

과산화수소와 황토를 이용한 적조생물의 제어

Control of redtide microbes with hydrogen peroxide and yellow loess

석종혁¹ · 전세진^{2*}

Jong-Hyuk Seok¹ · Se-Jin Jun^{2*}

1 인하공업전문대학 화공환경과, 2 누리환경기술(주) 환경기술연구소

(2009년5월6일 접수 ; 2009년 8월12일 수정 ; 2009년8월14일 채택)

Abstract

The purpose of this study is to propose a method of controlling redtide microbes which grow abundantly and form harmful algal bloom in eutrophic waterbody with yellow loess and hydrogen peroxide. In the laboratory test, hydrogen peroxide was applied to single species of *C. polykrikoides* and multispecies of redtide microbes. The seawater was evaluated by the pre-test analysis including chlorophyll-a, luminance and transmittance. The test results showed that both single and mixed species of redtide microbes could be controlled with the dose of 30mg H₂O₂/L. Residual hydrogen peroxide was completely decomposed with the addition of powdered yellow loess at 2g/L~10g/L. However, the decomposition rate of residual hydrogen peroxide for sintered granular yellow loess was relatively low compared to the use of powdered one. With the addition of dissolved oxygen concentration was increased at a rate of 0.013 mg DO/mg H₂O₂, which is a little lower than the one predicted theoretically. No evidence for any detrimental effects on *Artemia*, a type of brine shrimps, was shown up to the concentration of 100mg H₂O₂/L.

Key words : redtide control, hydrogen peroxide, yellow loess

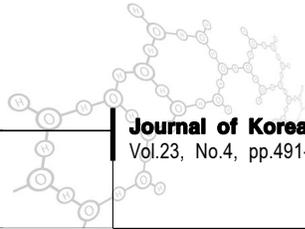
주제어 : 조류제어, 과산화수소, 황토

1. 서론

적조는 최근 우리나라의 연안 해역에서 빈번하게 발생하여 수산업에 심각한 피해를 야기 시키고 있다(임월애 등, 2002; 이영식 등, 2001; 김학균 등, 2001, 이영식 등, 2007). 적조생물 중 대표적인 유독성 적조생물로는 *Cochlodinium polykrikoides*(이하 *C. polykrikoides*), *Chatonella sp.*, *Gymnodinium mikimoti* 등을 들 수 있다. 적조는 이들 중 한종이 90% 이상 우점종(dominant

species)으로 되어 피해가 발생하는 단독형적조와 2종 또는 여러 종이 혼합되어 피해가 발생하는 혼합형적조로 나누어진다(장동석, 2006). 우리나라의 경우 1992년과 1995년에 *C. polykrikoides* 단독형 적조에 의해 각각 약 200억 원 및 960억원의 수산피해가 발생하였으며 2003년도에도 45건의 적조로 215억원의 경제적 손실이 발생하는 등 해가 갈수록 점점 그 피해정도가 심각해지고 광역화되는 경향을 보이고 있다. 따라서 이들 적조생물에 의한 수산업피해를 방지하기 위해 신속하고도 효과적인 제어대책이 요구되고

* Corresponding author Tel:+82-32-870-2270, Fax:+, E-mail: jsj9015@hanmail.net(Jun, S.J.)



있으나 현재까지 효율적인 적조 제어 방법은 뚜렷이 제시되고 있지 않은 실정이다.

