Korean J. Environ. Biol. 27 (3) : 244~251 (2009)

살조세균 *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09의 두 가지 담체 포집능과 이를 이용한 microcosm에서 *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyceae)의 살조능 연구

정 승 원[1,2] · 김 영 옥[2] · 한 명 수[1,*]

[1]한양대학교 자연과학대학 생명과학과,
[2]한국해양연구원 부설 남해연구소 남해특성연구부

Algicidal Effect of Immobilized Bacteria against *S. hantzschii* in Microcosm

Seung Won Jung[1,2], Young-Ok Kim[2] and Myung-Soo Han[1,*]

[1]*Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-743, Korea*
[2]*South Sea Institute, Korea Ocean Research and Development Institute, Geoje 656-830, Korea*

Abstract – To assess the algicidal effect of a bacterium, *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 (SK09), attached to activated carbon polyvinyl alcohol (ACPA) and cellulose sponge (CS) carriers against *Stephanodiscus hantzschii*, the present study was carried out in an indoor-microcosm. As comparing immobilization effects of two carriers, the ACPA carrier allowed for higher packing cell density of SK09 compared to the CS carrier. In the microcosm, immobilized SK09 cells were applied to control *S. hantzschii* blooms. Immobilized SK09 cells exhibited a species-specific activity towards the diatom, showing an algicidal effect up to 72% attached by ACPA carriers and to 51% attached by CS carriers. In particular, a level of conductivity treated with ACPA carriers was decreased than that of CS carriers. The present study clearly demonstrates that ACPA-immobilized SK09 cells could effectively control *S. hantzschii* blooms and improve water quality in the microcosm ecosystem.

Key words : activated carbon polyvinyl alcohol carrier, algicidal bacterium *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09, cellulose sponge carrier, microcosm, *Stephanodiscus hantzschii*

서 론

산업화와 함께 호수 및 하천의 부영양화가 가속화되면서 유해조류 대발생 (harmful algal bloom)이 빈번하게 일어나고 있다 (Vincent 1987). 특히 저수온기에 규조 *Stephanodiscus hantzschii*는 유럽 (Sommer 1986; Leitao 1995), 아프리카 (Talling 1965; Kilham *et al.* 1986), 아시아 (Kobayasi *et al.* 1985a; Kobanova and Genkal 1989; Jung *et al.* 2009c) 등, 전 세계적으로 대발생하고 있으며, 이로 인한 이취미 물질 발생과 투명도 감소에 따른 하천경관 훼손, 정수장의 여과지 폐쇄 등의 많은 문제들을 야기하고 있다 (Oksiyuk 1965; Sakevich 1970; Lim *et al.* 2000; Lee *et al.* 2001; Hijnen *et al.* 2007). 국내에서는 1980년대 후반

* Corresponding author: Myung-Soo Han, Tel. 02-2220-0956, Fax. 02-2296-1741, E-mail. hanms@hanyang.ac.kr

이후 한강 및 낙동강에서 매년 대발생 하고 있는 실정이다(Ha *et al.* 2002; 이와 정 2004).

유해조류를 제어하기 위한 기술로는 물리적 방법과 화학적 방법들이 개발되고 있으나(e.g. Gibson 1972; Lee *et al.* 2001), 이러한 방법들은 제어 효과가 빠른 장점을 가지고 있는 반면에, 비경제적이고 이차오염을 유발할 수 있어 보다 자연 친화적이고 경제적인 기술을 요구하게 되었다. 이러한 요구에 바이러스, 박테리아, 동물플랑크톤 및 어류 등을 이용한 생물학적 제어는 친환경적 유해조류 제어 방법으로 주목 받고 있으며, 이중 살조세균은 특히 많은 관심을 받았다. 살조세균을 이용한 유해조류 제어 연구에서 해양 유해조류를 대상으로 한 연구가 대부분이며(e.g. Mayali and Azam 2004), 담수에서는 주로 독소를 야기하는 남조류를 대상으로 수행되었다(e.g. Sigee *et al.* 1999).

*S. hantzschii*를 제어하기 위한 연구는 살조 세균 *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 (SK09)의 분리 및 살조 기작과 함께 살조능을 현장 검증하기 위한 현장 폐쇄생태계 (mesocosm)연구를 수행하였다(Jung *et al.* 2008, 2009b). 특히 mesocosm연구에서 SK09는 현장에서 높은 살조능을 보여 생태계 적용 가능성이 높았으나, *S. hantzschii* 분해에 따른 전기전도도 및 영양염류의 증가와 같은 문제가 발생하여(Jung *et al.* 2008, 2009b), 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안이 대두되었다. 이중 담체화는 취급과 조작이 간단하고 지속적인 처리 및 수환경 개선이 가능한 안정적인 방법으로(Brodelius and Vandamme 1987) 하, 폐수 등의 처리, 영양염류 및 유기화합물 제거 등 많은 응용분야에서 연구되었다(Bettmann and Rehm 1984; Balfanz and Rehm 1991; Sahasrabudhe *et al.* 1991).

