BSPE97669-00-1032-3

적조생물처리기(RTS-KORDI) 보완 및 실용화연구

Optimizing the Red-tide Treatment System

1998. 1

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 "적조생물처리기 (RTS-KORDI) 보완 및 실용화연구"의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 1월

연구책임자 : 장 만
연 구 원 : 신경순, 배세진
최승민, 전호경
김웅서, 이종수
장민철, 김정선
조진하, 박이규
최현우

요 약 문

I. 제 목

적조생물처리기 (RTS-KORDI) 보완 및 실용화연구

II. 연구개발의 필요성

최근 들어 적조발생 규모의 대형화에 따라 그 피해역도 수백억원을 상회하는 경제적 손실을 입고 있을 뿐 아니라 또한 수산자원의 감소와 질적 하락에 따른 가치 저하로 인한 경제적·산업적 피해도 현저히 증가되는 추세이다. 특히 '95년부터 올해까지 남해안을 시작으로 매년 상습적으로 발생하여 피해를 주는 *Cochlodinium* 적조는 그 발생 및 확산범위가 매우 넓어 그에 따른 피해 역시 가공할 만 하다. 그러나 현재 우리가 할 수 있는 방제방법으로는 황토살포 역시 일시적, 부분적 저감방안은 가능하나. 빈약한 적조생물제거율이나 저서생물에 미치는 영향 및 2차오염 유발 가능성 등을 생각할 때 적절한 대응책은 못된다고 판단된다. 따라서 광범위한 해역에 걸친 적조생물을 단시간내에 완전하게 제거할 수 있는 기술의 개발은 매우시급하면서 또한 꼭 필요한 당면과제이다.

III. 연구개발목표 및 내용

1. 연구개발목표

- 적조생물처리기 (RTS-KORDI) 보완 및 실용화연구

2. 연구의 내용

- 연속적인 해수의 흐름을 통해 기개발된 RTS-1(40㎛이상)을 보완하여 분리되는 적조생물크기가 20㎛이상으로 보완된 시스템 개발

- 분리처리율은 RTS-1의 분리율을 하향 조정하여 총 적조생물의 70%이상을 제거 할 수 있는 기능으로 정립

- 적조생물과 함께 처리되는 해수비율은 기존 RTS-1의 30%에서 1%이하로 최소화

IV. 연구개발의 결과 및 활용에 관한 건의

- 개발된 적조생물제거기를 활용하여 적극적인 적조방제를 통해 어민피해 최소화 뿐 아니라 2차 환경오염방지에 기여 할 수 가 있다.

목 차

요 약 문 ---------- 1

목 차 ---------- 3

제 1 장 서 론 ---------- 4

제 2 장 재료 및 방법 ---------- 6

제 3 장 결 과 ---------- 7

부록1. I-Tek사 보고서 ---------- 16

제 1 장. 서 론

유독성과 비독성의 경우를 막론하고 적조에 대한 연구보고는 상당히 오랜 역사를 가지고 있으며, 최근에 와서는 해를 거듭할수록 적조발생의 횟수가 전 세계적으로 크게 증가하고 그 발생해역도 광범위해지고 있는 추세이다.

따라서 이에 따른 연안환경의 악화는 물론이고 발생해역의 특성에 따라서는 지역수산업에 엄청난 타격을 가할 뿐만 아니라 수산식품에 적지 않게 의존하고 있는 인류의 보건을 위협하고 지역공동체에서 해결하기 어려운 사회적, 경제적 문제를 야기시키기도 한다. 또한 지역경제의 활성화를 위해 애써 개발한 관광해역과 위락환경의 폐쇄를 초래하기도 한다.

적조란 수중의 식물플랑크톤이 대량증식 또는 집적하여 바닷물의 색을 적색, 황색 또는 갈색으로 변색시키는 현상을 말한다. 적조현상이 발생했을 때의 바닷물의 색은 적조생물에 따라 다르지만 일반적으로 규조류인 *Chaetoceros*속과 *Skeletonema*속은 황갈색을 그리고 편모조류인 Hetero-sigma속, *Prorocentrum*속은 적갈색 또는 황록색을 띈다.