일반적인 적조 제어방법으로는 예방법과 사후방지대책으로 나눌 수 있다. 예방법은 육지로부터 강우 등으로 인한 영양염류의 유입방지, 유기오염물질의 퇴적물 제거 등의 대책을 들 수 있다(장동석, 2006). 이들 예방법은 적조발생문제에 적극적이고 근원적인 대책이지만 비용이 많이 들고 광범위한 지역에는 적용하기 어렵다. 사후방지대책은 크게 화학약제에 의한 구제방법, 황토살포법, 초음파이용법, 적조회수선 처리법 등을 들 수 있다.(손재학, 2005; 김학균, 2007; 김삼혁 등, 2000; 한조희 등, 2001; 박치현 등, 2006). 외국의 경우 화학약제에 의한 구제방법이 계속적으로 연구되고 있으나 실용화된 기술은 아직 개발되지 않고 있다. 우리나라에서는 과거부터 황토살포법이 주로 사용되어 오고 있으나 이 방법은 적조생물이 황토에 단순흡착, 침강되어 제거되므로 적조생물을 완전하게 사멸시키기는 어렵다(김학균, 2007). 즉, 황토입자에 흡착된 적조생물은 일부 사멸되기도 하지만 주로 흡착, 침강되어 해저에 가라앉게 되므로, 휴면포자 형태로 존재하다가 해양환경이 적조생물의 서식에 적합한 환경으로 변화할 경우 다시 증식하게 된다. 또 황토살포에 따라 수중 빛의 차단 등으로 연안 저서 생태계에 악영향을 미칠 수 있다.(박치현 등, 2007; 최희구 등, 1998). 이 밖에 초음파이용법, 적조회수선을 이용한 방법, 적조생물의 포식자(predator)를 찾아내어 적조생물의 발생 및 확산을 저지하는 생물학적인 방법 등 여러 방법이 개발 중이나 실용화가 되기 위해서는 각 방법이 안고 있는 문제점에 대한 해결이 선행되어야 하는 상황이다.

따라서 이와 같은 점을 고려한다면 화학약제를 이용하여

적조생물을 제어하는 방법이 가장 현실적으로 즉각적이고 유용한 대안이라 할 수 있다. 여기서 요구되는 적조제어 화학약제의 조건으로는 (1) 저농도로 적조생물을 신속하게 사멸시킬 것 (2) 해수 중에서 쉽게 분해 소멸되어 잔류독성이 없을 것 (3) 적조생물 이외의 수중생물에 미치는 영향이 적을 것 (4) 비용이 저렴할 것 등이다. 특히, 화학약제 중 과산화수소는 난분해성 물질의 분해에 효과적인 산화제(이화자 등, 2006)로서 적조생물의 신속한 제어와 함께 수중환경에 미치는 영향이 적다는 점에서 위의 조건에 부합된다.

본 연구에서는 적조 제어방법으로 화학약제 중 과산화수소를 이용하는 방법을 제안하고자 하였다. 즉, 종래 황토를 살포하여 적조생물을 단순히 흡착·침강시키는 방법과 비교하여 적조 발생해역에 과산화수소를 살포하여 적조생물의 세포를 파괴시킨 후 재차 소량의 황토를 살포, 파괴된 적조생물을 흡착 침강시키고 동시에 과산화수소를 물과 산소로 분해시켜 처리하는 방법이다. 본 연구에서 제안하는 적조 제어방법의 특징은 첫째, 적조생물의 세포를 과산화수소로 파괴시키는 방법이므로 황토만을 이용한 기존의 제어방법에 비해 재발 방지를 위한 보다 근원적인 제어 방법이며 둘째, 소량의 황토를 재차 살포하여 필요한 시점에 과산화수소를 분해시켜 물과 산소로 바꾸므로 수중의 용존산소 농도를 높여 수 환경 개선에도 긍정적인 효과를 나타낼 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 실험은 과산화수소에 의한 적조 제어효과와 수중 생물에 미치는 영향을 알아보기로자 *C. polykrikoides* 및 여러 종에 의한 혼합형 적조(multispecies blooms) 생물의 제어실험, 과산화수소 분해촉매제로서의 황토 효과 실험, 수중생물에 대한 과산화수소의 독성실험 등을 수행하였다.

Table 1. Analytical items and methods used in the experiment

Item	Method and Instrument
pH	pH meter(Corning, 240)
COD _{Cr}	Closed Reflux Chlorimetric Method(Hach, DR-4000)
COD _{Mn}	수질오염공정시험법
H ₂ O ₂	Iodometric method
PO ₄ -P	Indophenol method(Spectrophotometer, LASA aqua)
Chloride	Standard methods(Argentometric Method)
Chlorophyll-a	Standard methods
SS	Standard methods
Al, Si, Ca, Mg, Cu, Co, Mn, Ni, K, Na	Inductively Coupled Plasma(Seiko, SPS 1200-A)
Fe	Atomic Absorption Spectrophotometer(Shimadzu)

2. 실험재료 및 방법

2.1 시료 및 분석방법

시료는 *C. polykrikoides* 단독형 적조가 빈번히 발생하는 우리나라 남해안 바다에서 채취한 해수와 여러 종에 의한 혼합형 적조가 발생하는 서해 바다의 해수를 사용하여 분석하였다. 또한 과산화수소의 분해촉매제로 강화지역에서 채취한 황토를 사용하였다. 해수 및 황토에 대한 분석항목 및 방법은 **Table 1**에 요약하여 나타내었다.

