

## 적조생물 *Amphidinium Carterae*의 사멸에 미치는 자외선의 영향

김 삼 혁<sup>\*</sup> · 최 칠 남<sup>\*\*</sup> · 차 월 석<sup>\*\*\*</sup> · 정 경 훈 · 정 오 진  
<sup>\*</sup>조선대학교 공동기기센터 원자분광분석실, <sup>\*\*</sup>조선대학교 화학과  
<sup>\*\*\*</sup>조선대학교 화학-고분자공학부, 조선대학교 환경공학부  
(2000년 6월 8일 접수)

### Effect of Ultraviolet Radiation on the Mortality Rate of the Marine Dinoflagellate *Amphidinium Carterae* Causing a Red Tide

Sam-Hyeok Kim<sup>\*</sup>, Chil-Nam Choi<sup>\*\*</sup>, Wol-Suk Cha<sup>\*\*\*</sup>, Kyeong-Hoon Cheong and Oh-Jin Jung

<sup>\*</sup>Lab. of Atomic Absorption Spectrophotometer, Research Center for Instrumentation, Chosun University

<sup>\*\*</sup>Department of Chemistry, Chosun University

<sup>\*\*\*</sup>Division of Chemistry and Polymer Engineering, Chosun University

Division of Environmental Engineering, Chosun University

(Manuscript received 8 June, 2000)

The effect of UV on the mortality rate of toxic dinoflagellate *Amphidinium carterae* causing a red tide in the coastal area of south Korea was investigated in the batch and continuous-scale reactor equipped with ultraviolet irradiation-apparatus. Degussa P<sub>25</sub> titanium oxide, a photocatalyst proved to be effective for the mortality of *Amphidinium carterae* supplied with photocatalyst and UV radiation were greater than 95% in 2 minutes of UV radiation and the rate were higher than that by UV-radiation without titanium dioxide in the batch and continuous-flow scale reactor. The mortality time of *Amphidinium carterae* increased with the cell density under UV-illumination in the batch scale reactor. The mortality rate in the density of  $5.0 \times 10^4$  cells/mL at the same experimental condition was more than 90% in 4 minutes in the continuous flow scale reactor. The percentage of  $99.9 \pm 0.1\%$  of *Amphidinium carterae* in the density of  $5.0 \times 10^4$  cells/mL was died in 20 minutes when the phytoplankton was illuminated with UV-radiation without photocatalyst.

Key words : alge mortality rate, *Amphidinium carterae*, photocatalyst, red tide, UV-illumination

#### 1. 서 론

최근 우리 나라 남해 일원에서 적조의 발생 규모와 추세는 해가 거듭될수록 대규모화, 광역화 및 장기화 되어 가고 있으며, 적조원인 생물도 무독성 종에서 유독성 종으로 변천되어 가고 있다. 이로 인한 수산 피해도 증가하고 있으므로 적조 종합대책이 시급한 실정이다.<sup>1)</sup>

적조 발생시의 대책중 적조를 구제하는 방법으로서 화학약품 살포, 초음파 및 오존 처리법, 침강법, 점토 흡착법 등 몇 가지 방법들<sup>2,3)</sup>이 사용되고 있다. 그러나 점토 흡착법을 제외하고는 환경보전과 경제적 측면에서 평가해 볼 때 현실적으로 실효성을 거두기가 힘들고 실제로 적조 발생시에도 뚜렷한 성과를 거두고 있지 못한 것으로 알려져 있다.

국내 학자들에 의해 진행되고 있는 연구<sup>4,5)</sup>는 주로 적조 발생의 사전예방에 관한 연구 또는 적조의 생태학적, 생리학적인 연구에 치중하고 있으며, 발생된 적조의 제거에 대한 연구는 미미한 실정이다. 한편, 적조를 제거하는

방법으로서 미생물을 이용하여 적조를 제어하고자 하는 연구도 진행되고 있다.

