

황토의 유해성 적조생물 *Cochlodinium* 종의 제거효과

최희구 · 김평중 · 이원찬 · 윤성중 · 김학균 · 이흥재
국립수산진흥원 적조연구부

Removal Efficiency of *Cochlodinium polykrikoides* by Yellow Loess

Hee Gu CHOI, Pyoung Joong KIM, Won Chan LEE, Seong Jong YUN,
Hak Gyoon KIM and Hung Jae LEE

Harmful Algal Blooms Department, National Fisheries Research & Development Institute, Pusan 619-900, Korea

The clay and yellow loess have capability to adsorb and precipitate particles. The removal efficiencies of those flocculents on the dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*, have been studied in laboratory and in field near Tongyong fish farm in September, 1996. The removal efficiencies in the laboratory experiment was 43% for 2 g/l, 64% for 6 g/l and 88% for 10 g/l in one hour after dispersion. No big difference of removal efficiency was found between the raw and the acid-activated loess. In the field survey, the removal rates ranged from 72 to 80% in 30 min after the dispersion. The effect of loess scattering on water quality was estimated. The concentrations of dissolved inorganic nitrogen (DIN), chemical oxygen demand (COD) and chlorophyll a decreased more or less after dispersion, while the concentration of suspended solid (SS) increased. The concentrations of dissolved oxygen (DO) and dissolved inorganic phosphorous (DIP) were kept constant. These results indicated that the dispersion concentration of more than 10 g/l has a good removal efficiency of above 80% without big variation of water quality after dispersion of yellow loess.

Key words : removal efficiency, loess, dispersion

서 론

적조는 그 규모도 광역화, 장기화되는 한편 수산생물에 대해 유독화 추세를 보이고 있다(박, 1995). 특히 1995년에 발생한 *Cochlodinium* 적조는 8월 29일부터 10월 21일에 걸쳐 장기 지속된 적조로 남해안에서 동해안까지의 넓은 지역에 발생하였으며 어업피해액만도 총 764억원에 달하였다. 그러나 현재까지 알려져 있는 적조방지대책으로는 화학약품살포법, 초음파 및 오존처리법, 해면회수 및 침강법등이 있으나 산업적으로 이용되지 못하고 있으며 점토살포법만이 일본과 우리나라에서 적조생물의 구제능력과 이차적인 오염발생이 없다는 점에서 다소 실용성을 인정받고 있다(岩崎등, 1980; 김, 1987; 倉田등, 1990; 김등, 1997). 지금까지 우리나라에서 점토살포에 의한 적조생물 구제연구는 *Prorocentrum* 종에 대한 김(1986)의 연구가 있으며 황토를 이용한 *Cochlodinium* 적조생물 제거효율에 관한 김(1995)과 나등(1996)의 연구가 있을 뿐이다. 우리나라에서는 적조로 인한 수산물의 피해를 방지하기 위해 점토광물로 구성되어 있는 산야토 양성분인 황토를 최근 대규모 발생되고 있는 *Cochlodinium* 적조생물 발생시 현장에 살포하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 실내실험에 의한 황토의 살포농도별, 시간별 적조생물의 제거정도, 황토의 산처리에 따른 적조생물 제거효과, 해수의 pH가 끼치는 적조생물의 활성

여부 및 현장조사에서의 적조생물 제거효과와 수질조사를 실시하여 앞으로의 황토살포에 대비키 위한 구제효과와 수질환경에 미치는 영향평가의 과학적인 기초자료를 제공키 위함이다.