최근에 와서 적조발생 규모의 대형화 및 발생기간의 장기화에 따라 그 피해액도 수백억원을 상회하는 경제적 손실을 입고 있을 뿐아니라 또한 수산자원의 양적 감소와 함께 질적 하락에 따른 가치 저하로 인한 경제적·산업적피해도 현저히 증가되는 추세이다. 특히 1995년부터 대형화하기 시작한 *Cochlodinium* 적조는 매년 상습적으로 남해안을 시작으로 남해 전해역과 동해일부까지 확산되어 가는 대규모 적조로 발달하고 있어 그에 따른 피해 역시 파악이 잘 안될 대형화하고 있다. 그러나 매년 유사한 해역을 시점으로 발생하여 대규모로 퍼져나가는 적조현상으로 겪으면서도 아직도 국내에서는 못하고 있는 실정이다. 단지 2-3년 전부터 황토살포등이 최선의 방안으로 제시되고 있으나 이 역시 전문가들 사이에서 찬·반론이 있으며 또한 현실적으로 효과성의 입증이나 과학적인 증거제시등이 아직 미약하고 2차 피해 가능성도 조심스럽게 제기되고 있는 실정이다. 따라서 단기적으로 적조확산을

확실히 차단 내지 적조생물을 손쉽게 제거할 수 있는 방안모색이 시급히 요구되고 있는 시점이며, 이미 국내에서는 이러한 조건에 부합되는 몇가지 연구결과가 발표되고 있다. 그 중에서도 가장 가까운 기일내에 실용화에 들어갈 수 있는 방안이 해양연구소와 미국 (I-Tek 사) 이 공동개발에 성공한 적조생물제거기 (RTS-KORDI) 라고 할 수 있는데, 이 첨단 기기는 적조생물제거에 적합하게 지속적으로 보완되어야 할 것이며 앞으로 실제 적조현장에서 시험 적용시켜 그 효과면이나 기술적인면에서 효율성의 극대화를 높이기 위한 새로운 연구가 요청되어지고 있다. 따라서 본 연구를 통하여 우선 기능보완 및 실용화에 필요한 전 단계 연구가 이루어지게 되었다.

제 2 장. 재료 및 방법

기존에 개발된 적조생물처리기(RTS-1)의 성능테스트를 통하여 문제점 개선 및 현장적용의 효율화를 위하여 1997년 10월 16일에서 1998년 1월 16일까지 한국해양연구소와 미국 I-Tek사가 공동으로 연구를 추진하였다.

현장실험은 1차 개발된 적조생물처리기의 현장성능실험을 위하여 1997년 9월에 두 번 실험하였다. 이 결과를 분석하여 본 연구의 방향과 기기 성능의 한계범위를 정하였고 이에 준하여 보완된 기기의 실험은 1997년 11월에 미국 I-Tek사의 실험실과 인근 VIMS연안에서 집중적으로 실험하였다.

제 3 장. 결 과

기 개발된 적조생물처리기(RTS-1)의 성능실험과 보완연구설정을 위하여 사전 현장실험은 1997년 9월 24일 마산 덕동에서 2회에 걸쳐 실시하였다. 당시 준 적조확산을 보인 조사해역의 우점종은 *Gymnodinium* sp.으로 2,304~3,471 cells/ml 농도를 보였다. 적조생물을 분리하기 위한 실험은 현장에서 약 2시간 동안 계속되었다. 적조생물 처리기는 두 개의 배수파이프 가지고 있는 데 한쪽은 적조생물이 제거된 배수파이프이며, 다른 한쪽은 적조생물이 걸러(농축)지는 파이프 이다. 적조생물 처리기의 제거효율을 측정하기 위하여 양쪽 배수파이프에서 나오는 해수를 채수하여 실험실에서 광학현미경과 입자 계수기 (Coulter Multisizer II)를 이용하여 계수하였다. 광학현미경 하에서는 조사지역의 우점종인 *Gymnodinium* sp.만을 계수하여 제거효율을 계산하였다. 또한 본 조사에서 수중의 입자크기별 제거율을 알아보기 위하여 5~100㎛ 까지 측정할 수 있는 aperture tube가 장착된 입자 계수기를 이용하여 측정하였다. 광학현미경하에서 관측된 *Gymnodinium* sp.의 크기는 약 30~50 ㎛의 크기를 보였다. 첫 번째 실험에서 *Gymnodinium* sp.은 적조생물 제거용 파이프에서 235 cells/ml의 농도를 보였고, 농축된 파이프에서 10,055 cells/ml의 농도를 보였다. 이는 적조생물 처리기로 들어온 *Gymnodinium* sp.의 98%가 제거됐음을 나타낸다 (그림 1A). 두 번째 실험에서 *Gymnodinium* sp.은 제거용 파이프에서 149 cells/ml, 농축된 파이프에서 3,121 cells/ml의 농도를 보여 제거효율은 95%로 첫 번째 실험보다 다소 낮은 값을 보였다 (그림 1B). 또한 동일한 시료를 입자계수기로 측정하여 몇 개의 입자크기 그룹별로 제거효율을 계산하였다. 입자계수기에서 측정된 마산 덕동의 입자 크기분포를 보면 그림 2와 같다. 여기에서 30~50㎛ 사이에 많은 입자의 농도를 보인 것은 현미경 관찰결과 주로 *Gymnodinium* sp.인 것으로 나타났다. 첫 번째 실험에서 입자크기별 제거효율은 20㎛ 이하의 입자에서 86.1%, 20㎛ 보다 큰 입자들에서 98.4%, 30㎛ 보다 큰 입자들에서 98.8%, 40㎛ 보다 큰