Shilo<sup>6)</sup>나 Stewart와 Brown은<sup>7,8)</sup> 황주세균인 남조류의 bloom 현상을 소멸시킬 수 있는 방법에 대해 조사한 바 있으며, Mitsutani 등<sup>9)</sup>도 일본의 호수에서 bloom을 형성한 *Anabaena solitaria*의 소멸이 남조류내의 용해세균의 증식과 일치함을 보고하였다. 또한 발생된 적조를 제거하기 위하여 적조생물을 사멸시킬 수 있는 세균을 이용하고자 하는 연구가 진행되고 있으나 더 규명해야 할 과제가 많이 남아있다.

한편, 자외선을 이용하여 미생물을 살균하는 방법은 이미 널리 알려져 있다.<sup>2,10-11)</sup> 그러나 자외선의 전 영역은 미생물을 치사시키는데 효과적이지 못하며 오직 UV-C 또는 단파장의 UV-B, 즉 200~300nm 파장의 자외선만이 미생물을 치사시키는데 효과적이다. 자외선 조사에 의한 살균 방법은 다른 살균 장치와 비교해 볼 때 우선 장치가 간단하기 때문에 유지 관리가 용이하고, 2

차 오염을 유발하지 않는 특징을 갖고 있다. 이와 같이 자외선은 수중 미생물의 살균작용 뿐만 아니라 유해 화학물질의 분해에도 적용되고 있다.<sup>16,17)</sup> 현재까지 자외선을 이용한 적조 생물의 사멸에 관한 연구를 보면 井芹 등<sup>2)</sup>이 담수호의 플랑크톤을 사멸시키기 위하여 자외선 살균을 이용하였을 뿐 아직까지 이 분야에 관한 연구 결과는 보고되어 있지 않다.

한편, 담수호에서 발생한 녹조류의 bloom을 처리하기 위한 대책으로서 일본의 장원댐 호수에 적용시켰던 평가 결과에 의하면 자외선 처리법이 그 경제성과 적용면에서 우수한 것으로 알려져 있다.

그러나 적조 생물을 사멸시키기 위하여 담수호에 자외선을 이용한 연구는 있으나, 해수에서 발생한 적조 생물을 사멸시키는 데 자외선을 이용한 예는 아직 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실험실 규모의 자외선 조사 장치를 제작하여 적조를 일으키는 와편모조류인 *Amphidinium carterae*의 사멸에 미치는 영향을 조사하였으며, 자외선만을 사용하였을 경우와 일정 양의 TiO<sub>2</sub>를 시료용액에 분산시키면서 자외선을 조사하였을 경우 등 회분식 및 연속식 실험을 통하여 조류의 제거 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1 공시 조류

본 실험에 사용한 적조 생물은 *Amphidinium carterae*로서 군산대학교 해양학 실험실로부터 분양받았으며, 이와편모 조류에 대한 기본적인 특성은 Table 1에서와 같다.

Table 1. Characteristics of *Amphidinium carterae*

Contents	Characteristics
Temperature for optimal growth	15~26°C
Cell length	12~18 μm
Cell with	9~13 μm
Toxin	present

### 2.2 해수 및 배지 조성

해수는 남해한 일대에서 채수한 후 햇볕이 잘드는 곳에서 약 일주일간 방치하여 해수내의 유기물을 최대한 소비시켰으며, 이 해수를 GF/C 여과지로 거른 후 사용하였다.

조류 배양을 위한 배지는 심과 김 등<sup>13)</sup>의 식물플랑크톤 배양에서 사용되는 배지와 같은 방법으로 사용하였다.

배양시에는 원액 I 1ml, 원액 II 1ml, 원액 III 0.5ml를 해수 997.5ml에 넣어 125°C에서 15분간 autoclave에서 멸균한 후 사용하였다. 배양액의 pH는 1N HCl 및 1N NaOH를 사용하여 7.0으로 조절하였다.

### 2.3 배양

전배양은 500ml 삼각플라스크에 배지 100ml를 넣고 *Amphidinium carterae*를 접종하여 배양하였다. 증식조건으로서 배양온도는 20°C이었고, 조명시의 광주기는 14

시간으로 설정하였으며, 광도는 4,500 Lux이었다. 배양시 교반을 위하여 주간에는 하루에 두 번 정도 흔들어주고 야간에는 교반기를 사용하여 50rpm으로 교반하였다.