재료 및 방법

적조생물제거효과 실내실험을 위하여 사용한 살포물질은 Kaolinite계 점토에 비해 응집, 흡착력 즉 flocc화가 현저하게 강한 Montmorillonite계 월성산 점토 및 경남 통영시 산양면산 황토로, 살포농도는 2, 4, 6, 8, 10 g/l로 조절하여 1 l 비이커내에서 교반하면서 제거정도를 조사하였다. 적조생물은 *Cochlodinium polykrikoides*로 조도 3000 lux 이상, 온도 20°C에서 F₂배지에 배양시켜 사용하였다. 활성점토 및 황토는 점토 및 황토를 0.1N 염산과 1:1로 혼합하여 활성화시킨후 80°C에서 24시간 건조시켜 막자사발로 1 mm 이하로 갈아 사용하였다. 현장조사는 1996년 9월에 2회에 걸쳐 통영시 산양읍 활목-오비도 주변해역과 미남리 지선(Fig. 1)에서 황토살포전후에 실시하였다. 적조생물의 개체밀도는 현장에서 현미경으로 관찰하였으며 수질시료는 채집하여 실험실에서 화학적산소 요구량 및 영양염등의 12개성분에 대한 수질분석을 해양 오염 및 적조조사지침(박등, 1985)에 준하여 분석하

었다. 한편 적조생물종 차이에 따른 황토의 적조생물 제거효과정도를 비교하기 위하여 1997년 7월에 마산만의 *Prorocentrum triestinum* 적조발생시 현장 채수하여 제거정도를 비교 조사하였다.

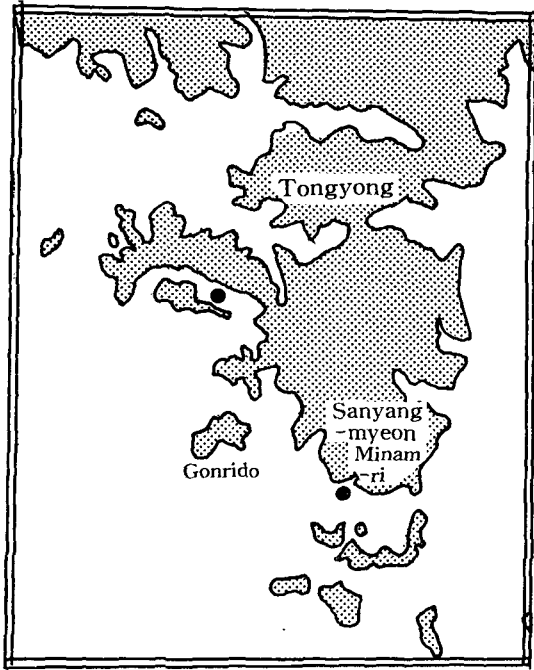


Fig. 1. The map showing two sites of field test of loess scattering.

결과 및 고찰

적조생물 제거효과 실내실험

적조발생시 점토살포는 적조생물을 흡착 침강시켜 제거시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (石原 등, 1982; 代田, 1987). 따라서 flocc화능이 뛰어난 Montmorillonite계 월성산 점토 및 경남 통영시 산양면산 황토를 사용하여 살포농도별 제거효율을 조사하여 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다.

살포농도별 *Cochlodinium polykrikoides*의 제거효과는 월성산 점토의 경우 살포 60분후에 2g/l에서 61%, 6g/l에서 78%, 10g/l에서 82%의 제거효과를 보였으며, 경남 통영시 산양면산 황토는 살포 60분후에 2g/l에서 43%, 6g/l에서 64%, 10g/l에서 88%의 제거효과를 나타냈다. 이상의 결과로 살포농도가 증가할수록 적조생물의 구체효과가 증가하기는 하였으나 실질적으로 80% 이상의 제거효율을 나타내는 살포농도는 점토나 황토 모두

살포농도 10g/l인 것으로 조사되었다. 아무것도 첨가치 않은 대조구에서는 10% 미만의 적조생물의 개체수 감소가 있었다.