입자들에서 99.5%로 입자의 크기가 클수록 제거효율이 좋은 것으로 나타났다 (그림 3A). 그리고 측정된 입자전체에 대한 제거효율은 86.9% 였다. 두번째 실험에서도 첫 번째 실험결과와 비슷한 경향을 보였는 데, 제거효율은 20㎛ 이하의 입자에서 70.0%, 20㎛ 보다 큰 입자들에서 93.2%, 30㎛ 보다 큰 입자들에서 94.1%, 40㎛ 보다 큰 입자들에서 100% 였으며, 측정된 입자전체에 대한 제거효율은 70.9%를 보였다 (그림 3B). 마산 덕동에서 두차례에 걸친 실험결과에서 처음으로 제작된 적조생물 처리기는 적조원인 생물인 *Gymnodinium* sp과 비슷한 크기의 입자들은 적어도 95% 이상 제거할 수 있음을 보였다.

한편 이러한 결과들을 기준으로 적조생물처리기 (RTS-KORDI) 보완 및 실용화를 위하여 본 연구를 추진하였다. 보완기준은 적조생물처리기의 입자들이 농축되어 나오는 파이프의 배수량을 줄이고 배수된 해수를 재 순환시켜 농축되는 양을 최소화할 목적으로 미국 버지니아에서 1997년 11월 24일부터 27일까지 새로 고안된 모델을 제작하여 성능을 실험하였다 (그림 4). 실험은 VIMS (Virginia Institute of Marine Science)근처의 연안에서 실시하였으며, 분석은 VIMS 해양연구소의 광학현미경을 이용하여 제거효율을 측정하였다 (그림 5). 이 지역의 우점종은 마산 덕동과 비슷하게 *Gymnodinium* sp.으로 약 3,000 cells/ml의 농도를 보였다. 식물플랑크톤은 제거용 파이프에서 950 cells/ml, 농축된 파이프에서 5,350 cells/ml의 농도로 제거효율은 80%를 보였다 (그림 6A). *Gymnodinium* sp.만을 측정했을 때 제거용 파이프에서 200 cells/ml, 농축된 파이프에서 3,250 cells/ml의 농도를 보였고 제거효율은 94%로 증가하였다 (그림 6B). 새로 고안된 적조생물 제거기에는 농축된 파이프로 나온 해수를 재순환시켜 농축된 입자들의 양을 줄이는 시스템을 부착하였다. 이렇게 걸러진 입자를 재순환 시켰을 때 입자의 제거율은 시간경과에 따라 다소 증가하는 경향을 보였다 (그림 6). 즉 실제 장시간 처리시에 1%에 이하로도 가능할 것으로 판단되었다. 전체적으로 연구초기에 제시된 모든 사항으로 만족하고 있었다.

