

낙동강 하류 취수원 유역의 식물플랑크톤과 세균의 하계절 동태

박재림^{1*}, 주기재², 하경², 손연주¹

¹신라대학교 환경학과, ²부산대학교 생물학과
신라대학교 낙동강 연구원

1. 서 론

수생 생태계 내의 식물플랑크톤 군집 및 세균은 먹이사슬의 기초를 이루는 1차 생산자 및 에너지를 재생산해내는 분해자로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 유속이 느리고 영양염류의 높은 강의 갈수기에는 특정 식물플랑크톤이 과도하게 번성하여 원수의 수질을 떨어뜨려 수자원이므로써 가치를 잃게 한다. 세균은 생태계 유지를 위한 물질순환과 에너지 흐름에 중요한 역할을 하며, 수계의 영양상태와 식물플랑크톤 군집의 생체량 변화에 영향을 받는 것으로 보고되었다 (Bird and Kalff, 1984).

지난 10년간, 낙동강 수질 전반에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 최근 동·식물플랑크톤의 생태, 생체량 분포, 천이에 대한 주제가 활발하게 연구되기 시작했다. 그러나 생태계의 에너지 전환과정에서 중요한 역할을 담당하며, 수생 생태계의 주요한 생물상의 하나인 세균의 분포와 식물플랑크톤이 연계된 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 부산시의 취수원이 위치한 낙동강 하류(물금 지역)의 하절기 식물플랑크톤과 세균의 동태를 밝히고, 실험실에서 강 하상에 상당량 침전되어 있는 금속(Cd & Zn) 및 그 화합물이 조사 지점에서 분리된 세균의 증식에 미치는 영향을 파악하여 보고한다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 조사시기 및 지점

1999년 5월부터 9월까지 월 2회 식물플랑크톤 군집과 박테리아 분포 및 육수학적 특성을 조사한다. 단 6~7월의 집중 강우시기는 조사간격을 2~3일로 좁혀 식물플랑크톤의 번성을 밝혔다.

부산 및 경남 일원의 주요 취수원인 낙동강 하류지점의 물금(하구둑으로부터 27 km 상부)과 낙동강 본류의 중·하류 6개 지점 및 지류 3개 지점을 대상지로 택하였다 (Fig. 1).

본류

물금(RK*27): 경남 양산군, 물금 취수장

남지(83): 경남 함안, 남지교

고령(150): 경북 고령, 고령교

하남(RK54): 경남 밀양, 수산대교

적포(109): 경남 함천, 적포교

왜관(182): 경북 성주, 성주대교

2.2.2 식물플랑크톤 생체량

시료를 0.45 μm cellulose acetate filter(millipore)로 여과하여, 냉동보관 하였다가, 전처리 한 후 Monochromatic method에 따랐다.

2.2.3 식물플랑크톤의 종조성 및 계수

- 계수:Lugol's solution으로 고정하여 Settling chamber에 침전(24 시간) 후 Zeiss 도립 현미경 시야에서 계수 하였다.
- 동정:G.M. Smith의 분류체계와 각종 도감을 참고로 하였다.

2.2.4 세균의 분포(밀도)

- 총균수:현장에서 고정(glutaldehyde), 실험실에서 DAPI로 염색, polycarbonate (Sudan black B로 염색된)로 여과, 광학현미시아에서 계수 하였다.
- 생균수:Nutrient agar plate에 시료를 0.3% peptone water에 단계별(1/10, 1/100, 1/T, 1/10T, 1/100T, 1/M, 1/10M)로 희석한 후 smear 하여 72 시간 후 colony forming unit(CFU)를 산정하였다.