2.2 적조생물 제어 실험

단독형 적조 제어실험을 위해 *C. polykrikoides* 적조생물이 5,000cells/mL 포함된 해수를 채취하여 과산화수소 주입에 따른 적조 생물의 사멸 효과를 실험하였다. 또 혼합형 적조생물의 제어실험을 위해 여러종의 적조생물이 혼합되어 있는 해수를 채수하여 과산화수소를 주입한 후 시간 경과에 따른 적조 생물의 제어 효과를 현미경으로 관찰하였다. 본 연구에서는 적조 생물의 제어효과를 유영형, 정지형, 과열형으로 각각 구분하였다. 여기서 유영형이라 함은 과산화수소에 접촉되지 않아 활동성이 크거나 *C. polykrikoides* 경우 개체가 서로 연결(chain)되어 군집으로 자유롭게 유영(free swimming)하는 적조생물을 뜻하며, 정지형(cell-fixed)은 과산화수소가 작용함에 따라 연결된 개체가 각각 독립개체로 분리되어 운동성이 없어진 개체를 의미하며, 과열형은 독립 개체의 세포 팽창(swelling)과 이에 따른 세포벽의 파괴 및 용해(lysis)가 관찰된 개체를 의미한다.

2.3 과산화수소의 분해특성 실험

2.3.1 황토 첨가에 의한 과산화수소의 분해특성 실험

황토 첨가에 의한 과산화수소의 분해특성을 조사하기 위하여 0.45 μm GF/C 여과지로 여과한 해수를 시료로 사용하였다. 실험에 사용한 황토는 분쇄하여 88 μm 의 체로 거른 후 건조기에서 3시간 동안 건조시킨 후 사용하였다. 분말황토를 이용한 과산화수소의 분해특성 실험은 준비한 해수시료(1L)에 먼저 과산화수소를 주입하고, 자-테스터를 사용하여 200rpm으로 교반하면서 체로 거른 분말황토를 0~10g/L의 농도로 변화시켜 주입한 후, 시간 경과에 따른 잔류 과산화수소의 농도를 측정하였다. 입상황토를 이용한 실험은 해수에 과산화수소를 주입한 후 200rpm의 교반조건 하에서, 제조한 입상황토를 여러 농도로 주입하여 시간 경과에 따른 잔류 과산화수소의 농도를 분석하였다. 여기서 입상황토는 분말황토를 직경 약 5mm의 구형으로 제작한 후 하루 동안 건조하고 800°C 전기로에서 5시간 소성하여 사용하였다.

2.3.2 과산화수소에 분해에 따른 수중 용존산소의 변화 적조생물의 제어를 위해 해양에 과산화수소를 살포할 때 과산화수소의 분해에 따른 수중 용존산소의 변화를 알아보고자 실험하였다. 이를 위해 자-테스터를 이용하여 해양과 동일한 열린계에서 실험을 수행하였으며, 과산화수소의 농도를 변화시켜 주입하고 농도에 따른 해수의 용존산소 변화를 분석하였다. 용존산소는 200rpm으로 급속교반하면서 과산화수소를 주입하고, 40rpm의 완속으로 교반하면서 육안으로 기포가 관찰되지 않을 때 DO 미터로 측정하였다. DO meter (YSI Instrument)는 해수 중의 염소이온 농도를 분석하여 염도(salinity)를 보정하여 사용하였다.