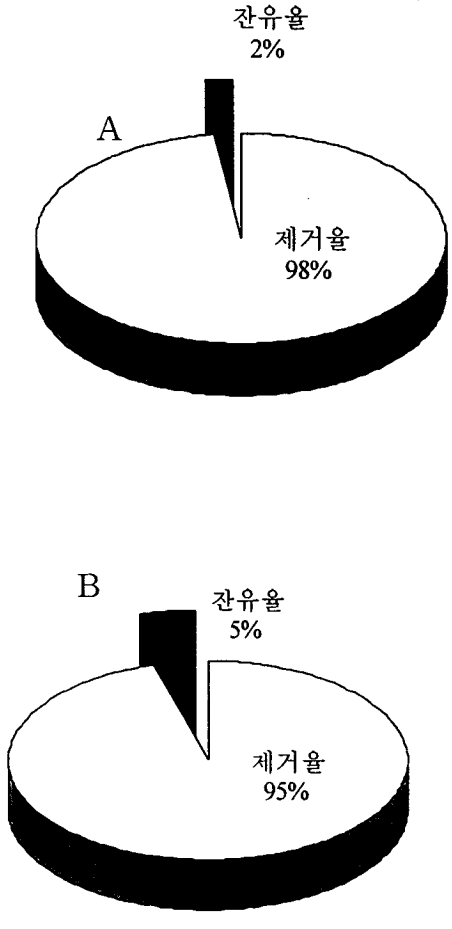


그림 1. 광학 현미경으로 측정한 마산 덕동에서 적조생물 제거기의 제거효율 시험. (A) 첫 번째 실험, (B) 두 번째 실험.

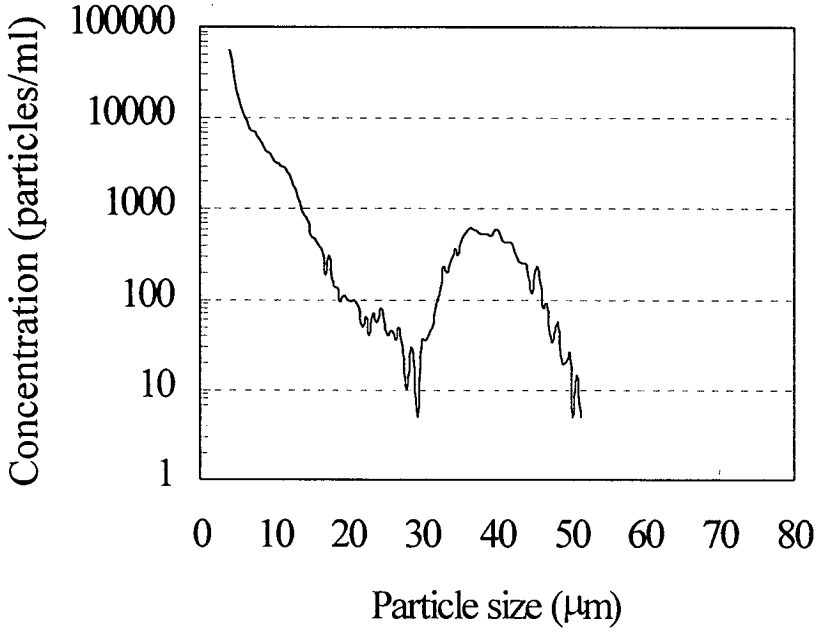
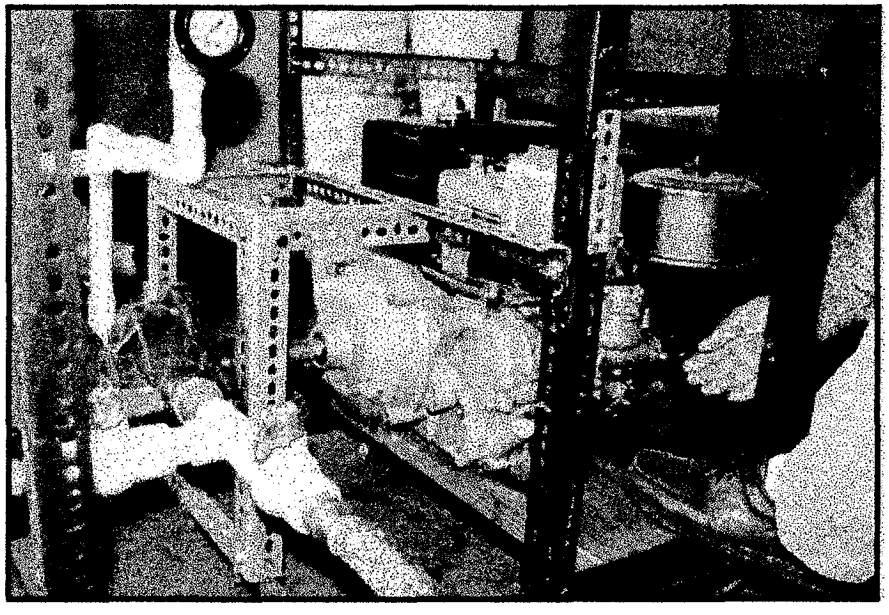
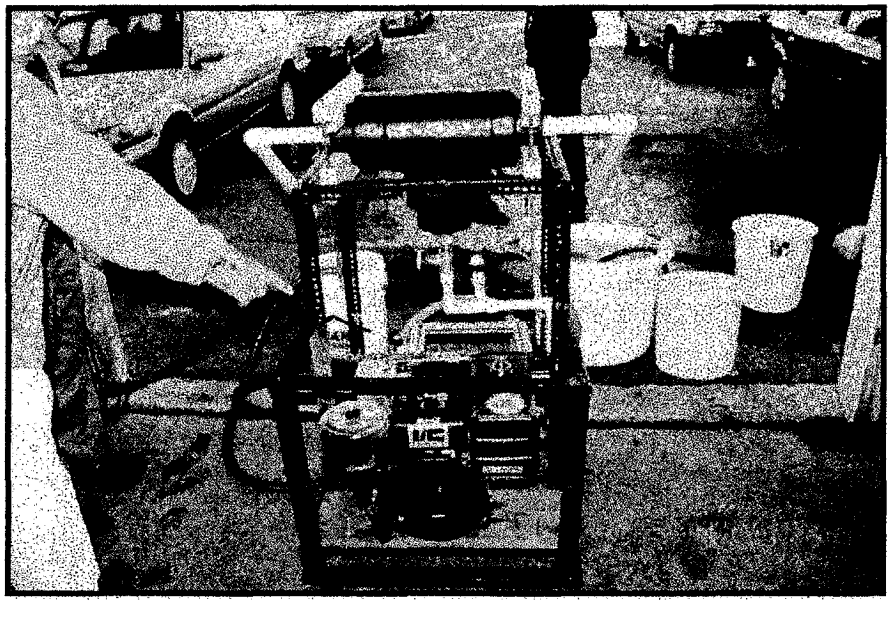