2.2.5 중금속이 조사지점에서 분리된 세균의 증식에 미치는 영향

하상에 축적된 금속을 측정하여 그중 많은 량을 차지하는 Cd & Zn 및 그 화합물 ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ & $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)을 이용하여 조사지점에서 분리된 우점 미생물의 증식에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

1999년 5월부터 9월까지 부산 및 경남 일원의 주요 취수원인 낙동강 하류지점의 물금(하구둑으로부터 27 km 상부)과 낙동강 본류의 중·하류의 6개 지점 및 지류의 3개 지점을 대상지로 택하여 월 2회 육수학적 특성과 식물플랑크톤 군집과 박테리아 분포를 조사하고 조사지점에서 분리된 세균의 증식에 미치는 금속의 영향을 측정한 결과는 아래와 같다.

3.1 이화학적 특성

조사기간 동안 평균 식물플랑크톤의 생체량(chl. a, 10~20 $\mu\text{g}/\ell$)은 평년에 비해 약 1/3수준이었으며, 남조류의 번성은 크게 관찰되지 않았다. 수온의 변화범위는 17.4~31.4 $^{\circ}\text{C}$ 로 전형적인 온대지방의 봄, 여름철 수온을 나타내었다(Table 1). 7월에는 심한 강우로 인해 다른 해의 7월에 비해 3~5 $^{\circ}\text{C}$ 낮은 수온을 유지하였다(Ha *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 1996). 지류의 경우 황강, 남강, 금호강이 각각 24.7 ± 1.7 , 20.9 ± 3.3 , $25.3 \pm 3.0^{\circ}\text{C}$ 로 금호강의 평균수온이 가장 높았다(Table 2). 지점별 평균탁도는 물금 11.0 ± 6.0 , 왜관 14.3 ± 6.1 NTU로 왜관과 물금지점을 제외하고는 하류로 내려갈수록 증가하는 경향을 보였다. 본류의 지점별 DO%값은 물금 98.9 ± 21.3 과 왜관 97.1 ± 25.2 로 높은 값을 나타냈다. 전기전도도는 고령(본류) 271 ± 65.7 , 금호강(지류)이 463 ± 172.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 높은 수치를 나타내었다.

Table 1. Summary of the physico-chemical parameters in the 6 sites of main channel (1999.5 ~ 1999. 8): *Mean and SD, ** : Range (min.-max).

Parameters	Unit	Mulgum (RK27)	Hanam (RK54)	Namji (RK82)	Jukpo (RK110)	Koryoung (RK150)	Waekwan (RK190)
Water Temperature	°C	25.6* ± 1.5** (21.4-28.3)	24.5 ± 2.0 (17.4-27.2)	24.5 ± 2.1 (17.6-27.8)	24.7 ± 2.8 (19-29)	25.4 ± 3.2 (19.4-31.4)	25.3 ± 3.4 (18.6-31.4)
Turbidity	NTU	11 ± 6.0 (4.2-21.0)	22.8 ± 25.8 (3.9-69.6)	16.8 ± 19.9 (2.5-61.2)	13.9 ± 8.9 (3.6-27.8)	11.2 ± 7.8 (3.3-30.1)	14.3 ± 6.1 (5.7-29.7)
pH		7.4 ± 0.5 (6.74-8.05)	7.3 ± 0.9 (5.5-8.4)	7.2 ± 0.5 (6.2-7.7)	7.6 ± 0.2 (7.4-8.0)	7.5 ± 0.4 (6.8-8.2)	7.7 ± 0.5 (7.2-8.5)
DO	mg/ℓ	8.1 ± 1.7 (4.5-10.2)	7.3 ± 1.3 (5.0-9.0)	7.2 ± 1.5 (4.8-8.8)	7.4 ± 2.3 (3.4-9.8)	7.3 ± 2.1 (3.6-9.9)	8.0 ± 1.8 (6.1-11.1)
DO	%sat.	98.9 ± 21.3 (55.1-122)	87.1 ± 16.9 (60.2-110)	86.9 ± 18.8 (55.1-106)	89.0 ± 30.2 (38.5-127)	88.3 ± 29.1 (42-126)	97.1 ± 25.2 (72.5-143)
Conductivity	μ S/cm	167.1 ± 43.5 (120-230)	170.7 ± 41.9 (125-220)	168.4 ± 48.1 (79-240)	207.1 ± 33.5 (160-280)	271.1 ± 65.7 (145-360)	170.0 ± 16.3 (125-200)
Alkalinity	mg/ℓ	22.0 ± 2.5 (1.2-26)	24.0 ± 3.3 (1.2-28)	27.3 ± 5.8 (1.4-38)	25.0 ± 6.3 (1.2-38)	30.0 ± 4.7 (1.3-36)	70.7 ± 106.5 (1.2-288)
BOD	mg/ℓ	8.7 ± 4.9 (2.5-14.4)	10.7 ± 2.8 (6.5-15.8)	10.0 ± 5.0 (2-14.7)	10.5 ± 2.3 (8.1-14.4)	10.6 ± 3.1 (7-18)	13.0 ± 2.6 (7.6-16.7)