본 연구는 *S. hantzschii* 제어를 위해 분리된 살조세균 *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09를 두 종류의 담체를 이용하여 포집능을 파악하였으며, 낙동강에서 대발생된 *S. hantzschii* 현장수를 가지고 소형 폐쇄 생태계 (microcosm)에서 살조능 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 담체 포집능

본 연구팀의 선행연구에 따르면 Zeolite, Alginate 및 Cellulose Sponge (CS)담체의 포집능에서 CS담체가 가장 높은 효율을 나타내었다(Kang *et al.* 2007). 따라서 가장 높은 효율을 보인 CS담체와 Bio-caron사(한국)에서 개발한 activated carbon polyvinyl alcohol (ACPA)담체를 선정하여 기존 방법(Kang *et al.* 2007)과 동일하게 살조세균의 포집능을 파악하였다. ACPA담체는 미생물의 높은 부착능 및 탈리현상 억제능이 있으며, 질소와 인의 제거 효율이 높은 장점을 가지고 있다(출원번호: 10-2003-0032492).

ACPA와 CS담체는 1.0 cm^3의 정육면체로 성형한 후 이물질을 제거하기 위하여 멸균 증류수로 세척 후, 60°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 이렇게 건조한 담체는 180～250 nm 자외선으로 4시간 동안 쪼여 멸균하였다. 담체의 포집능을 측정하기 위해 Jung *et al.* (2008)의 방법으로 분리한 *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 (SK09)를 500 mL 플라스크에서 200 mL nutrient broth 배지에 SK09를 10^9 cells mL^{-1}까지 배양한 후 각각의 담체를 50개씩 플라스크에 넣고 SK09의 포집능을 시간대별로 측정하였다. 배양은 암 조건하에서 6시간 동안 25°C에서 30 rpm으로 회전시켰으며 포집된 담체는 한 시간 별로 5개씩 3배수로 취해 다음과 같이 살조세균을 계수하였다(de Ory *et al.* 2004). 담체 표면은 sodium acetate buffer (pH 4.6)로 세척 후 50 mL conical tube에 25 mL의 sodium acetate buffer (pH 4.6)로 25°C 항온수조에서 20A의 초음파(VibramCell, Sonic & Materials Inc. USA)로 15분 동안 담체내에서 살조세균을 탈리시켰다. 이렇게 탈리된 살조세균은 0.2 μm black membrane으로 세균을 모은 후, 4′,6-diaminidino-2-phynylindiole (DAPI)로 염색하여 형광현미경(Axioplan, Zeiss, Germany)으로 계수하였다(Porter and Feig 1980). 담체의 미세구조와 살조세균의 부착을 관찰하고자 포집 전의 담체와 4시간 동안 포집된 담체를 취한 후 절편으로 성형하였다. 성형된 담체는 Jung *et al.* (2009a)의 방법에 따라 전처리 후, 주사전자현미경(JSM-5600LV, JEOL, Japan)으로 관찰하였다.

2. Microcosm을 통한 *Stephanodiscus hantzschii*의 살조능 연구

낙동강에서 대발생한 *S. hantzschii* (2.51×10^4 cells mL^{-1}) 현장수를 대상으로 살조세균이 포집된 ACPA와 CS담체를 가지고 10 L 실내 microcosm 실험을 수행하였다. 이때 온도는 13°C, 광량은 40 μE m^{-2} s^{-1} (12 : 12 h L : D cycle)로 유지하였다. 실험군은 대조구(Control), 살조세균 포집된 ACPA담체 처리구(ACPA+SK09)와 CS담체 처리구(CS+SK09) 그리고 ACPA 및 CS담체만 투입한 실험구 등 총 5개의 실험구로 각각 3배수 실험을 수행하였다. 담체의 투입은 Jung *et al.* (2008)에 따라 10 L의 실험수에 살조세균이 총 5×10^6 cells mL^{-1}이 되게 포집 밀도

를 분석 후 농도에 맞게 투입하였다. Microcosm의 환경요인의 변동을 보기 위하여, 수온, 용존산소, pH, 전기전도도를 portable meter (U-10, Horiba, Japan)로 시료 채수와 함께 측정하였다. 식물플랑크톤의 군집변화는 각 microcosm에서 현장수를 균일 혼합한 후 10 mL를 채수하여 PE bottle에 최종 농도 2%의 glutaraldehyde로 고정 후 광학현미경하에서 (Axioplan, Zeiss, Germany)로 계수 및 동정하였다.

3. Data 분석

각 실험군별 환경요인의 차이를 보기 위하여 one-way ANOVA로 분석하였고, 실험군별 상관성을 분석하였다 (Pearson correlation). 이때 분석은 SAS 프로그램 (v. 9.12, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였다. 또한 살조세균에 의한 *S. hantzschii*의 최대 살조능 (Maximum Algicidal Effect, MAE)은 다음과 같이 구하였다. MAE (%)=(1−T_t/C_t)×100. 여기에서 T와 C는 각각 처리구와 대조구에서 *S. hantzschii* 개체수이며, t는 시간이다.