회분식 및 연속식 실험장치에 의해 플랑크톤을 제거시키기 위한 실험에서는 5l 삼각플라스크에 1l의 해수와 10%의 전배양액을 접종시켜 일정 밀도의 개체수가 될 때까지 배양하여 사용하였다. 배양조건은 전배양에서와 같다.

## 2.4 실험 장치 및 방법

### 2.4.1 회분식 실험

배양된 적조 플랑크톤을 시료로 하여 자외선만을 조사하였을 경우와 자외선 및 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 동시에 사용하였을 경우의 두가지 방법으로 구분하여 실험을 하였다. 시료는 최초 30초, 그 다음에는 1분 간격으로 채취하였고, 광촉매로는 TiO<sub>2</sub>(Degussa P<sub>25</sub> titania; anatase 형, BET surface area ratio; 50m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>)로 더 이상 정제하지 않고 사용하였다.

본 실험에 사용한 회분식 실험장치는 Fig. 1에서와 같다. 유리(pyrex 제)로 제작한 2l 반응용기 중앙에 석영으로 원통형 용기를 제작하여 그 안에 UV lamp(253.7 nm)를 설치하였다. 반응기 아래 부분에는 공기 확산기를 설치하여 공기를 공급하였다.

### 2.4.2 연속식 실험

연속식 실험은 회분식 실험과 마찬가지로 자외선만을 사용한 경우와 자외선 및 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 동시에 사용한 경우로 구분하여 각각의 체류시간에 따른 플랑크톤의 사멸율을 연속적으로 조사하였다. 체류시간(hydraulic retention time; HRT)은 5분(400ml/min), 10분(200ml/min), 20분(100ml/min)이었으며, 10분마다 시료를 채취하여 사멸율을 조사하였다.

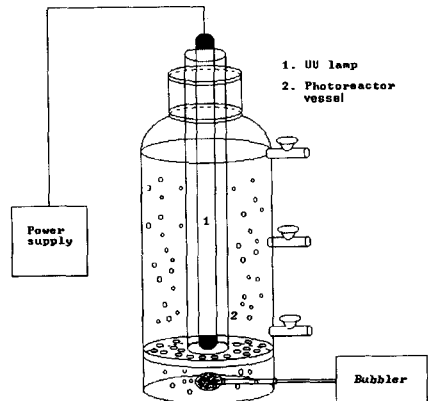


Fig. 1. Schematic diagram of the batch experimental apparatus.

연속식 실험장치의 개요는 Fig. 2에서와 같으며, Fig. 1에서의 회분식 실험장치와 유사하게 제작하였다. 한편

배양된 조류는 정량 펌프를 사용하여 반응기 하단 부분에서 상향류로 흘러 보냈다.

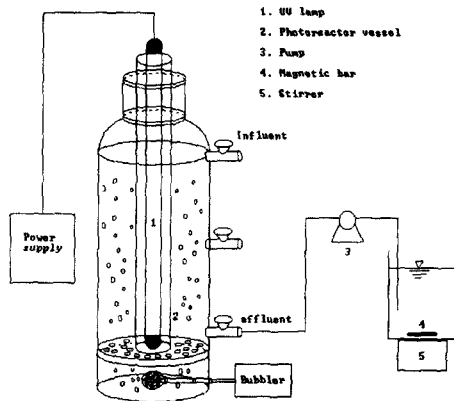


Fig. 2. Schematic diagram of the continuous experimental apparatus.

### 2.5 개체수 확인

살아있는 조류의 개체수를 확인하기 위해서 neutral red를 사용하여 염색하였으며, 죽은 조류의 개체수를 확인하기 위해서는 evans blue를 사용하여 염색하였다.<sup>14)</sup>

배양액 또는 자외선 조사후의 시료용액에서 5ml를 채취하여 neutral red와 evans blue를 각각 0.5ml, 0.25ml를 넣어 ICDC technique<sup>15)</sup>으로 염색시킨 다음, 도립현미경(1500×DIAPHOT, Nikon)을 이용하여 개체수를 확인하였다.

