 수리적 요인들이 세균군집구조에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단되어 골재채취가 야기하는 수계 생태계의 변화를 단독으로 논의하기는 어려웠다. 또한 단기간에 걸쳐 극히 제한된 이화학적인 환경인자들과 세균군집구조를 분석한 본 연구 결과를 토대로 골재채취가 야기하는 전반적인 환경 변화를 속단하는 것은 위험한 일일 것이다. 그러나 골재채취가 저니층에 서식하는 생물상을 훼손시킬 뿐 아니라 수층의 이화학환경과 세균군집구조를 변화시켜 수계에서 물질 순환 고리를 담당하는 세균의 기능과 미생물들의 먹이연쇄에 부정적으로 작용하는 것으로 추정된다. Kim 등(2005)이 낙동강 중류의 동물플랑크톤의 동태에 낙동강 수계 내적인 요인보다 수문학적인 요인이 더 큰 영향을 미친다고 밝혔듯이 추후에는 유속 및 유량 변화 등 수리적인 연구를 병행하여 골재채취가 야기하는 생태계 변화에 관한 좀 더 심도있는 연구를 수행하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

적 요

골재채취가 수층의 세균군집구조에 미치는 영향을 알아보기 위해 낙동강 중류, 골재채취가 이루어 지지 않은 수역인 구미대교와 장기간에 걸쳐 연속적으로 골재채취가 행해지는 지역인 성주군 소학리(성주대교 인근)에서 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ -subclass proteobacteria, *Cytophaga-Flavobacterium*

(CF) group 세균군과 황산염환원세균을 FISH법으로 정량분석하였다. 아울러 수온, pH, EC, 엽록소-*a* 양 등의 이화학적인 환경요인도 측정하였다. DAPI로 염색된 세균수로 측정된 총세균수의 경우, 두 정점간의 괄목할 만한 양적인 차이는 없었으나 그 시간차에 따른 변동이 골재채취 수역에서 더욱 심했다. 또한 높은 엽록소-*a* 양을 나타낸 골재채취 수역에서 검출한 CF group 세균군과 황산염환원세균이 총세균수에서 차지하는 비율이 비골재채취 수역에 비해 높았다. 이같은 결과는 저니질이 수층으로 재유입되었기 때문으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 검출한 세균군이 총세균수에서 차지하는 비율을 합하면 그 비율은 골재채취 수역보다 비골재채취 수역에서 더 높았다. FISH법에 의한 세균의 검출가능성이 해당세균의 물질대사능과 연관이 있으므로 골재채취 수역에서의 낮은 세균 검출율은 골재채취가 세균의 물질순환에서의 역기능을 초래하고 이는 또한 연차적으로 그들의 먹이연쇄에 부정적인 영향을 미칠 가능성을 시사하는 것이다.