결 과

1. ACPA와 CS담체 포집율

ACPA와 CS담체는 살조세균 배양 배지에 투입 후 1시간 경과시 각각 $7.05\pm0.85\times10^6$ cells mL^{-1}와 $1.39\pm0.49\times10^6$ cells mL^{-1}를 나타내었다. 그러나 1시간 후부터 각 담체별로 포집밀도의 차이를 보였는데, ACPA담체는 대수 증식적으로 포집되어 4시간 경과시 최대 $1.61\pm0.15\times10^8$ cells mL^{-1}로 최대 포집밀도를 보였다. 반면 CS담체는 4시간 경과시 최대 $4.29\pm0.67\times10^7$ cells mL^{-1}를 포집 후 감소하였다 (Fig. 1). 담체의 미세구조 관찰시, ACPA담체는 미세 다공성을 가지고 있는 반면 (Fig. 2A), CS담체는 미세 공극이 없고 엉성하게 얽혀 있는 구조였다 (Fig. 2B). 또한 SK09 포집 후 ACPA담체는 높은 밀도로 살조세균이 부착되어 있음을 관찰하였으나 (Fig. 2C), CS담체는 낮은 밀도를 보였다 (Fig. 2D).

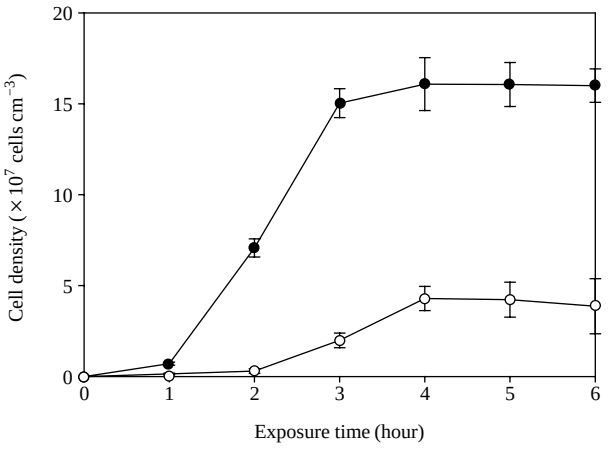

Fig. 1. Attached cell density of *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 between activated carbon polyvinyl alcohol (ACPA) and cellulose sponge (CS) carriers.

2. Microcosm에서 살조세균 담체를 이용한 *Stephanodiscus hantzschii*의 제어

Microcosm에서 식물플랑크톤 및 *S. hantzschii*의 개체수의 변화는 Fig. 3과 같다. ACPA+SK09 처리시 식물플랑크톤 개체수는 2.77×10^4 cells mL^{-1}에서 1.37×10^4 cells mL^{-1}까지 감소하였으며, CS+SK09 처리시 2.77×10^4 cells mL^{-1}에서 2.23×10^4 cells mL^{-1}까지 감소하였다. 특히 *S. hantzschii*는 ACPA+SK09 처리시 72%의 살조능을 보였고, CS+SK09 처리시 51%의 살조능이 관찰되어 ACPA담체에 SK09 처리시 *S. hantzschii*의 높은 살조능을 보였다. 반면에 대조구에서 식물플랑크톤 개체수는 초기 2.77×10^4 cells mL^{-1}에서 4.80×10^4 cells mL^{-1}까지 증가하였고, *S. hantzschii*의 우점율 또한 90.58%에서 94.41%까지 계속적인 증가를 보였다. 살조세균을 포집하지 않은 ACPA 및 CS담체만 처리시, 식물플랑크톤 개체수는 대조구의 변화와 같이 유사한 농도로 증가하여, 대조구와 각각 $r=0.86$ ($p<0.01$)과 $r=0.87$ ($p<0.01$)로 높은 상관관계를 나타내었다.

3. Microcosm에서 환경요인의 변화

Microcosm내 환경요인의 변화는 Fig. 4와 같다. 수온은 12.9～14.4°C로 전 실험군이 동일한 양상이었다 ($p>0.05$, ANOVA). 용존산소는 대조구에서 8.04～8.72 mg L^{-1}를, ACPA 및 CS담체만 처리시 각각 7.90～8.51 mg L^{-1} 및 7.99～8.74 mg L^{-1}로 대조구와 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$, ANOVA). 그러나 살조세균을 담체 포집시 용존산소는 급격히 감소하였다. 특히 CS+SK09 처리시에 용존산소는 2.69 mg L^{-1}까지 감소하였고, ACPA+SK09 처리시에는 최소 5.48 mg L^{-1}까지 감소하였다. pH는 용존산소와 유사한 변화를 보여, 대조구에서 pH는 8.58에서 9.08까지 증가하였으며, APVA 및 CS담체만 처리시에도 대조구와 유사한 증가를 보였다. 그러나 ACPA+SK09 및 CS+SK09 처리구에서 pH는 각각 6.92 및 6.89까지 낮아졌다. 전기전도도는 대조구와 CS담체 처리구에서 유사한 양상을 보여 각각 평균 273 μS cm^{-1}와 272 μS cm^{-1}를 보였으나, ACPA담체만 처리시 평균