개체수를 즉시 관찰하지 않을 때에는 시료를 0.1% 포르말린에 고정하여 4°C에서 냉장 보관하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 조류의 성장 곡선

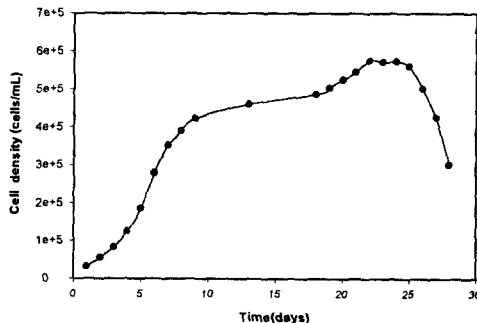


Fig. 3. Growth curve of *Amphidinium carterae* in sea water

*Amphidinium carterae*의 성장 곡선은 Fig. 3에서와 같다. *Amphidinium carterae*의 개체수는 배양 21일만에 최고치( $5 \times 10^5$  cells/mL)에 달했으며, 이후 정체를 거쳐 급격히 감소하는 현상을 보였다.

본 실험 결과로 볼 때 배양 7일째가 대수성장기로 판단되었으며, 따라서 이후의 실험에서는 7일간 배양한 *Amphidinium carterae*를 접종하여 실험을 수행하였다.

### 3.2. 광량에 따른 조류의 사멸율

UV lamp의 광량에 따른 *Amphidinium carterae*의 사멸율을 회분식 실험에서 조사한 결과는 Fig. 4에서와 같다. 본 실험에서는 자외선만을 조사하였으며, *Amphidinium carterae*의 밀도는  $1 \times 10^5$  cells/mL이었고 광도는 10, 20, 30 W로 하였다.

10, 20, 30 W의 자외선을 각각 조사하였을 때 조류는 급속히 사멸되어 반응 1분 후에는 각각 79.3%, 68.0%, 70.7%의 사멸율을 나타내었다. 반응 초기에는 광도에 따른 차이가 있는 듯 보였으나, 반응 2분 후에는 광도의 크기에 큰 영향을 받지 않았으며 94~97%가 사멸되었다. 한편 반응 5분 후에는 조류가 완전히 사멸되었다. 따라서 본 실험조건에서는 광원의 세기에 따른 조류의 사멸율의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으므로, 이후의 모든 실험에서는 20 W의 조건에서 실험을 수행하였다.

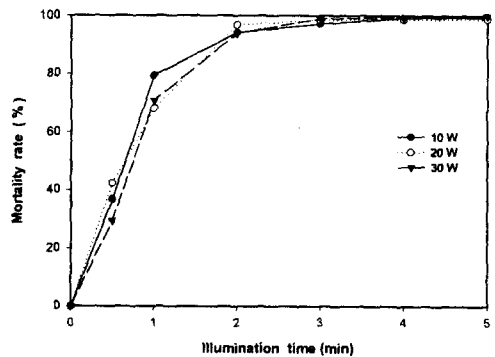


Fig. 4. Mortality rate of *Amphidinium carterae* according to the light intensity of ultraviolet radiation.

### 3.3 밀도에 따른 조류의 사멸율

*Amphidinium carterae*의 밀도를 달리하며 자외선 조사만 행하였을 때의 조류 사멸율에 대한 회분식 실험의 결과는 Fig. 5에 나타난 바와 같다.

*Amphidinium carterae*의 밀도는  $0.5 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5$  cells/mL이었으며, 자외선 처리후 2분까지는 밀도가 낮을수록 사멸율이 높았으나 반응 3분 후에는 밀도에 관계없이 거의 100%에 가까운 사멸율을 보였다. 井芹 등<sup>2)</sup>은 자외선 조사에 의한 조류의 조절에 관한 보고에서 호소수 1 mL당 조류 개체수가 10,000개 이상인 경우 50초 이상의 조사시간에 의해 약 90% 정도의 사멸율을 보였으며, 조류의 개체수가 5,000~10,000 cells/mL인 경우에는 30초 이상의 조사시간에서 95%, 5,000 cells/mL에서는 20초 이상의 조사에서 100%의 사멸율을 보여 개체수가 많을수록 자외선의 조사시간을 길게 처리함이 효과적이라고 하였다. 이러한 결과와 직접적인 비교는 될 수 없으

나, 본 실험에서도 반응 3분까지는 조류의 밀도가 낮을수록 사멸 시간이 단축됨을 알 수 있었다.