2.4 수중생물에 대한 과산화수소의 영향 실험

해양 수중생물에 미치는 과산화수소의 영향을 알아보기 위해 갑각류의 일종인 *Artemia*(brine shrimp)를 대상으로 독성평가가 실험을 수행하였다. 여러 농도로 과산화수소가 함유된 해수를 준비하여 *Artemia*를 대상으로 시간 경과에 따른 사망 개체수를 현미경이 부착된 counting chamber로 측정하였다. 실험에는 알 상태의 *Artemia*를 온도 30°C, 조도 2,000 lux의 조건에서 24hr 동안 부화시킨 것을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해수 및 황토분석 결과

실험에 사용된 해수시료를 30회 분석하고 그 결과를 **Table 2**에 나타내었다. 시료의 COD는 우리나라 해수의 평균수질 보다 다소 높게 나타났다. 또 SCOD보다는 TCOD와 chlorophyll-a 등이 큰 폭의 변화를 보였는데 이는 비교적 수질변화가 심한 근해에서 채취한 시료를 사용했으며 부유성 적조생물이 오전이나 오후, 또는 흐린 날과 맑은 날 등 조도의 변화에 따라서 개체수가 증가되거나 감소되기 때문인 것으로 볼 수 있다.

본 연구에 사용된 분말황토 특성의 분석 결과를 **Table 3**에 나타내었다. 황토 내에는 철, 알루미늄, 칼슘 등이 비교적 고농도로 포함되어 있었으며 크롬, 코발트, 니켈 등의 원소는 매우 낮은 농도로 검출되었다. 또 Munsel 기호법에 의한 표시법 중 색채색도계(Chroma meter, CR-200, Minolta)로 측정된 결과, 3YR(yellow-red)의 일반적 황토로 조사되었다. 입상황토의 경우 장축 평균 5.33mm, 단축 평균 4.32mm이었으며 아래 식(1)을 사용하여 구한 타원형 구체의 평균직경인 Sauter Mean Diameter(SMD)는 4.69mm로 측정되었다.

Table 2. Composition of the sea water used in this study

Item	Unit	Value
pH	-	8.2~9.4
DO	mg/L	6.0~20
Temp.	°C	23.0~29.0
TCOD _{Mn}	mg/L	3.0~13.0
SCOD _{Mn}	mg/L	1.0~4.0
Transmittance(460nm)	%	64.0~94.0
TSS	mg/L	13.0~94.0
Chlorophyll-a	µg/L	46~583
Cl ⁻	mg/L	18,000~19,000
Salinity	‰	32.4~34.7
Suspended microbes	cells/mL	2,000~70,000

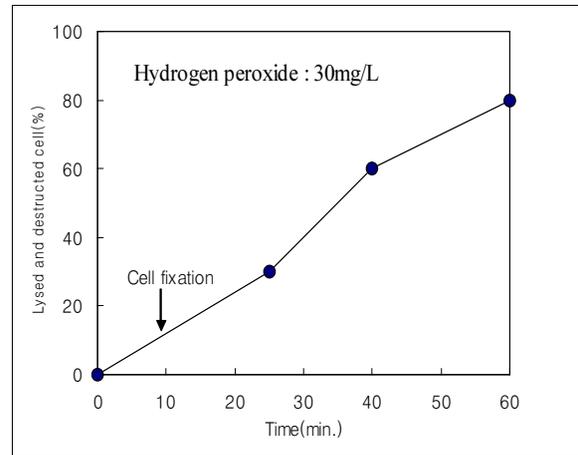


Fig. 1. Rate of lysed and destructed *C. polykrikoides* cell with the addition of hydrogen peroxide.

Table 3. Analytical results of the yellow loess used in this study

Item	Value	Item	Value
Hue	3.0YR	Cr	0.1 mg/L
Luminance	5.0	Cu	0.2 mg/L
Chroma	4.0	Mn	5.5 mg/L
Fe	92.5 mg/L	Co	0.1 mg/L
Al	79.7 mg/L	Ni	ND ¹⁾
Si	28.0 mg/L	Na	6.5 mg/L
Ca	72.8 mg/L	K	9.8 mg/L
Mg	39.1 mg/L	PO ₄ -P	0.5 mg/L

¹⁾ Not detected

$$SMD = \sum_{i=1}^n d_i^3 / \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (1)$$

여기서 $d_i = \sqrt[3]{a_i \cdot b_i^2}$, a_i = 입상황토의 장축 길이 (mm), b_i = 입상황토의 단축 길이 (mm)

3.2 적조생물의 제어 실험 결과

C. polykrikoides 단독형 적조가 발생한 해수시료(1L)에 수중생물에 영향을 주지 않는 과산화수소 농도인 30mg/L를 주입하여 적조 생물의 제어효과를 실험한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. *C. polykrikoides* 초기 개체 밀도는

5,000cells/mL였다. 과산화수소를 주입한 후 10min 경과 시 운동성이 현저히 감소되어 적조생물은 대부분 정지형으로 변화되었으며 반응 25min 경과 시 실험 개체수의 30%에서 세포 팽창과 용혈에 의한 파괴가 관찰되었다. 반응 60min 경과 후에는 실험 개체수 중 80%의 세포가 파열되었다.