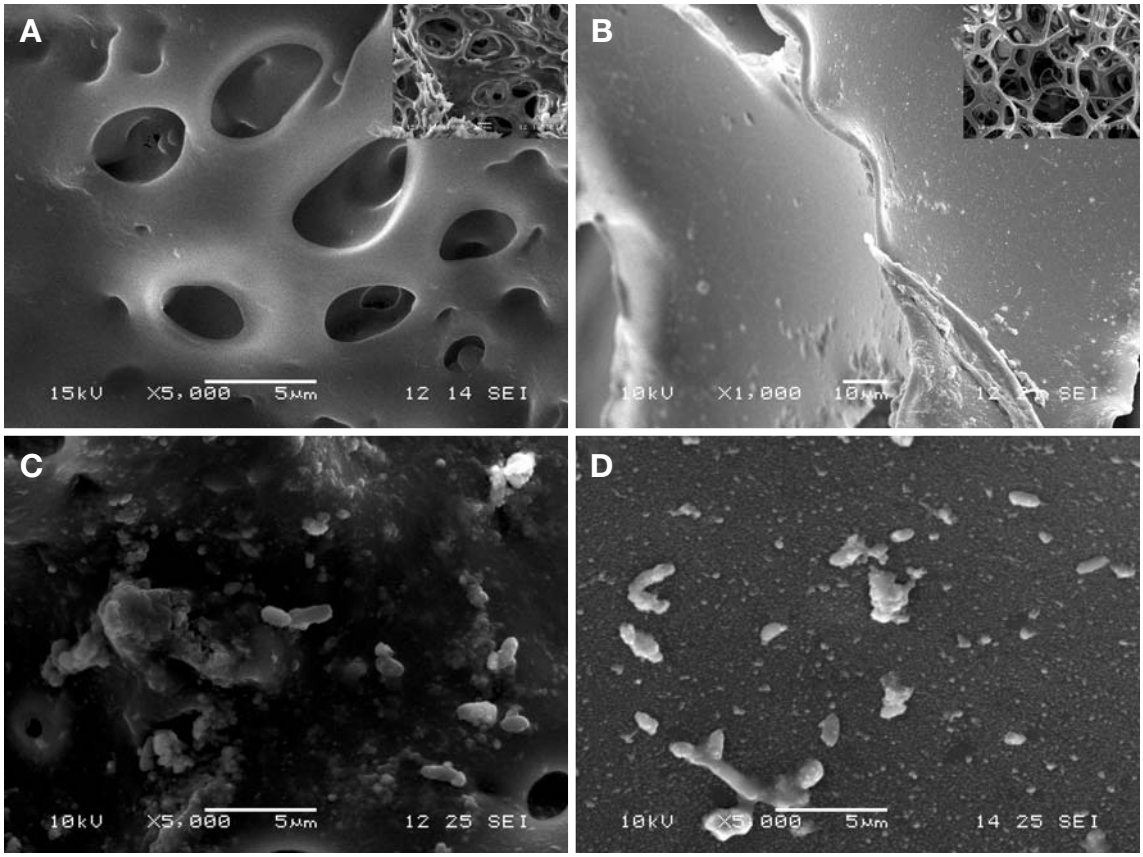

Fig. 2. Photographs of activated carbon polyvinyl alcohol (A) and cellulose sponge (B) carriers before immobilization with *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 (SK09) cells and ACPA (C) and CS (D) carriers after with SK09 cells for 4 hours.

256 μS cm^{-1}로 낮게 나타났다. ACPA+SK09 처리구에서 전기전도도는 평균 298 μS cm^{-1}까지 증가한 반면, CS+SK09 처리구에서는 평균 335 μS cm^{-1}로 급격한 증가를 보였다.

고 찰

ACPA와 CS담체에 대한 SK09의 포집능은 ACPA담체가 2배 이상 높게 나타났다. Kang *et al.* (2007)은 agar, alginate, polyurethane 및 CS담체를 사용하여 SK09의 포집시 CS담체가 가장 높게 포집 할 수 있다고 보고하였다. 따라서, 기존 연구와 본 연구의 결과를 비교시, ACPA담체가 높은 효율을 가지고 있음을 알 수 있었다. 이는 활성탄 및 polyvinyl alcohol (PVA) 재질이 미생물의 포집능을 높이는 데 있어 중요 요인으로 작용한다고 판단된다. 박 등 (1998)은 여러 가지 담체 사용시 활성탄 담체의 포집율이 가장 우수했으며, 황 등 (2001)은 활성탄 담체가 높은 포집율을 나타낸다고 보고하였다. 또한 PVA를 사용한 담체의 연구에서 Lozinsky *et al.* (1996)은 여러 미생물을 대상으로 PVA의 포집능이 우수하였고, *Saccharoyces cerevisiae*를 포집한 PVA 담체를 가지고 폐수중 copper 제거시 높은 효율을 보였다 (Ting and Sun 2000). 미생물의 담체 부착 효율은 담체 재질뿐만 아니라 담체의 표면적, 접촉각, 거칠기 등의 물리적 요인들이 복합적으로 작용한다 (김 등 1998; 박 등 2001). ACPA와 CS담체의 미세구조 관찰시 ACPA담체는 많은 미세 소공들이 있는 반면, CS담체는 미세 소공이 없고 ACPA담체에 비해 낮은 표면적을 나타내었다. 따라서 미세 공극을 가지고 있는 ACPA담체의 성상 또한 포집율을 증가시키는 한 요인으로 판단된다. 그러나 담체에 미생물이 부착되는 것은 여러 가지 물리, 화학 및 미생물 부착 특성에 있어서, 어느 한 인자가 지배적인 인자가 되기도 하며, 여러 가지 인자가 동시에 영향을 주기도 하므로 (박 등 1998), 앞으로 담체의 포집율을 더욱 증가시킬 수 있는 연구가 필요하다.