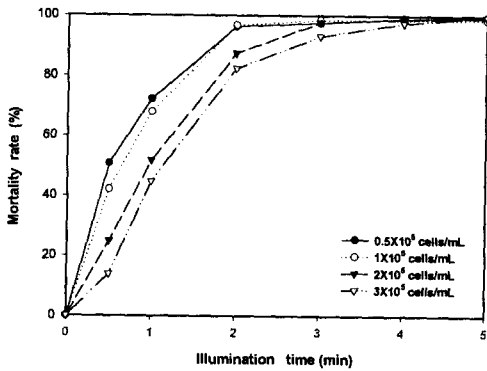


Fig. 5. Mortality rate of *Amphidinium carterae* exposed to ultraviolet radiation(20 W-Hg lamp) without TiO<sub>2</sub>.

#### 3.4. TiO<sub>2</sub> 농도에 따른 조류의 사멸율

*Amphidinium carterae*의 사멸율에 미치는 광촉매제의 영향을 조사하기 위하여 회분식 실험장치에서 TiO<sub>2</sub> 농도에 따른 *Amphidinium carterae*의 사멸율을 측정 한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 광도는 20W, 조류의 밀도는 0.5×10<sup>5</sup>cells/ml, 촉매 농도는 각각 0.1, 0.5, 1.0g/l 가 되도록 하였다.

촉매제 농도가 0.1, 0.5, 1.0 g/l 일 때 30초에서의 사멸율은 각각 60, 75, 90%로서 반응 초기에는 촉매 농도에 따라 사멸율에서 차이를 보여 주었으나 반응 3분 후에는 100%가 사멸되었다. 광촉매제를 사용하지 않은 경우(Fig. 4), 조사시간 30초 후의 사멸율은 약 41%로서 촉매를 투여했을 때보다 사멸율이 매우 낮았다. 또한 100%정도 사멸시키는 데에는 약 5분이 소요되는 것으로 보아 자외선으로 *Amphidinium carterae*를 사멸시킬 경우에는 광촉매제를 함께 사용하는 것이 반응시간을 단축시킴으로써 보다 효과적임을 알 수 있다. TiO<sub>2</sub>와 같은 반도체의 분말은 광에너지를 조사하면 electron과 hole들이 분리되는데, 분리된 전자들은 흡착된 산소들을 O<sub>2</sub>로 감소시키며, hole은 흡착된 물이나 수산화 이온들로부터 ·OH의 radical을 생성시킬 수 있다.<sup>16,17)</sup> 따라서 이 ·OH 반응성기는 반도체 표면에서 다양한 유기화합물의 기질을 산화시킬 수 있다. 촉매없이 전자복사선을 조사시킬 경우에도 산소의 존재하에서 광에너지만으로 오염물의 산화반응이 일어나지만, 촉매를 사용할 경우 그 산화력이 보다 증대한다.

Kim 등<sup>10)</sup>의 UV 조사에 의한 대장균의 멸균에서도 TiO<sub>2</sub> 분말을 광촉매제로 사용하였을 때 대장균이 효율적으로 사멸하였는데, 본 실험에서도 TiO<sub>2</sub>를 광촉매제로 이용하였을 때 조류가 효율적으로 사멸되었음을 알 수 있었다.

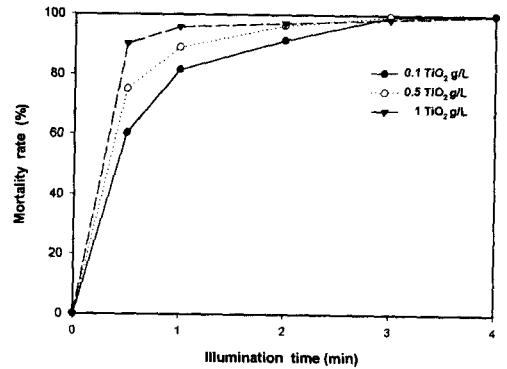


Fig. 6. Effect of TiO<sub>2</sub> concentration on mortality rate of *Amphidinium carterae* exposed to ultraviolet radiation(20 W-Hg lamp) in sea water.