Table 2. Summary of the physico-chemical parameters in the 3 tributaries (1999.5 ~ 1999. 8): *Mean and SD, ** : Range (min.-max).

Parameters	Unit	Nam R. (RK92)	Hwang R. (RK121)	Kumho R. (RK169)
Water Temperature	°C	24.7 ± 1.7 (18.8-27.4)	20.9 ± 3.3 (14.9-24.7)	25.3 ± 3.0 (19.6-29.8)
Turbidity	NTU	31.2 ± 61.6 (3.6-170.8)	13.6 ± 8.3 (5.1-24.7)	12.7 ± 6.9 (4.8-23.8)
pH		7.1 ± 1.0 (5.1-7.6)	7.2 ± 0.3 (6.8-7.6)	7.5 ± 0.3 (7.1-7.9)
DO	mg/ℓ	7.3 ± 1.3 (5.9-9.5)	7.9 ± 2.5 (3.6-11.5)	7.9 ± 3.2 (5-13.2)
DO	%sat.	86.8 ± 17.7 (70.8-120)	86.8 ± 25.5 (39-112.8)	96.7 ± 44.1 (55.8-170)
Conductivity	μ S/cm	115.9 ± 42.2 (61-180)	75.1 ± 7.6 (60-80)	463 ± 172.1 (180-720)
Alkalinity	mg/ℓ	20.2 ± 4.2 (1-30)	19.7 ± 6.3 (1-32)	45.7 ± 9.2 (2-66)
BOD	mg/ℓ	8.0 ± 1.2 (6-16)	16.8 ± 4.5 (12.2-23.5)	9.1 ± 3.7 (4.5-13.2)

3.2 식물플랑크톤 생체량

식물플랑크톤 생체량은 평균 $19 \mu\text{g}/\ell$ 로 물금 $12.9 \pm 6.6 \mu\text{g}/\ell$ 이었으며, 황강 $2.7 \pm 1.3 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 낮았고, 금호강은 $35.1 \pm 28.9 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 높았다 (Fig. 2).