Microcosm에서 SK09가 포집된 담체를 이용하여 *S. hantzschii*의 살조능을 파악하였을 때, ACPA담체에서

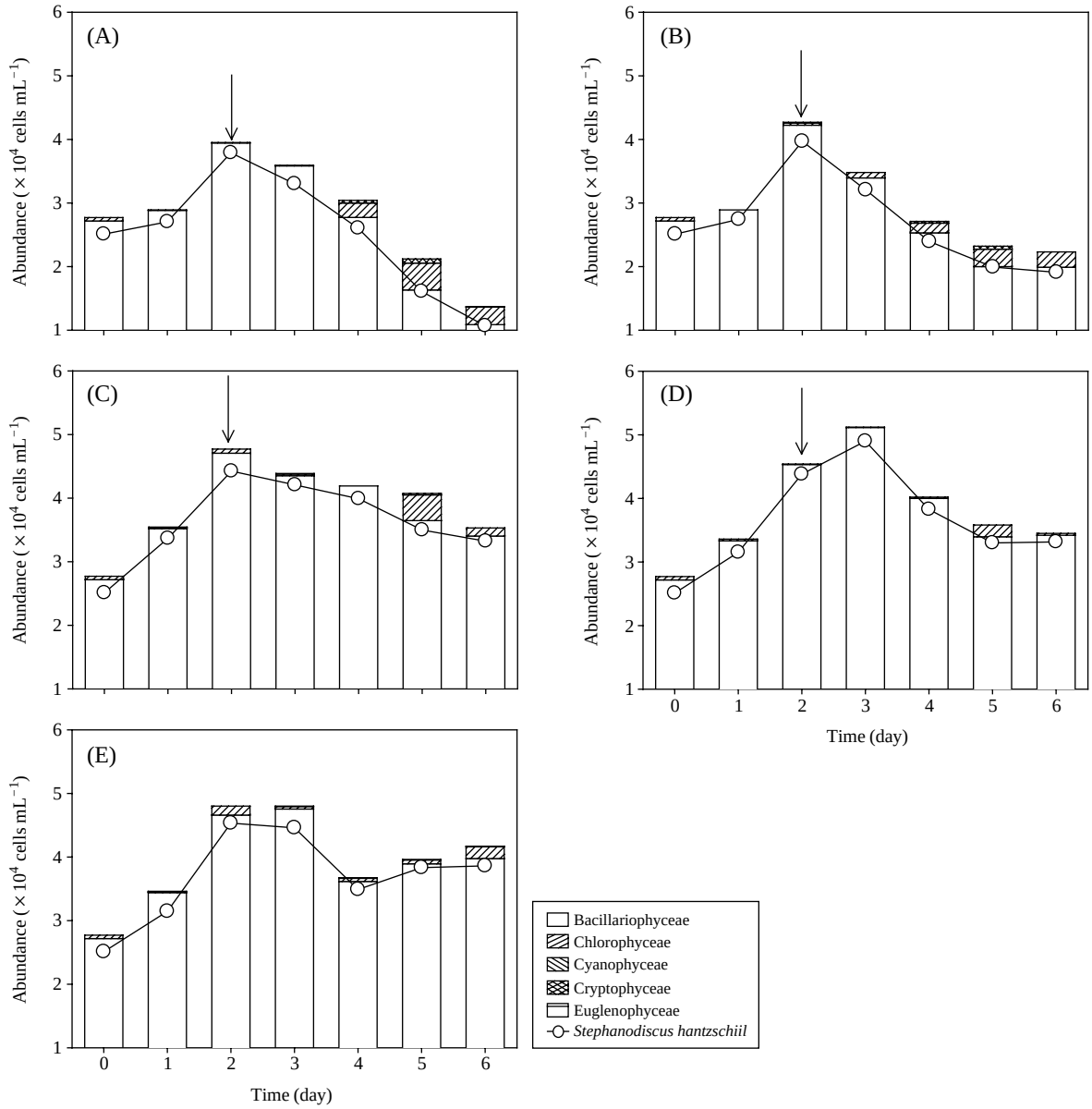

Fig. 3. Changes of phytoplankton communities by inoculation of immobilized *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 (SK09). A and B: Activated carbon polyvinyl alcohol (ACPA) and cellulose sponge (CS) carriers immobilized with SK09 cells, respectively, C and D: ACPA and CS carriers without immobilization with SK09 cells, respectively, and E: control. An arrow indicates the time (d) of carrier inoculation. Data represent the mean ± SD from at least three independent assays.