그림 2. 입자 계수기로 측정한 마산 덕동의 입자 크기 분포.

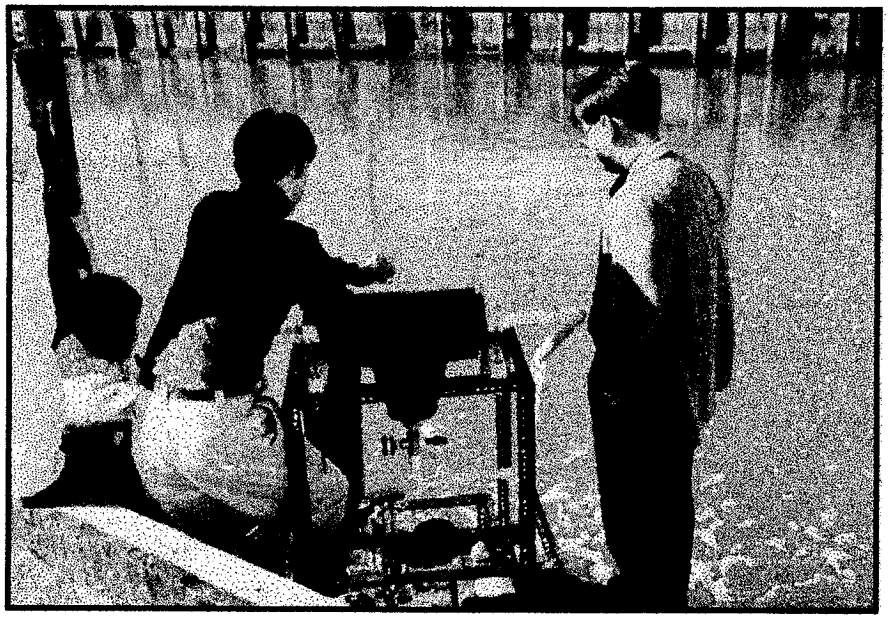


(A)