한편 *Prorocentrum triestinum*을 이용한 황토의 적조생물 제거효과를 비교한 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 황토살포시 초기개체수는 6,400 cells/ml로 살포 60분후에 2g/l에서 40%, 5g/l에서 44%, 8g/l에서 45%, 10g/l에서 40%의 제거효과를 나타냈다. 동 종의 시간에 따른 재활성 여부를 조사하기 위하여 10g/l의 실험구에서 살포후 20시간 경과후 동종의 제거효과는 56%이었고 재부상은 없었다. 따라서 황토살포로 인한 제거효과는 두종이 다소 달랐으며 점액질을 분비하지 않는 *Prorocentrum triestinum*이 점액질을 분비하는 *Cochlodinium polykrikoides* 보다 제거효과가 떨어지는 것으로 조사되었다. 그러나 石原 등 (1982)이 조사한 결과에 따르면 점토살포시 *Prorocentrum triestinum*는 7.5g/l에서 100% 유평이 정지되는 것으로 조사되어 본 조사결과와 달랐다.

代田 (1987)는 점토에는 많은 종류의 점토가 있지만

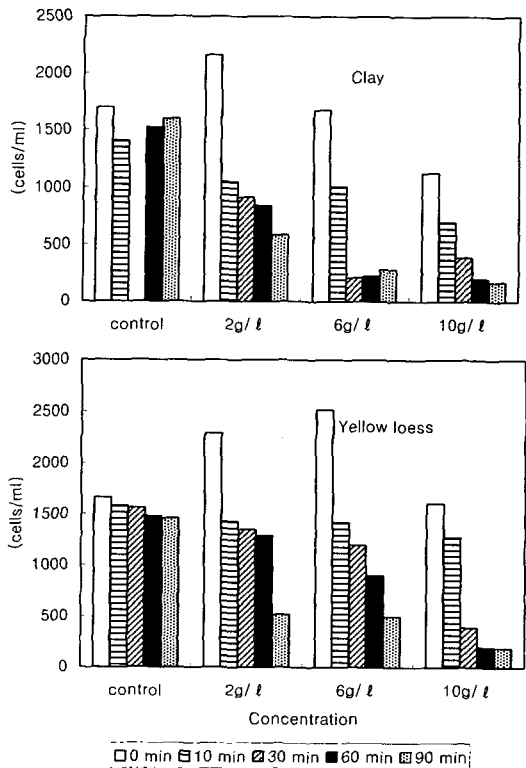


Fig. 2. Removal efficiency of *Cochlodinium* by clay and yellow loess.

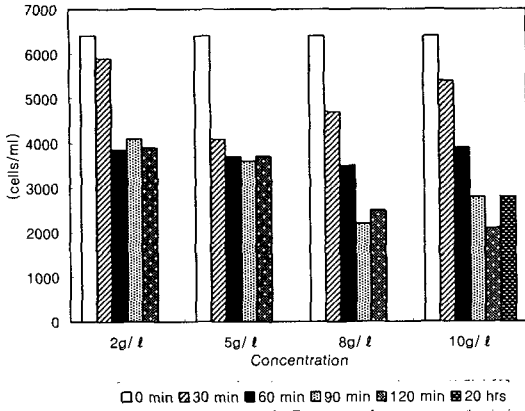


Fig. 3. Removal efficiency of *Prorocentrum triestinum* by yellow loess.

적조대책용으로 이용할 수 있는 점토는 활성화된 점토로 이온교환성을 갖고 있는 알루미늄을 함유한 점토로써 해수에 살포하면 해수의 pH가 순간적으로 산성을 나타내 점토로부터 알루미늄이 용출하여 적조생물의 세포가 파괴되는 것으로 보고하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 점토 및 황토를 산처리하여 적조생물의 제거효율을 조사하였다 (Fig. 4). 활성화점토는 살포농도 6g/l에서 살포 60분후 66%, 8g/l에서는 68%의 제거효율을 나타냈다. 활성화황토는 살포농도 6g/l에서는 살포 30분후에 98%, 8g/l에서는 10분후에 98%의 제거효율을 나타냈다. 점토와 활성화점토의 적조생물 제거효과는 산처리하지 않은 점토 쪽이 오히려 나은 제거효율을 보인 반면, 황토와 활성화황토의 제거효율은 산처리한 황토쪽이 월등히 좋은 것으로 나타나 상반된 결과를 나타냈다. 활성화황토와 점토의 pH는 살포농도에 따라 감소하여 8g/l에서는 7.86로 활성화황토를 살포하지 않은 대조구의 8.58보다 1정도 낮은 pH를 나타내므로써 代田(1987)가 보고한 pH 5이하의 산성에서의 알루미늄용출은 기대할 수 없었다.