높은 살조능을 보였다. *S. hantzschii*를 제어하기 위한 indoor mesocosm 연구에서 (Jung *et al.* 2008), SK09를 5 × 10^6 cells mL^{-1}로 직접 투입시 최대 88%의 살조능을 보였다. 그러나 본 연구에서는 ACPA+SK09담체 처리시 72%로 상대적으로 낮은 살조능을 나타내었다. 이는 SK09의 살조기작이 *S. hantzschii*에 직접 부착하여 살조시키는 직접 공격형으로 (Jung *et al.* 2008), 담체에서 탈리된 SK09의 세포밀도가 집적 투입시 세포밀도보다 낮았기 때문으로 판단된다. 그러나 indoor mesocosm 실험시, 13일 후에 식물플랑크톤 개체수의 재 증가가 관찰되었으나 (Jung *et al.* 2008), 본 연구에서는 지속적으로 제어되었을 뿐만 아니라, ACPA+SK09담체 적용에 따른 현장 2 ton mesocosm 실험에서도 *S. hantzschii*의 재발생은 관찰되지 않았고, 더욱이 담체내 SK09가 탈리 후에 재 증가하는 것을 관찰하였다 (미발표 자료). 따라서 담체내 포집되어 있는 SK09의 살조 활성 유지시, *S. hantzschii*의 지속적 제어 가능성이 있다고 사료된다.

Microcosm 실험에서 담체 처리전 *S. hantzschii*는 식물

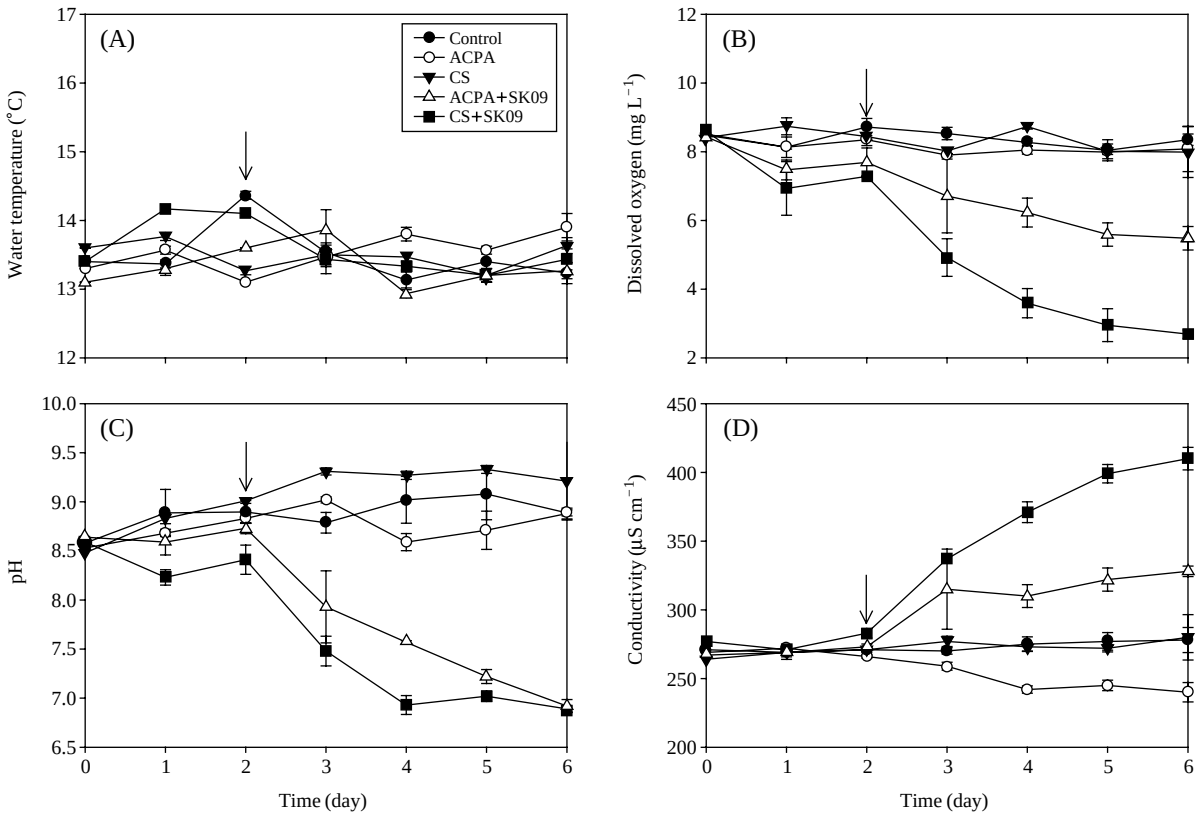

Fig. 4. Changes of physico-chemical factors by inoculation of immobilized *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09(SK09). A: water temperature, B: dissolved oxygen, C: pH, and D: conductivity. ACPA and CS indicate the inoculation without SK09 immobilizations. ACPA+SK09 and CS+SK09 indicate the inoculation with SK09 immobilization. An arrow indicates the time (d) of carrier inoculation. Data represent the mean±SD from at least three independent assays.