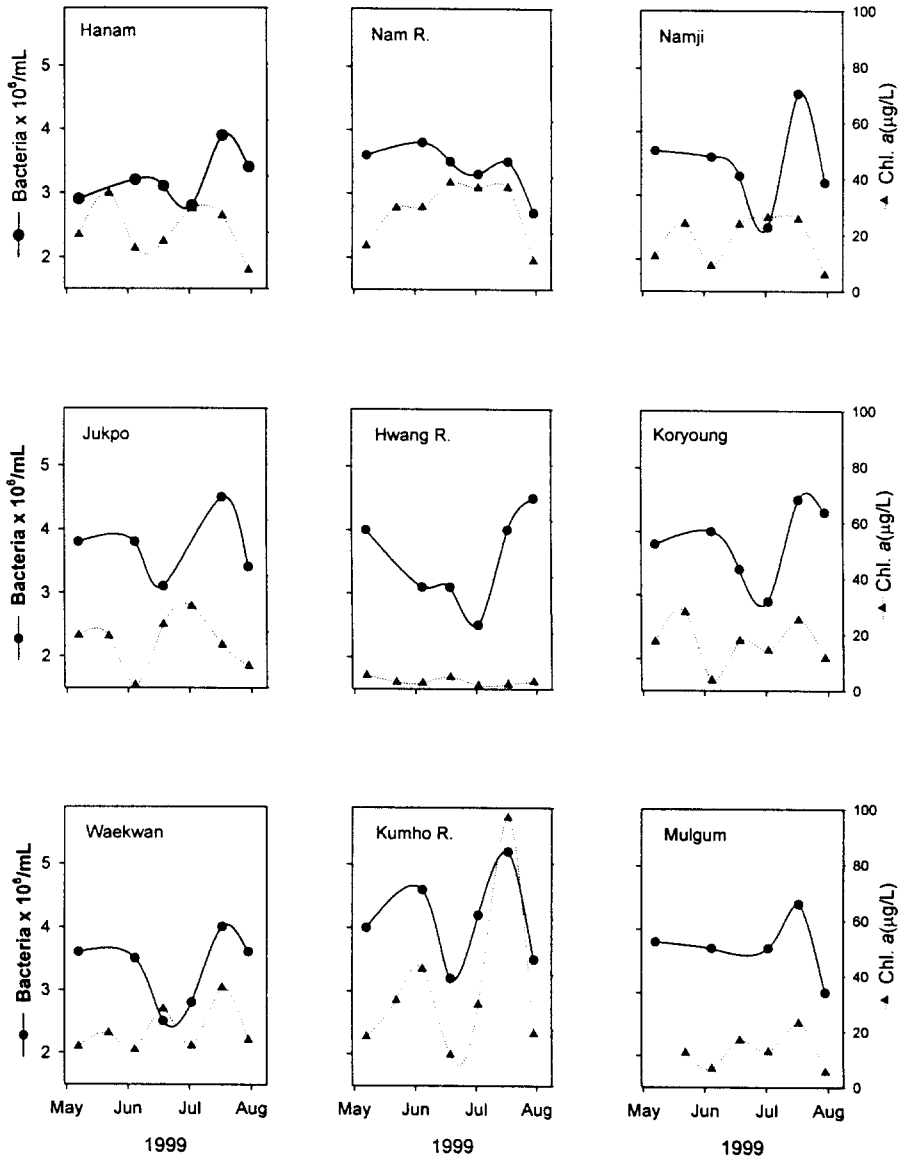


Fig. 2. Seasonal changes in total bacterial numbers and phytoplankton biomass at 6 sites in main channel and 3 tributaries in Nakdong River (1999. 5. ~1999. 7, n=6).

3.3 미생물의 밀도

미생물의 총균수는 모든 지점에서는 $2.5 \times 10^6 \sim 5.2 \times 10^6$ cells/ml의 범위를 나타내 전반적으로 이전에 조사한 자료와 큰 차이는 나타나지 않았다(Fig. 2). 미생물의 생균수(viable counts) 측정에서 월별, 지역별 최고치를 나타낸 곳은 5월의 금호강, 9월의 금호강과 적포가 $2.0 \sim 3.1 \times 10^8$ 으로 나타났고, 최저는 물금; 5, 6, 7월, 하남; 5월, 남지; 6월이 2.0×10^3 이하로 나타났다(Table 3).