한편, 적조생물 제거효과가 뛰어났던 활성화황토의 적조생물 제거기작에 흡착침강의 알루미늄이온 용출에 의한 기여가 있었는지 혹은 해수의 산성도 자체가 적조생물의 생리대사에 영향하여 적조생물의 제거기작을 도우는지 확실하기 위하여 해수중에 의도적으로 산을 가하여 해수의 pH를 변화시키면서 적조생물의 제거효율을 조사하였다 (Fig. 5). pH 8.58에서 7.39범위에서는 적조생물 제거효율이 10% 전후로 낮았으나, pH가 6.68에서는 30분후에 85%의 적조생물이 제거되었으며 6.37에서는 100% 제거됨으로 pH가 산성쪽으로 갈수록 적조생물의 제거효율은

증가하는 것으로 나타났다. 특히 pH 5.40에서는 10분후에 100% 제거되었다. 그러므로 본 조사에서는 적조생물인 *Cochlodinium*은 알루미늄이온의 용출영향이 아니더라도 pH저하에 따른 생리활성에 영향을 받고 있는 것으로 나타나 황토살포에 의한 적조생물의 구제기작 연구시

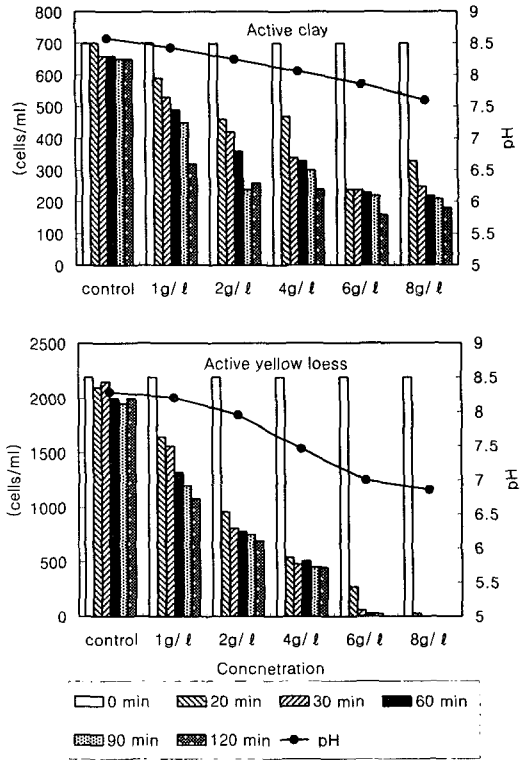


Fig. 4. Removal efficiency *Cochlodinium* by activated clay and yellow loess.

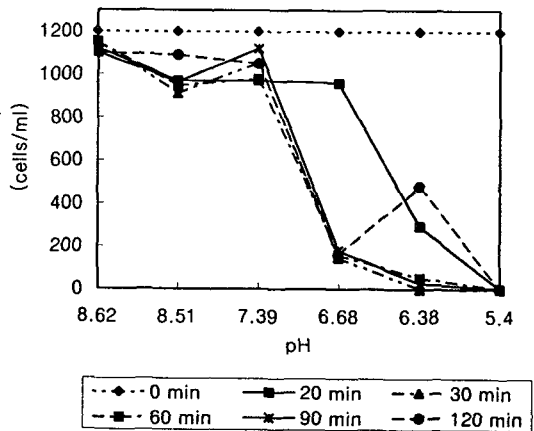


Fig. 5. Removal efficiency of *Cochlodinium* with pH.