플랑크톤 현존량 중 90% 이상의 극우점하였다. 그러나 ACPA+SK09 처리시 *S. hantzschii*는 60%까지 감소한 반면, 다른 식물플랑크톤은 감소하지 않았다. 이는 Jung *et al.* (2008)에서 SK09는 *S. hantzschii* 한 종에 대해 종 특이적 살조를 나타내고 있는데, 본 연구에서도 종 특이적 살조능을 보이고 있었다. 또한 SK09를 포집하지 않고 담체만 처리한 실험구에서 *S. hantzschii*는 계속적으로 증가를 하여 담체 자체만으로는 살조능을 가지고 있지 않았다. 환경요인의 변화에서 쉽게 환경평가를 할 수 있는 전기전도도는 (Kobayasi *et al.* 1985b) SK09를 포집한 두 담체에서 모두 증가하였는데, SK09에 의해 파괴된 *S. hantzschii* 세포물질의 용출에 따른 결과로 판단된다. 하지만 CS담체에 비해 ACPA담체에서 전기전도도는 상대적으로 낮았는데, 이는 높은 이온 흡수력을 가지는 ACPA담체 특성 (출원번호: 10-2003-0032492)에 따라 증가된 이온을 흡수한 것으로 판단된다. 또한 용존산소 및 pH는 박테리아의 활성에 따라 낮았으며, 이는 선행 indoor 및 outdoor mesocosm 실험과 유사한 양상이었다 (Jung *et al.* 2008, 2009b).

유해조류의 제어시 대두되는 중요한 문제점은 생태계 교란이다 (Mayali and Azam 2004). 본 연구에서와 같이 효율적인 담체를 이용한 유해조류 제어시, 지속적 제어와 함께 생태계 교란을 최소화할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 시작단계이므로, 앞으로 더욱 높은 효율을 가지는 담체 및 포집 기술개발은 계속적으로 연구해야 한다.

적 요

두 가지 다른 기질의 담체를 이용하여 살조세균 *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09의 포집율과 microcosm에서 *Stephanodiscus hantzschii*의 살조능을 파악하였다. Active carbon polyvinyl alcohol (ACPA)담체가 cellulose sponge (CS)담체보다 SK09를 높게 포집하였다. 이를 이용한 microcosm에서 ACPA담체가 CS담체보다 *S. hantzschii*의 살조능이 높았으며 지속적이었다. 특히 ACPA담체에서는 낮은 전기전도도를 나타내어 *S. hantzs-*

chii 분해에 따른 용출된 이온들을 흡수하고 있음을 판단할 수 있었다. 따라서 ACPA담체를 이용한 유해조류 제어는 지속적 제어와 함께 생태계의 교란을 최소화할 것으로 판단된다.

사 사

실험을 도와준 한양대학교 노성유씨에게 감사드리며, 본 연구는 Eco-STAR project (과제 번호: 07-II-5)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김무훈, 조재현, 김용환, 이용우, 이원권. 1998. 생물폐수 처리용 생물막 반응기에서 담체 재질의 종류에 따른 미생물상의 차이. 한국물환경학회지. 14:339-345.

박성열, 김도한, 박영식, 송승구. 2001. 혐기성 조건에서 미생물 부착에 미치는 세라믹 담체화 고분자 담체의 특성. 대한환경공학회지. 23:951-959.

박영식, 구기우, 나영수, 송승구. 1998. 미생물 고정화 담체의 물리적 특성. 한국환경과학회지. 7:269-274.

이진환, 정승원. 2004. 한강하류의 환경학적 연구 VII. 식물플랑크톤군집의 장기간 변화와 전망. Algae 19:321-327.

황윤호, 조영민, 박경태, 유정근. 2001. 미생물 담체 제조를 위한 폐기물 재활용. 지구환경논문집. 12:50-57.

Balfanz J and HJ Rehm. 1991. Biodegradation of 4-chlorophenol by adsorptive immobilized *Alcaligenes* sp. A 7-2 in soil. Appl. Microbiol. Biotechnol. 35:662-668.

Bettmann H and HJ Rehm. 1984. Degradation of phenol by polymer entrapped microorganisms. Appl. Microbiol. Biotechnol. 20:285-290.

Brodelius P and EJ Vandamme. 1987. Immobilized cells systems. pp.405-464. In Biotechnology: A Comprehensive Treatise in 8 Volumes Vol. 7a. (Rehm HJ and G Reed eds.). VCH Verlag. Weinheim.

Gibson CE. 1972. The algicidal effect of copper on a green and blue-green alga and some ecological implications. J. Appl. Ecol. 9:513-518.

Ha K, MH Jang and GJ Joo. 2002. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities along a regulated river system, the Nakdong river, Korea. Hydrobiologia. 470: 235-245.

Hijnen WAM, YJ Dullemont, JF Schijven, AJ Hanzens-Brouwer, M Bosielle and G Medema. 2007. Removal and fate of *Cryptosoridium parvum*, *Closteridinum perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow and filters. Water Res. 41:2151-2162.