#### 3.5 촉매하에서 밀도에 따른 사멸율

TiO<sub>2</sub>을 투여한 후 자외선을 조사하였을 경우, *Amphidinium carterae*의 밀도에 따른 사멸율의 회분식 실험 결과는 Fig. 7에서와 같다. UV 광원의 세기는 20W이며, 촉매 농도는 1g/l, *Amphidinium carterae*의 밀도는 각각 0.5×10<sup>5</sup>~3×10<sup>5</sup>cells/ml이었다.

*Amphidinium carterae*의 밀도가 0.5×10<sup>5</sup>, 1×10<sup>5</sup>, 2×10<sup>5</sup>, 3×10<sup>5</sup>cells/ml일 때 반응 초기인 30초 이내에 조류는 급속이 사멸되었으며, 밀도의 증가에 따라 사멸율은 각각 90.2%, 86.2%, 79.8%, 74.2%이었다. 조사 4분 이후에는 3×10<sup>5</sup>cells/ml의 경우에서도 거의 100% 사멸율을 보여주었다.

광촉매제를 사용하여 자외선을 조사한 경우 대부분의 *Amphidinium carterae*는 밀도에 관계없이 1분 내에 85%의 사멸율을 나타내었으나, 자외선만 조사하였을 경우에는 2분이 경과 되었을 때 80%이상의 사멸율을 나타내었다.

이상에서와 같이 광촉매제를 사용하였을 때에는 *Amphidinium carterae*의 밀도가 높음에도 불구하고 초기에 사멸됨을 알 수 있었다.

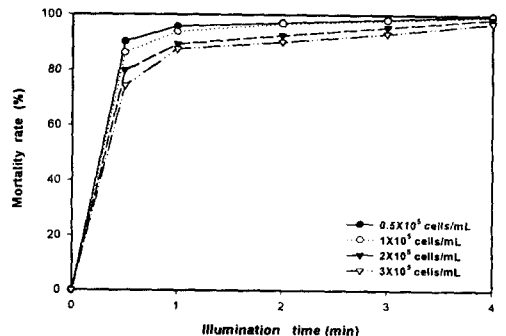


Fig. 7. Effect of density of *Amphidinium carterae* on mortality rate exposed to UV radiation in sea water suspended by TiO<sub>2</sub>.

3.6. 연속식 장치에 의한 적조 플랑크톤의 사멸율

연속식 실험장치에 있어서 광촉매가 없는 상태에서 자외선만을 조사하였을 경우, *Amphidinium carterae*의 사멸율은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타낸 바와 같다.

체류시간(HRT)은 각각 5분, 10분, 20분으로 설정하였고, *Amphidinium carterae*의 밀도는  $1 \times 10^5$  cells/ml이었다. 각각의 체류 시간별로 매 10분 간격으로 시료를 채취하여 사멸율을 조사하였다. 체류시간이 5분, 10분, 20분일 때 평균 사멸율은 각각 85.2%, 94.7%, 97.0%로서 체류시간이 길수록 조류의 사멸율이 높음을 알 수 있었다. 또한 밀도가  $2 \times 10^4$  cells/ml일 때 *Amphidinium carterae*의 평균 사멸율은 각각 80.9%, 90.1%, 95.3%이었다.

한편 회분식 실험에서는 4분 이내에  $2 \times 10^5$  cells/ml의 *Amphidinium carterae*가 100% 사멸되었으나(Fig. 5), 연속식 실험에서는 자외선을 5분동안 조사하였음에도 불구하고 평균 사멸율은 85%에 불과하였다. 그 이유에 대해서는 명확하게 규명할 수는 없으나 연속식 실험에서는 반응기 안에서 살균 처리되지 않은 *Amphidinium carterae*가 유출되었기 때문인 것으로 사료된다.