Fig. 2는 단독형 적조생물인 *C. polykrikoides*를 과산화수소에 노출시킴에 따라 세포가 변화되는 상태를 나타낸 사진으로 과산화수소를 주입하기 전에는 *C. polykrikoides*는 여러 세포가 연결된 상태로 운동성이 활발한 자유유영형 세포였으나 과산화수소를 주입함에 따라 각각의 세포가 분리되어 운동성이 없는 정지형으로 바뀐 후 세포가 파열됨을 확인할 수 있었다.

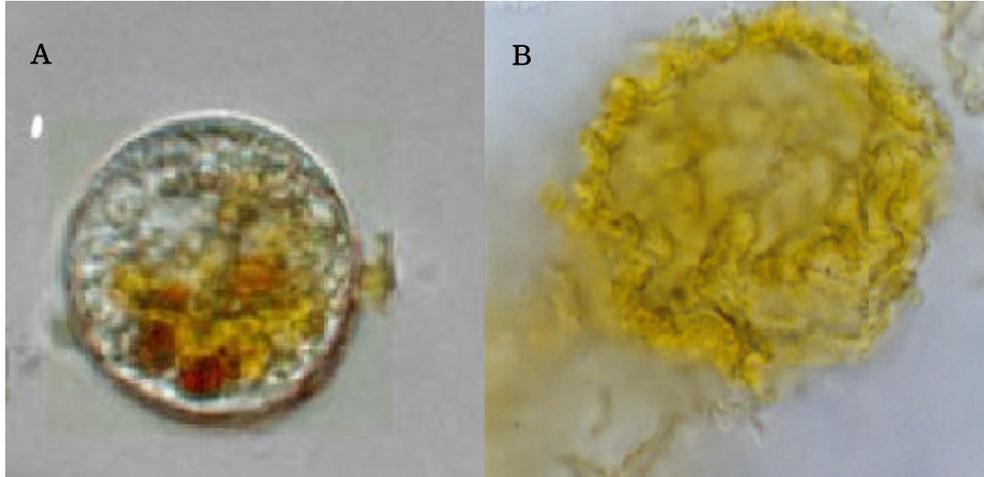


Fig. 2. Destruction of *C. polykrikoides* with the addition of hydrogen peroxide (A: cell-fixed type, B: lysed and destroyed type).

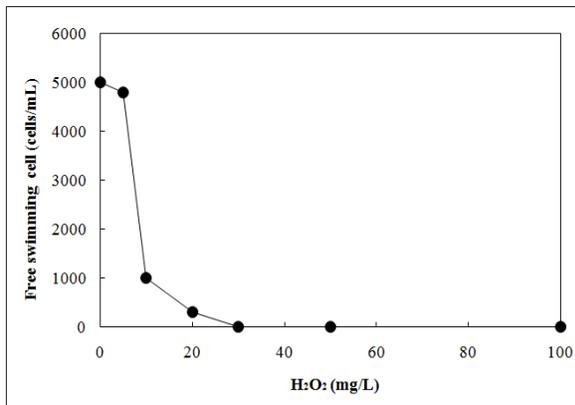


Fig. 3. Variation of the free swimming red tide microorganisms according to the dose of hydrogen peroxide after the reaction time of 5 minutes.

과산화수소 주입농도 변화에 따른 여러 종의 혼합형 적조생물의 제어실험을 수행하였다. Fig. 3에는 다양한 농도의 과산화수소 주입 후 5min 경과 시 측정된 자유 유영형 개체수를 나타내었다. 이 경우에도 단독형 적조생물 제어 실험결과와 유사하게 과산화수소를 주입하지 않은 대조구의 경우 적조생물은 자유 유영형으로 활동성이 높았으나, 과산화수소 30mg/L를 첨가한 경우 5min의 반응시간 경과 후 5,000cells/mL 적조생물 모두 정지형으로 변화되어 움직임이 관찰되지 않았다.