알루미늄 용출에 의한 적조생물 파괴효과여부는 좀더 연구되어야 할 것으로 생각된다. 한편, 산침가 120분후에 pH 6.37과 6.68에서 적조생물의 제거효율이 감소됨으로써 적조생물의 재부상여부가 의심스러웠다.

石原等(1982) 연구에 따르면 Montmorillonite계 점토의 적조생물 구제능력은 *Cochlodinium* '78은 110~400 g/m² 농도에서 현저한 효과가 있었고, 편모조류인 *Procentrum*, *Gymnodinium*, *Heterosigma*, *Gyrodinium* 등의 경우 7.5 g/ℓ 농도에서 80~100% 정도 세포파괴 혹은 유영정지 혹은 형태변화등이 관찰되었다고 보고하여 본 연구와 비슷한 결과를 나타냈다.

적조생물 제거효과 현장조사

적조생물 제거효율

통영 산양읍 활목-오비도 주변과 미남리 지선에서 행한 황토살포효과 조사결과를 Table 1에 나타냈다. 수층별로 조사된 제거효율은 전반적으로 80% 이상으로 좋은 제거효과를 보였으며, 활목-오비도의 2차조사시 중층(3m)의 적조생물의 밀도가 높은 것은 *Cochlodinium* 종의 수직이동에 기인한 것으로, 조사시간대가 적조생물이 표층으로 부상하는 시간대보다 다소 이른 것에 그 원인이 있다고 생각된다. 일반적으로 살포 10분후에는 제거효율이 낮아 39~65% 정도였으나 살포 30분후에는 72~83%의 제거효율을 나타냈다. 나등(1996)은 적조발생 해역의 해수를 가지고 황토 1g/ℓ로 실험실에서 행한 제거효율 실험에서 chlorophyll a의 초기농도가 4시간후에 17.5%가 잔류하였다고 보고하여 본 조사결과 비슷한 제거효율을 보였으나 경과시간이 훨씬 길었다. 김(1995)의 연구에 따르면 황토를 이용하여 적조구제효과를 알아보기 위해서는 황토의 농도가 적어도 1g/ℓ 이상은 되어야 한다고 보고하고 있다. 본 조사시 현장에서의 황토살포는 분무나 현탁살포 등으로 이루어졌으며 살포농도는 10g/ℓ 전후로 추정된다. 따라서 나등과의 경과시간의 차이는 살포농도

차에 그 원인이 있는 것으로 생각된다.

황토살포에 따른 수질변화

황토살포전후의 수질결과는 Table 2에 나타냈다. 조사해역의 수온은 23.00~24.65°C 범위로 표층과 저층의 수온차가 1°C 전후로 수직혼합이 원활한 상태였다. pH는 전수층이 7.75~7.89 범위로 층별 및 살포전후 값의 변화가 없었으며, 용존산소는 활목-오비도에서 표층이 10.33 mg/ℓ에서 8.85 mg/ℓ로, 저층이 9.02 mg/ℓ에서 7.74 mg/ℓ로 다소 감소하였으나 중층의 농도변화는 적었다. 화학적산소 요구량은 살포후 농도가 현저히 감소하여 활목-오비도의 경우 표, 중, 저층이 살포전 각각 4.01, 3.47, 0.83 mg/ℓ에서 살포 30분후에 0.70, 0.61, 0.43 mg/ℓ로 감소함으로써 약 80%의 유기물 감소를 보였으나 미남리의 경우 해역자체의 COD농도가 낮아 큰 변화는 관찰되지 않았다. 영양염은 질소와 인의 변화가 달라 용존인의 경우 살포전후 농도차가 0.1 μM 미만으로 변화가 없었으나 용존무기질소는 활목-오비도의 경우 표, 중, 저층의 경우 살포전 각각 18.84, 3.81, 7.63 μM에서 살포후 8.36, 4.41, 4.28 μM로 감소하였으며 미남리의 경우 역시 표, 저층에서 살포전 각각 7.69, 7.50 μM에서 살포후에 4.76, 6.07 μM로 감소하여 전반적으로 19~56%의 농도감소를 나타냈다. 규산염은 살포전후 농도변화가 두 조사지역에서 달라 뚜렷한 수질변화를 볼 수 없었다. 나등(1996)은 황토입자에 의한 영양염의 흡착에 관한 실내실험에서 인 제거효과를 보고하였으나 본 연구에서는 인의 제거효과는 확인되지 않았다. 클로로필 a 및 부유물질은 살포후 전 수층의 농도가 감소하는 것으로 조사되었다. 한편 岩崎等(1980)은 점토살포후 수질이 원상태로 회복하는데 걸리는 시간은 부유물질은 30분, 용존무기질소는 15분 정도이며 점토살포에 의한 수질의 악영향은 없는 것으로 보고하고 있다. 결과적으로 본 조사 역시 살포전후 수질변화가 있기는 하였으나 그 변화가 소폭으로 황토살포후 수질변화는 크지 않은 것으로 조사되었다.