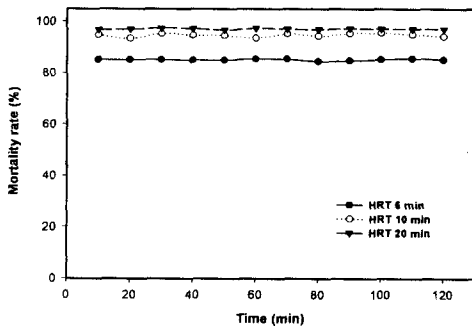


Fig. 8. Mortality rate of *Amphidinium carterae* according to the hydraulic retention time(HRT) in the continuous experiments without  $TiO_2$ . The initial cell density was  $1 \times 10^5$  cells/ml.

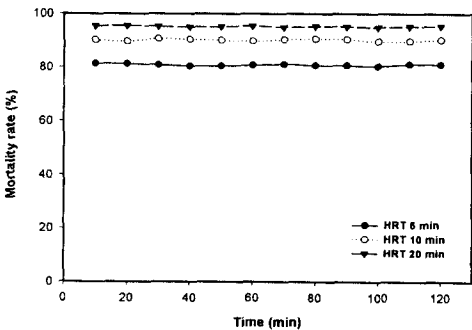


Fig. 9. Mortality rate of *Amphidinium carterae* according to the HRT in the continuous experiments without  $TiO_2$ . The initial cell density was  $2 \times 10^5$  cells/ml.

3.7. 광촉매 사용시 연속식 장치에 의한 *Amphidinium carterae*의 사멸율

광촉매를 사용하였을 때 체류시간에 따른 *Amphidinium carterae*의 사멸율은 Fig. 10에 나타나 있다. 투여한  $TiO_2$ 의 농도는  $1g/l$ 이었으며, 밀도는  $1 \times 10^5$  cells/ml,  $2 \times 10^5$  cells/ml이었다. 체류 시간별로 매 10분 간격으로 시료를 채취하여 개체수를 확인하였다.

체류시간 5분, 10분, 20분일 때  $1 \times 10^5$  cells/ml에서의 평균 사멸율은 각각 90.3%, 98.2%, 99.9%이었고,  $2 \times 10^5$  cells/ml일 때의 평균 사멸율은 각각 85.4%, 94.5%, 99.2%로 체류 시간이 길수록 사멸율이 증가하였으며, 체류시간을 10분과 20분으로 유지하면 거의 100%에 가까운 사멸율을 보였다. 또한 광촉매를 사용하지 않았을 때(Fig. 8과 Fig.9)보다 사멸율이 5~6%정도 더 증가함을 알 수 있었다. 따라서 회분식 실험에서와 마찬가지로 광촉매를 사용하면 광촉매 반응에 의해서 보다 효율적으로 *Amphidinium carterae*를 사멸시킬 수 있는 것으로 사료된다. 한편, Fig. 8과 Fig. 9에서 나타낸 바와 유사하게 체류시간이 5분일 때에는 연속식 장치에서의 *Amphidinium carterae*가 완전히 사멸되지 않았다.

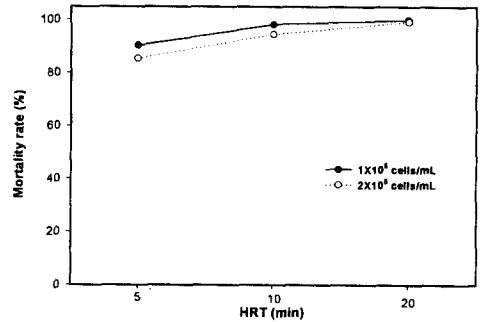


Fig. 10. Effect of cell density of *Amphidinium carterae* on the mortality rate according to the HRT in the continuous experiment.

4. 결론

본 연구에서는 적조생물은 *Amphidinium carterae*를 UV만을 조사하였을 경우와 광촉매  $TiO_2$ 를 시료용액에 첨가하여 UV를 조사하였을 경우의 두 가지 조건에서 *Amphidinium carterae*의 사멸율을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자외선 조사 시간을 2분으로 하고 회분식 실험을 하였을 때, 자외선만을 조사한 경우보다  $TiO_2$ 를 첨가하여 자외선을 조사한 경우에 *Amphidinium carterae*의 사멸율은 평균 30~40% 더 높았다.