3.3 과산화수소의 분해 특성

3.3.1 황토 첨가에 의한 과산화수소의 분해 특성
여과한 해수에 과산화수소를 90mg/L가 되도록 주입하고

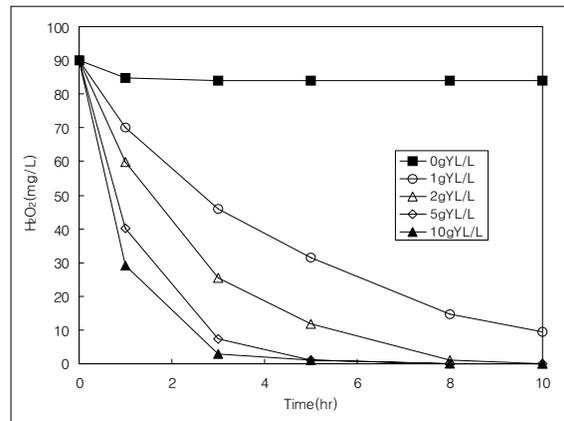


Fig. 4. Degradation of hydrogen peroxide with the addition of powdered yellow loess.

분말황토를 0~10g/L로 첨가한 후 시간에 따른 과산화수소의 분해도를 측정하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 분말황토를 주입하지 않은 대조구의 경우 과산화수소가 거의 분해되지 않은 반면 분말황토를 주입한 경우 과산화수소의 분해속도가 증가됨을 알 수 있다. 반응 10시간 후 분말황토 주입농도 1g/L에서 87%가 분해되었고, 2g/L~10g/L의 농도에서는 주입 과산화수소가 모두 분해되어 황토 주입량에 비례하여 과산화수소의 분해속도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 적조발생 해역에 과산화수소를 살포하여 적조생물의 세포를 파괴시킨 후 재차 분말황토를 적정비율로 살포할 경우 3~10시간 이내에 잔류 과산화수소는 모두 분해됨을 알 수 있다. 이는 황토에 포함된 펜톤 산화반응과 같이 철 등의 다양한 금속양이온의 촉매역할에 의해 과산화수소의 분해

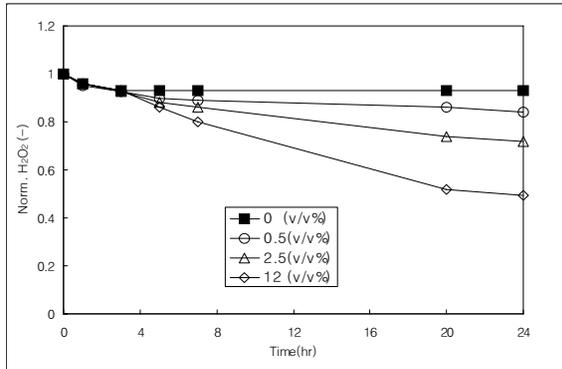


Fig. 5. Degradation of hydrogen peroxide with the addition of granular yellow loess.

를 촉진시키는 것으로 생각된다. 따라서 과산화수소를 사용하여 적조생물을 사멸시킨 후 소량의 황토를 살포할 경우 잔류하는 적조생물의 침강효과를 추가적으로 기대할 수 있을 뿐 아니라 해수에 잔류하는 과산화수소는 모두 분해시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