사 사

본 연구는 2004년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강영훈, 서준원, 금지돈, 양홍준. 2004. 낙동강 중류(구미 지역)의 어류군집구조. 한국육수학회지. 37:227-235.
- 김동주, 홍선희, 안태석. 1999. 소양호에서 세균군집구조의 계절적·수직적 변화. 한국미생물학회지. 35:242-247.
- 박정원, 최재신, 김미경. 2004. 낙동강 중류 지역의 부착구조 군집의 변화와 유기오탁지수(DAI_{po})에 의한 수질평가. 한국육수학회지. 37:70-77.
- 한국건설연구원. 2001. 한국건설연구원 자료집.
- Alfreider AJ, R Pernthaler, B Amann, FO Sattler, A Glöckner, A Wille and R Psenner. 1996. Community analysis of the bacterial assemblages in the winter cover and pelagic layers of a high mountain lake by *in situ* hybridization. Appl. Environ. Microbiol. 62:2138-2144.
- Amann R, W Ludwig and KH Schleifer. 1994. Identification of uncultured bacteria: A challenging task for molecular taxonomists. ASM News 60:360-365.
- Amann R, W Ludwig and KH Schleifer. 1995. Phylogenetic and *in situ* detection of individual microbial cells without cultivation. Microbiol. Rev. 59:143-169.
- APHA, AWWA, WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- DeLong EF, GS Wickham and AA Davis. 1993. Phylogenetic diversity of substrate marine microbial communities from the Atlantic and Pacific Oceans. Science 243:1360-1363.
- Glöckner FO, BM Fuchs and R Amann. 1999. Bacterioplankton composition of lake and oceans: a first comparison based on fluorescence *in situ* hybridization. Appl. Environ. Microbiol. 65:3721-3726.
- Hicks R, R Amann and DA Stahl. 1992. Dual staining of natural bacterioplankton with 4, 6-diamidino-2-phenylindole and fluorescent oligonucleotide probes targeting kingdom level 16S rRNA sequences. Appl. Environ. Microbiol. 58:2158-2136.
- Kim HW, KH Chang and GJ Joo. 2005. Characteristics and inter-annual variability of zooplankton dynamics in the middle part of the river(Nakdong River). Korean J. Limnol. 38:412-419.
- Lee YO, JH Park and JK Park. 2005. Microbial characterization of excessive growing biofilm in sewer lines using molecular technique. J. Microbiol. Biotechnol. 15:938-945.
- Llobet-Brossa E, R Rosselló-Mora and R Amann. 1998. Microbial community composition of wadden sea sediments as revealed by fluorescence *in situ* hybridization. Appl. Environ. Microbiol. 64:2691-2696.
- Manz W, R Amann, W Ludwig, M Wagner and KH Schleifer. 1992. Phylogenetic oligodeoxynucleotide probes for the major subclasses of proteobacteria: problems and solutions, system. Appl. Microbiol. 15:593-600.
- Manz W, U Szewzyk, P Ericsson, R Amann, KH Schleifer and T Stenstöm. 1993. *In situ* identification of bacteria in drinking water and adjoining biofilms by hybridization with 16S and 23S rRNA-directed fluorescent oligonucleotide probes. Appl. Environ. Microbiol. 59:2293-2298.
- Manz W, M Wagner, R Amann and KH Schleifer. 1994. *In situ* characterization of the microbial consortia active in two wastewater treatment plants. Wat. Res. 28:1715-1723.
- Pernthaler J, FO Glöckner, S Unterholzner, A Alfreider, R Psenner and R Amann. 1998. Seasonal community and population dynamics of pelagic bacteria and archaea in a high mountain lake. Appl. Environ. Microbiol. 64:4299-4306.
- Pusceddu A, C Fiordelmondo and R Danovaro. 2005. Sediment resuspension effects on the benthic microbial loop in experimental microcosms. Microbiol. Ecol. 50:602-613.
- Ramsing NB, H Fossing, TG Ferdelman. 1996. Distribution of bacterial populations in a stratified Fjord (Mariager Fjord, Denmark) quantified by *in situ* hybridization and related to chemical gradients in the water column. Appl. Environ.

Microbiol. 62:1391-1404.

Schallenberg M and CW Burns. 2004. Effects of sediment resuspension on phytoplankton production: teasing apart the influences of light, nutrients and algal entrainment. Freshwat. Biol. 49:143-159.

Wagner M, G Rath, HP Koops, J Floos and R Amann. 1996. *In situ* analysis of nitrifying bacteria in sewage treatment plants. Wat. Sci. Tech. 34:237-244.

Widdel F and Bak F. 1992. Gram-negative mesophilic sulfate-reducing bacteria, 3352-3378. In: Balows A, HG Trupper, M Dworkin, W Harder and KH Schleifer. (ed.), *The Prokaryotes*, vol. 4. Springer-Verlag.

Manuscript Received: January 16, 2006

Revision Accepted: April 14, 2006

Responsible Editorial Member: Joo Rae Jo
(KOWACO)