Jung SW, BH Kim, T Katano, DS Kong and MS Han. 2008. *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 offers species-specific biological control of winter algal blooms caused by freshwater diatom *Stephanodiscus hantzschii*. J. Appl. Microbiol. 105:186-195.

Jung SW, HM Joo, JS Park and JH Lee. 2009a. Development of a rapid and effective method for preparing delicate dinoflagellates for scanning electron microscopy. J. Appl. Phycol. DOI: 10.1007/s 10811-009-9461-6.

Jung SW, YH Kang, T Katano, BH Kim, SY Cho, JH Lee and MS Han. 2009b. Testing addition of Pseudomonas fluorescens HYK0210-SK09 to mitigate blooms of the diatom Stephanodiscus hantzschii in small- and large-scale mesocosms. J. Appl. Phycol. DOI: 10.1007/s 10811-009-9473-2.

Jung SW, OY Kwon, JH Lee and MS Han. 2009c. Effects of water temperature and silicate on the winter blooming diatom *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyceae) growing in eutrophic conditions in the lower Han River, South Korea. J. Freshw. Ecol. 24:219-226.

Kang YH, BR Kim, HJ Choi, JG Seo, BH Kim and MS Han. 2007. Enhancement of algicidal activity by immobilization of algicidal bacteria antagonistic to *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyceae). J. Appl. Microbiol. 103:1983-1994.

Kilham P, S Kilham and RE Hecky. 1986. Hypothesized resource relationships among African planktonic diatoms. Limnol. Oceanogr. 31:1169-1181.

Kobanova GI and SI Genkal. 1989. Representatives of the genus *Stephanodiscus* Ehr. (Bacillariophyta) in the Angara river reservoirs and their ecological features. Biol. Vnutr. Vod. 81:29-32.

Kobayasi H, H Inoune and H Kobayashi. 1985a. Ultrastructure and taxonomy of species *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) from Japan. Jap. J. Phycol. 3:233-238.

Kobayasi H, S Mayama, K Asai and S Nakamura. 1985b. Occurrence of diatoms collected from variously polluted rivers in Tokyo and its vicinity, with special reference to the correlation between relative frequency and BOD. Bull. Tokyo Gakuge Univ. Sect. 4. 37:21-46.

Lee CW, CW Jung, SW Han, LS Kang and JH Lee. 2001. The removal of algae by oxidation and coagulation processes. J. KSEE. 23:1527-1536.

Lee TJ, K Nakano and M Matsumura. 2001. Ultrasonic irradiation for blue-green algae bloom control. Environ. Technol. 22:383-390.

Leitao M. 1995. Eutrophication du Loir et son incidence surl'usine d'eau potable de la Fleche (Sarthe). Technol. Sci. Meth. 1:31-37.

Lim YS, WS Song, JS Cho, HJ Lee and JS Heo. 2000. The effect of algae on coagulation and filtration of water treatment process. Kor. J. Environ. Agricul. 19:13-21.

Lozinsky VI, AL Zubov and EF Titova. 1996. Poly (vinyl alcohol) cryogels employed as matrices for cell immobilization. 2. Entrapped cells resemble porous fillers in their effects on the properties of PVA-cryogel carrier. Enzyme Microb. Technol. 20:182-190.

Mayali X and F Azam. 2004. Algicidal bacteria in the sea and their impact on algal blooms. J. Eukaryot. Microbiol. 51: 139-144.

Oksiyuk OP. 1965. *Stephanodiscus hantzschii* Grun. As an Aromatic Organisms capable of giving fish smell to water. Gidrobiol. Zh. 1:50-53.

de Ory I, LE Romeo and D Cantero. 2004. Optimization of immobilization conditions for vinegar production. Siran wood chips and polyurethane foam as carriers for *Acetobacter aceti*. Process Biochem. 39:547-555.

Porter KG and YS Feig. 1980. The use of DAPI for identification and counting aquatic microflora. Limnol. Oceanogr. 25:943-948.

Sahasrabudhe A, A Pande and A Modi. 1991. Dehalogenation of a mixture of chloroaromatics by immobilized *Pseudomonas* sp. US1 ex cells. Appl. Microbiol. Biotechnol. 35: 830-832.

Sakevich AI. 1970. The discovering of methylamines in the culture of *Stephanodiscus hantzschii* Grun. Gidrobiol. Zh. 6:98-100.

Sigee DC, R Glenn, MJ Andrews, EG Bellinger, RD Butler, HAS Epton and RD Hendry. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. Hydrobiologia. 395/396:161-172.

Sommer U. 1986. The periodicity of phytoplankton in lake constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Eulope. Hydrobiologia. 138:1-7.

Talling JF. 1965. The phytosynthetic activity of phytoplankton in east African lakes. Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 50:1-32.

Ting YP and G Sun. 2000. Use of polyvinyl alcohol as a cell immobilization matrix for copper biosorption by yeast cells. J. Chem. Technol. Biotechnol. 75:541-546.

Vincent WF. 1987. Dominance of blooming forming cyanobacteria (Blue-green Algae). N.Z.J. Mar. Freshw. Res. 21:361-542.

Manuscript Received: May 7, 2009
Revision Accepted: July 1, 2009
Responsible Editor: Hwan-Goo Yeo