Table 3. The Colony forming units of microorganisms cultured from the water samples of Nokdong River by month and sampling sites

Month	May	June	July	August	September
Site					
Waekwan	8.5×10^7	1.7×10^4	9.8×10^4	5.8×10^5	1.8×10^6
Kumho R.	3.6×10^8	3.6×10^7	1.3×10^4	1.3×10^5	3.1×10^8
Koryoung	2.6×10^4	9.9×10^9	2.5×10^5	6.7×10^5	5.5×10^9
Hwang R.	3.7×10^7	5.0×10^4	5.9×10^4	1.7×10^7	4.4×10^5
Jukpo	8.2×10^5	1.8×10^9	3.1×10^9	7.5×10^7	2.0×10^8
Namji	7.1×10^4	1.9×10^5	1.3×10^4	6.5×10^9	1.4×10^4
Nam R.	1.3×10^9	6.7×10^7	1.3×10^7	1.9×10^4	1.4×10^4
Hanam	1.8×10^5	1.1×10^4	2.1×10^4	3.2×10^5	2.2×10^7
Mulgum	1.0×10^4	1.4×10^5	1.1×10^5	1.1×10^4	3.4×10^4

The means are calculated from 2 or 3 samples of each month and site.

3.4 중금속과 그 화합물이 조사지점에서 분리된 미생물의 증식에 미치는 영향

금호강과 황강에서 분리된 세균의 우점종은 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가하여 배양한 전 농도에서 대조군보다 월등한 증식을 나타내었고, Cd 분말에는 증식이 현저히 억제되었다. 그러나, Zn 분말과 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가한 실험에서는 금호강을 제외한 전체 군주의 증식이 현저하게 억제되었다(Fig. 3, Fig. 4).

4. 요약

1999년 5월 부터 9월까지 부산 및 경남 일원의 주요 취수원인 낙동강 하류지점의 물금(하구둑으로부터 27 km 상부)과 낙동강 본류의 중.하류의 6개지점 및 지류의 3개 지점을 대상지로 택하여 월 2회 육수학적 특성과 식물플랑크톤 군집과 박테리아 분포를 조사하고 조사지점에서 분리된 세균의 증식에 미치는 금속의 영향을 측정된 결과

조사기간 동안 평균 식물플랑크톤의 생체량(chl. *a*, $10 \sim 20 \mu\text{g}/\ell$)은 평년에 비해 약 1/3수준이었으며, 남조류의 번성은 크게 관찰되지 않았다. 수온의 변화범위는 $17.4 \sim 31.4^\circ\text{C}$, 황강, 남강, 금호강이 각각 24.7 ± 1.7 , 20.9 ± 3.3 , $25.3 \pm 3.0^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 지점별 평균 탁도는 물금 11.0 ± 6.0 , 왜관 14.3 ± 6.1 NTU, DO의 %값은 물금 98.9 ± 21.3 과 왜관 97.1 ± 25.2 을 나타냈다. 전기전도도 값은 본류에서 고령 271 ± 65.7 , 지류는 금호강이 $463 \pm 172.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다.

식물플랑크톤 생체량은 평균 $19 \mu\text{g}/\ell$, 물금 $12.9 \pm 6.6 \mu\text{g}/\ell$, 황강 $2.7 \pm 1.3 \mu\text{g}/\ell$, 금

호강 $35.1 \pm 28.9 \mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다.

미생물의 총균수는 모든 지점에서는 $2.5 \times 10^6 \sim 5.2 \times 10^6$ cells/ml, 미생물의 생균수 (viable counts) 측정에서 금호강의 5월과 9월, 9월의 적포가 $2.0 \sim 3.1 \times 10^8$, 물금; 5, 6, 7월, 하남; 5월, 남지; 6월이 2.0×10^3 이하로 나타났다.

금호강과 황강에서 분리된 세균의 우점종은 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가하여 배양한 전 농도에서 대조군 보다 월등한 증식을 나타내었고, Cd에는 증식이 현저히 억제되었다. 그러나 Zn 분말과 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가한 실험에서 금호강을 제외한 전체 군주의 증식이 현저하게 억제 되었다.

참고문헌

- Bird, D. F. and J. Kalf, 1984, Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1015-1023.
- Ha, K., H. W. Kim and G. J. Joo, 1998, The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea, *Hydrobiologia* 369/370, 217-227.
- Kim, H. W., K. Ha, and G. J. Joo, 1998, Eutrophication of the lower Nakdong River after the construction of an estuarine dam in 1987, *International Revue der Gasamten Hydrobiologie*, 83, 65-72.
- Wetzel, R. G., and G. E. Likens, 1991, *Limnological Analyses*, (2nd ed.), 391pp.