분말황토의 경우 사용 후 회수가 불가능하므로 회수 및 재활용이 가능한 형태의 입상황토를 제조하여 그 효과를 실험하였다. 해수시료에 과산화수소를 첨가한 후 제조한 입상황토를 주입하여 시간에 따른 과산화수소의 분해 정도를 측정 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 입상황토의 겉보기 밀도는 1.075g/mL로, 부피백분율 0.5%, 2.5%, 12%로 주입하였고 이를 질량농도로 환산하면 각각 5.4g/L, 26.9g/L, 129.0g/L가 된다. 과산화수소 함유 해수시료에 입상황토 주입량을 증가시키기에 따라 이에 비례하여 과산화수소의 분해속도 역시 다소 증가하였으나 분말황토를 사용한 경우에 비해 상대적으로 분해속도가 현저히 느린 것을 관찰할 수 있었다. 황토를 사용하지 않은 대조구의 경우 24hr의 반응 시간에도 거의 분해가 되지 않은 반면, 입상황토를 주입한 경우 주입량에 비례하여 과산화수소 분해속도는 다소 증가하였으나 입상황토를 12% 첨가한 경우에도 24hr 반응시간 경과 후 과산화수소 분해도는 60%를 넘지 않았다. 이는 분말황토에 비해 입상황토의 경우 입자의 입경 증가에 따라 비표면적이 감소되어 반응속도가 현저히 감소된 것으로 판단된다. 그러므로 과산화수소의 분해촉매제로 황토를 입상의 형태로 제조하여 사용하는 경우 회수, 재활용의 장점은 있으나 분말황토에 비해 과산화수소 분해효율이 낮아지는 문제가 있을 것으로 사료된다.

3.3.2 과산화수소의 분해에 따른 수중 용존산소의 변화 적조생물의 제어를 위해 해수중에 투입된 과산화수소가 분해됨에 따라 증가하는 수중의 용존산소량의 변화를 조사

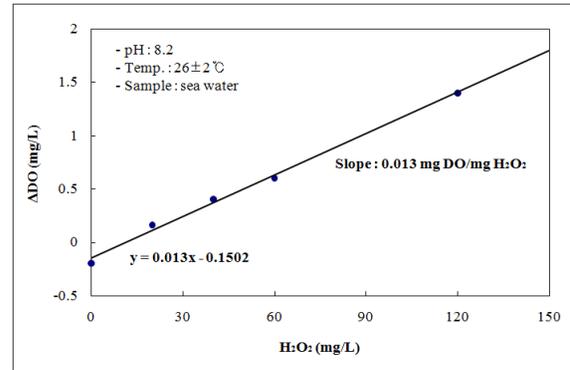


Fig. 6. Variation of the dissolved oxygen according to the degradation of hydrogen peroxide in sea water.

하였다. 수중에서 과산화수소의 이론적 분해반응은 다음식 (2)와 같다.



식 (2)와 같이 주입된 과산화수소가 산소로 분해되면, 분해된 과산화수소 중 수중에 용해되는 양은 식 (2)의 산소로 전환된 양보다는 낮을 것으로 예측할 수 있다. 실제 어느 정도의 수중 용존산소가 증가하는지를 수행한 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 용존산소의 증가량은 식 (2)로 구한 이론적 산소 분해 양 보다는 적은 0.013mg-DO/mg-H₂O₂로 조사되었다. 본 실험 결과를 이용하면, 수중 용존산소가 결핍된 적조발생수역에 과산화수소를 주입할 경우 적조생물의 구제와 함께 과산화수소에 의해 증가되는 용존산소의 농도를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 수중생물에 미치는 과산화수소의 영향

갑각류의 일종인 *Artemia*(brine shrimp)를 대상으로 과산화수소가 미치는 영향을 조사한 결과를 Table 4에 나타내었다. 황토첨가와 함께 10시간 이내에 잔류 과산화수소는 대부분 분해되므로 충분히 영향을 알아볼 수 있는 48hr까지 실험을 수행하였다. 48hr의 실험기간동안 과산화수소농도 100mg/L까지 *Artemia* 치사 개체수는 0~1마리로 큰 변화가 없었다. 그러므로 과산화수소 주입농도100mg/L 미만에서는 *Artemia*에게 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

적조생물의 제어를 위해 과산화수소와 황토를 이용하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 4. Result of toxicity test for hydrogen peroxide on *Artemia*

Exposed time(hr)	Number of dead artemia/Number of total artemia					
	0mg/L	5mg/L	15mg/L	30mg/L	50mg/L	100mg/L
4	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
6	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
24	0/10	1/10	0/10	0/10	0/10	1/10
30	0/10	1/10	0/10	0/10	0/10	1/10
48	0/10	1/10	0/10	1/10	1/10	1/10

1) 과산화수소의 농도 30mg/L에서 수중 생물인 *Artemia* 에 특별한 영향을 주지 않으면서 *C. polykrikoides* 단독형 적조 및 혼합형 적조를 효과적으로 제어할 수 있었다.