Table 1. Removal efficiency of *Cochlodinium* after the dispersion of yellow loess in Tongyong (unit : cells/ml)

| Site & Date | | | <i>Cochlodinium</i> Density | | | | |
|---------------------|---------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|-----|
| | | | Before dispersion | 10 min after dispersion | 30 min after dispersion | | |
| Tongyong Sanyang-up | Sep. 19 | 0 m | 900 | — | 180 | | |
| | | Woalmok - Obido | Sep. 23 | 0 m | 1,500 | 910 | 420 |
| | 〃 | 3 m | 2,500 | 875 | 450 | | |
| | | 8 m | 300 | — | 55 | | |
| | | Minam - ri | Sep. 19 | 0 m | 650 | — | 120 |
| | | Sep. 23 | 0 m | 600 | — | 100 | |
| | 〃 | 3 m | 400 | — | 80 | | |
| | | 8 m | 300 | — | 50 | | |

Table 2. The water quality before and after the dispersion of yellow loess

| Siter | Laye (m) | Dispersion | W.T (°C) | pH | DO | COD | SS | Chl.a | DIP | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | DIN | SiO ₂ -Si |
|---------|----------|------------|----------|------|--------|------|------|--------|------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|----------------------|
| | | | | | (mg/ℓ) | | | (μg/ℓ) | (μM) | | | | | |
| Woalmok | 0 | Before | 24.65 | 7.79 | 10.33 | 3.01 | 10.5 | 7.93 | 0.45 | 10.41 | 0.30 | 1.13 | 18.84 | 12.14 |
| | | After | 24.70 | 7.89 | 8.85 | 1.70 | 11.5 | 6.46 | 0.47 | 7.81 | 0.04 | 0.51 | 8.36 | 10.89 |
| | 3 | Before | 23.91 | 7.80 | 9.02 | 3.47 | 12.5 | 10.74 | 0.18 | 3.26 | 0.04 | 0.51 | 3.81 | 13.31 |
| | | After | 23.72 | 7.81 | 8.68 | 1.61 | 13.0 | 4.51 | 0.44 | 4.13 | 0.04 | 0.24 | 4.41 | 10.62 |
| Obido | 8 | Before | 23.60 | 7.75 | 9.02 | 0.83 | 7.8 | 2.84 | 0.62 | 6.94 | 0.02 | 0.67 | 7.63 | 13.31 |
| | | After | 23.60 | 7.76 | 7.44 | 0.43 | 7.3 | 0.90 | 0.53 | 3.98 | 0.07 | 0.23 | 4.28 | 18.32 |
| | 0 | Before | 23.00 | 7.84 | 8.28 | 0.47 | 7.8 | 6.80 | 0.52 | 7.37 | 0.03 | 0.29 | 7.69 | 9.37 |
| | | After | 22.94 | 7.86 | 8.22 | 0.69 | 10.3 | 3.01 | 0.44 | 3.98 | 0.59 | 0.19 | 4.76 | 9.81 |
| 4 | Before | 23.02 | 7.86 | 8.17 | 0.99 | 11.5 | 8.85 | 0.63 | 6.58 | 0.07 | 0.85 | 7.50 | 12.32 | |
| | After | 22.29 | 7.80 | 7.74 | 0.44 | 13.5 | 5.29 | 0.52 | 4.05 | 0.13 | 1.89 | 6.07 | 14.56 | |