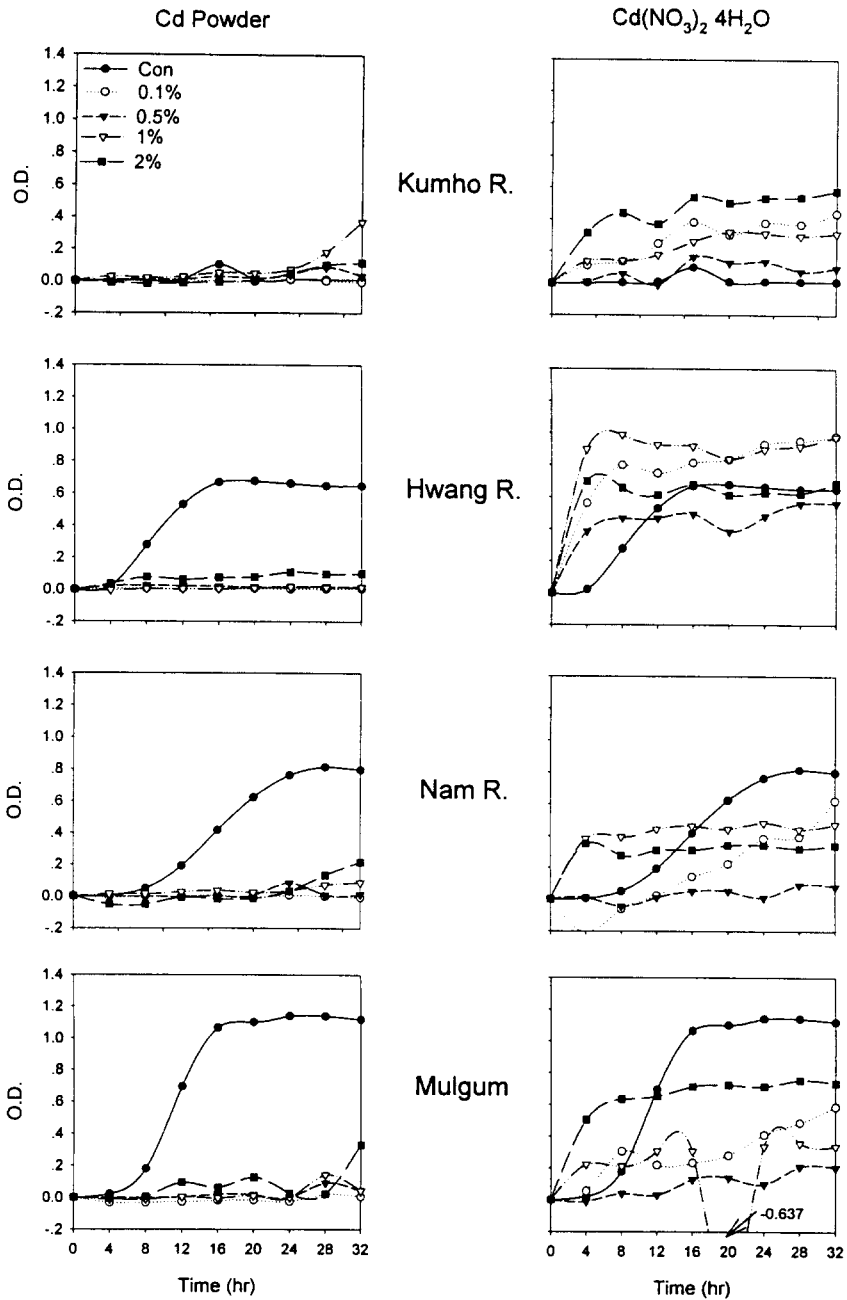


Fig. 3. The growth of dominants isolated from sampling sites of Nakdong River in the presence of Cd and its compounds