2. 회분식 실험에서는 *Amphidinium carterae*의 밀도가 각각  $1 \times 10^5$  cells/ml,  $2 \times 10^5$  cells/ml,  $3 \times 10^5$  cells/ml 및  $5 \times 10^5$  cells/ml의 순으로 증가할 때, 광촉매-자외선에 의해 *Amphidinium carterae*가 사멸된 시간은 각각 1분, 2분, 3분 및 4분이었다. 연속식 실험에서는 체류시간이 길어질수록 보다 높은 사멸율을 보여주었다. 특히 밀도가 5

$\times 10^5$  cells/ml일 때, 체류시간 20분에서는 100%에 가까운 사멸율을 보여 주었다.

3. 회분식 장치에  $TiO_2$ 를 첨가하여 자외선을 조사한 경우에는 5분 이내에 100%의 *Amphidinium carterae*의 사멸율을 보여주었다. 연속식 실험에서도 자외선만을 조사한 경우보다  $TiO_2$ 를 첨가하여 자외선을 조사한 조건이 *Amphidinium carterae*를 사멸시키는데 더 효율적이었다.

#### 감사의 글

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 학술연구조성비(지역개발연구과제)에 의하여 연구되었음

#### 참 고 문 헌

- 1) 국립수산진흥원, 1997, 한국연안의 적조-최근적조의 발생원인과 대책, p70.
- 2) 井芹 寧, 川端善一郎, 藤本 健二, 伊東 通陽, 1997, 紫外線照射によるプランクトンコントロール, 用水と廢水, **38**, 31-37.
- 3) 佐藤 重和, 尾澤 留好, 伊藤 亘, 1997, 超音波 前處理を用いたアオコ 回收技術, 用水の廢水, **39**, 414.
- 4) 김동원, 이원재, 1993, 해양미생물과 식물플랑크톤의 상호관계, 한국수산학회지, **26**, 446-457.
- 5) 임월에, 김학균, 이원재, 이삼석, 1993, 적조와 편모조류 *Scrippsiella trochokdes*군 증식에 미치는 환경 요인과 지방산 조성, 한국수산학회지, **26**, 198-203.
- 6) Shilo M., 1967, Formation and mode of action of algal toxins, Bacteriol. Rev., **31**, 180-193.
- 7) Stewart J. R. and R. M. Brown, 1969, Cytophage that kills or lyses algae, Science, **164**, 1523-1524.
- 8) Stewart J. R. and R. M. Brown, 1971, Algicidal nonfruiting myxobacteria with high G + C ratio, Arch. Microbial., **85**, 176-190.
- 9) Mitsuani A., A. Uchida and Y. Ishida, 1987, Occurrence of blue-green algae and algallytic bacteria in Biwa, Bull Jpn, Soc. Microbiol. Ecol., **2**, 21-28.
- 10) Kim D. H., T. Lyoda, K. Hashimoto and A. Fujishima, 1996, Photocatalytic disinfection of *Escherichia coli* in reservoir water using a supported  $TiO_2$  thin film under weak UV light, J. KSWQ, **12**, 417-423.
- 11) Ireland J. C., P. Klostermann, E. W. Rice and R. M. Clark, 1993, Appl. Environ. Microbiol., **89**, 1861.
- 12) Foster P., 1985, Tracer applications of ultraviolet absorption measurement in coast water, Water Res., **19**, 701.
- 13) 심재형, 김용서, 1996, 동물플랑크톤 생태연구법, 서울, 동화기술, pp. 198-206.
- 14) Dressel D. M. and D. R. Heinle, 1972, Vital staining to sort dead and live Copepod, Chesapeake Science, **13**, 156-159.
- 15) Criffen R. W. and J. L. Perrier, 1974, The use of neutral red and evans blue for livedead determinations of marine plankton, Stain Technology, **49**, 97.
- 16) Mills K. and M. R. Hoffmann, 1993, Photocatalytic degradation of pentachlorophenol on  $TiO_2$  particles ; identification of intermediates and mechanism of reaction, Environ. Sci. Technol., **27**, 1681.
- 17) Tseng J. M. and C. P. Hung, 1991, Removal of chlorophenols from water by photocatalytic oxidation, Water Science and Technology, **23**, 377.