2) 적조생물의 제어 후 잔류 과산화수소를 분해시키기 위해 황토를 살포하는 경우, 입상황토에 의한 과산화수소의 분해속도는 현저히 느린 반면 분말황토는 과산화수소의 분해 촉매제로 효과적으로 작용함을 알 수 있었으며, 과산화수소의 분해에 따라 수중 용존산소 농도가 증가되어 수환경에 긍정적인 효과를 나타내었다.

3) 황토를 사용하여 적조생물을 단순히 흡착, 침강하여 제거하는 기존의 제어방법과 비교하여 본 연구에서 제안하는 적조 제어 방법은 적조생물의 세포를 효과적으로 파열시킬 수 있어 보다 근원적인 적조 제어방법으로 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2008년 인하공업 전문대학 학술연구사업으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 임월에, 정창수, 이창규, 조용철, 이삼근, 김학균, 정익교, (2002). 2000년 여름 남해안에 나타난 *Cochlodinium polykrikoides* 우점 적조의 발생 특성, *한국해양학회지*, **7**(2), 68-77.
 2. 이영식, 박영태, 김영숙, 김귀영, 박종수, 고우진, 조영조, 박승윤, (2001). *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생기작과 대책 1. *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 소멸의 환경특성, *한국해양학회지*, **6**(4) 259-264.
 3. 김학균, 정창수, 임월에, 이창규, 김숙양, 윤성화, 조용철, 이삼근, (2001). 한국연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 변천, *한국수산학회지*, 691-696.
 4. 이영식, 임월에, 이삼근, (2007). *Cochlodinium Polykrikoides* 적조가 발생하는 해역에서 호우에 의한 담수 유입 범위와 질소

인의 농도변동, *한국환경과학회지*, **16**(10), 1119-1125.
 5. 장동석, (2006). 적조의 이해와 고찰, *한국식품위생안전성학회지*, **1**(3), 38-43.
 6. 손재학, (2005). 적조생물, *Cochlodinium polykrikoides* 와 *Gymnodinium sanguieum*의 사멸에 있어 암모니아염의 효과, *한국생명과학회지*, **15**(4), 578-583.
 7. 김학균, (2007). 유해 적조 피해발생과 대책, *한국방재학회*, **7**(3), 7-21.
 8. 김삼혁, 최철남, 차월석, 정경훈, 정오진, (2000). 적조생물 *Amphidinium Carterae*의 사멸에 미치는 자외선의 영향, *한국환경과학회지*, **9**(6), 463-468.
 9. 한조희, 김영석, 허민도, 정해진, 박관하, (2001). 적조생물구제 농도의 Sodium Hypochlorite(NaOCl)의 노출에 따른 조피볼락 및 바지락의 조직학적 영향, *한국독성학회지*, **16**(2), 67-74.
 10. 박치현, 이병호, (2006). 적조 방제용 황토살포가 연안 저서생태계에 미치는 영향, *한국환경과학회지*, **15**(11), 1035-1043.
 11. 박치현, 이병호, (2007). 적조 방제용 황토살포의 양을 줄일 수 있는 첨가제에 대한 연구, *한국환경과학회지*, **16**(6), 745-750.
 12. 최희구, 김평중, 이원찬, 윤성중, 김학균, 이흥재, (1998). 황토의 유해성 적조생물 *Cochlodinium* 종의 제거효과, *한국수산학회지*, **31**(1) 109-113.
 13. 이화자, 손희중, 노재순, 이상원, 지기원, 유평중, 강임석, (2006). 오존과 과산화수소를 이용한 이취미 물질 산화 제거, *대한환경공학회지*, **28**(12), 1323-1330.
 14. 이진영, 윤호성, 김성순, 김철규, 김준수, 한춘, 오종기, (2002). 과산화수소에 의한 시안의 분해특성, *자원리사이클링*, **11**(2), 3-13.
 15. 목영선, 조진오, 기석태, 정우태, 강덕원, 이병호, 김진길, (2007). 펜트시스템에서의 과산화수소 분해연구, *대한환경공학회지*, **29**(1), 68-73.
 16. 수질오염공정시험방법, (사)환경보전협회 (1991).
 17. APHA : *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Eds. American Public Health Association, Washington, DC., (1995).