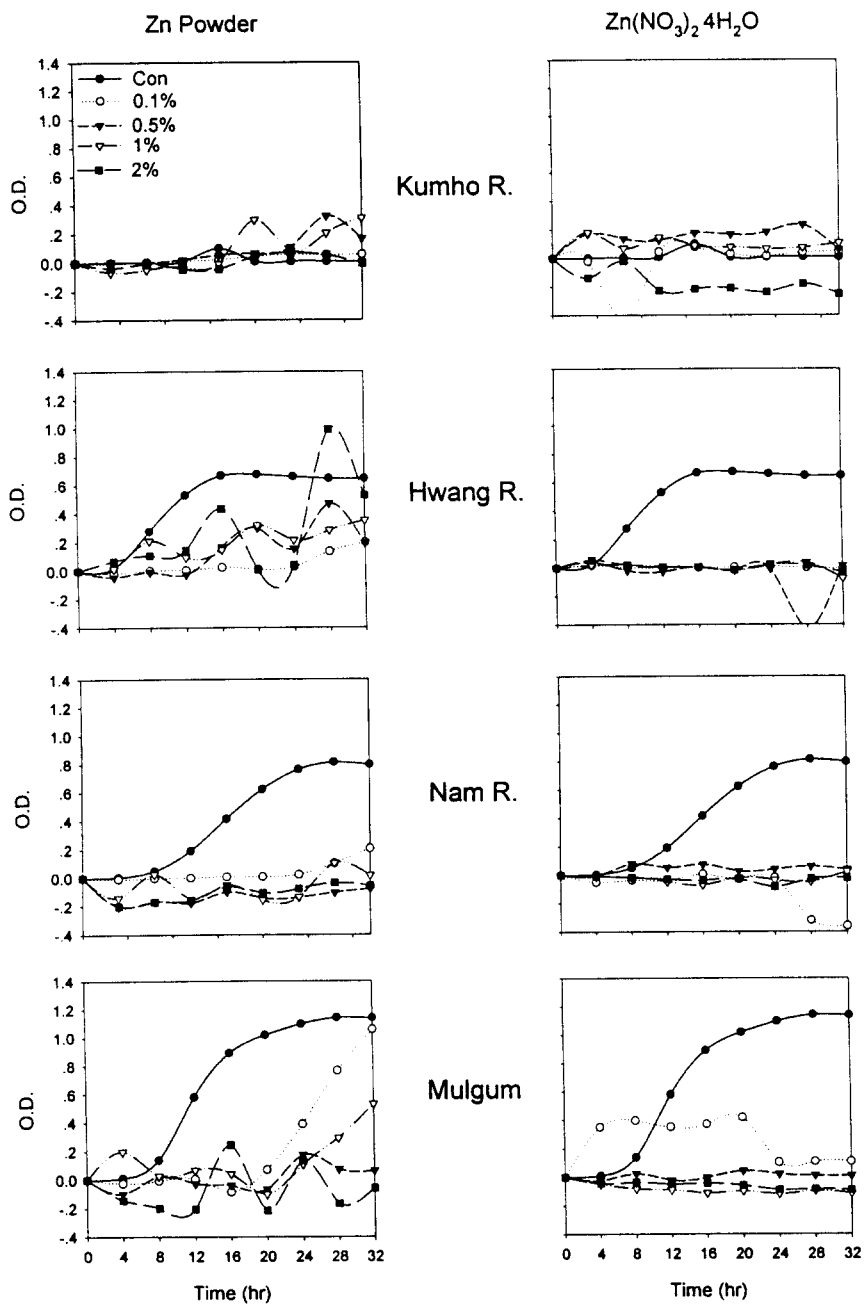


Fig. 4. The growth of dominants isolated from sampling sites of Nakdong River in the presence of Zn and its compounds