요 약

황토에 의한 *Cochlodinium* 종의 제거효과실험을 실내와 현장조사를 통하여 실시하였다. 실내실험은 *Cochlodinium* 적조생물을 배양하여 황토 및 이를 산처리로 활성화시켜 살포농도를 2 g/ℓ에서 10 g/ℓ로하여 제거효율을 조사하였다. 황토의 적조생물제거효과는 살포농도 2 g/ℓ에서 43%, 6 g/ℓ에서 64%로 점차 향상되기 시작하여 10 g/ℓ에서는 살포 60분후 88%의 제거효과를 나타냈다. 현장조사는 *Cochlodinium* 적조가 빈발한 통영 활목-오비도해역에서 1996년 9월에 2회 실시되었다. 황토살포 전후로 해서 실시된 조사에서도 역시 황토살포 30분후에 *Cochlodinium* 적조생물이 72~83%가 제거됨으로써 좋은 제거효과를 나타냈다. 수질인자중 수온과 pH는 살포전후 변화가 없었으나 용존산소, 화학적산소요구량 및 클로로필 a의 농도는 다소 감소하였고 부유물질은 증가하였다. 부영양화 인자중 용존무기인은 살포전후 농도변화가 없는 반면, 용존무기질소는 살포후가 살포전에 비해 다소 감소하였다. 따라서 황토살포는 10 g/ℓ전후로 살포하는 것이 적조생물 제거효과에 바람직하며 수질에도 큰 영향이 없는 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

Hideo, I. et al. 1980. Red tide - Occurrence mechanism and control. Hangsongsa. Hussyanggak, 105~123 (in Japanese).
 Ishihara, M. et al. 1982. Manual on prevention of red tide by dispersion of clay. Hiroshima Fish. Exp. Stn., 1~31 (in Japanese).

Kim, S. J. 1995. Flocculation of red tide organisms by using acidified oyster shell powder and yellow loess. Abstract of RCOID., 94 (in Korean).
 Kim, H. G. 1986. Ecological study of dinoflagellates responsible for red tide. 1. The population growth and control of *Prorocentrum triestinum* schiller. Bull. Fish. Res. Dev. Agency., 39, 1~6 (in Korean).
 Kim, H. G. 1987. Management and mitigation technique to diminish damage by red tide. Proceedings of symposium on red tide and conservation of the coastal environment., 115~128 (in Korean).
 Kim, H. G et al. 1997. Resent red tides in Korean coastal waters. Nation. Fish. Res. Dev. Ins., 191~232 (in Korean).
 Kurada, H., A. Shiroda and S. R. Ieno. 1990. Abstract on study of techniques for prevention of red tide. Fish. Agen., 51~65 (in Japanese).
 Na, G. H. and W. J. Choi and Y. Y. Chun. 1996. A study on red tide control with loess suspension. J. Aquaculture. Kor., 9, 239~245 (in Korean).
 Park, J. S., H. G. Kim and P. Y. Lee. 1985. Manual of methods for research and monitoring of marine pollution and red tide. Nation. Fish. Res. & Dev. Agen., 36~87 (in Korean).
 Park, J. S. 1995. Succession and control of red tide. Fish. Reser. Kor., 12, 6~19 (in Korean).
 Shirota, A. 1976. Meeting on control of red tide with clay. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., 24, 2~5 (in Japanese).
 Shirota, A. 1987. Status of study on occurrence mechanism and control of red tide. Proceedings of symposium on red tide and conservation of the coastal environment., 129~163 (in Japanese).

1997년 9월 20일 접수
 1997년 12월 31일 수리