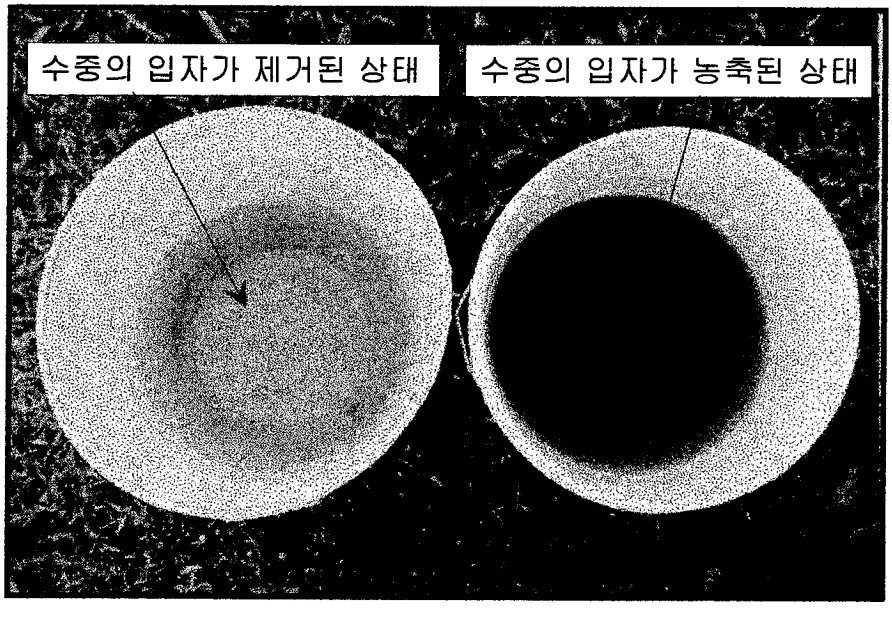


(B)

(그림 4). 적조생물처리기(RTS-KORDI) 보완작업과정(A) 및 1차 완성된 모습(B).

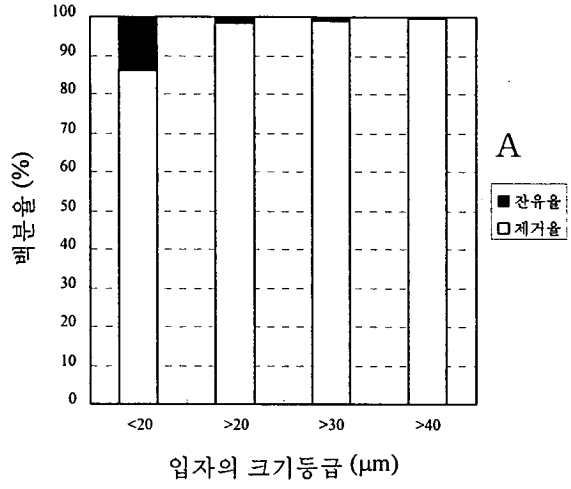


(A)



(B)

(그림 5). 보완된 적조생물처리기(RTS-KORDI) 현장실험모습(A) 및 처리된 결과(B).



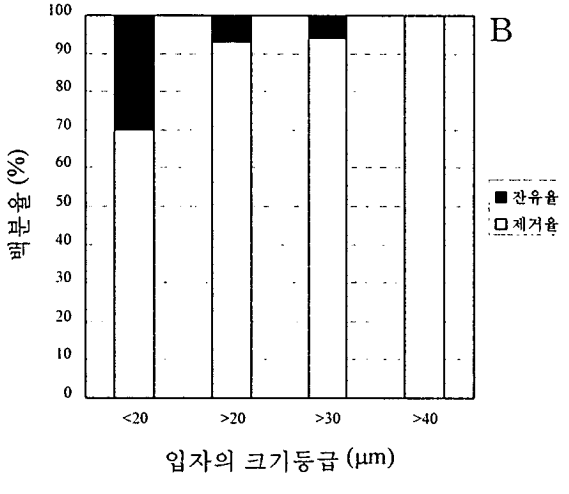


그림 3. 입자 계수로 측정한 마산 덕동에서 적조생물 처리기의 제거효율 시험. (A) 첫 번째 실험, (B) 두 번째 실험.

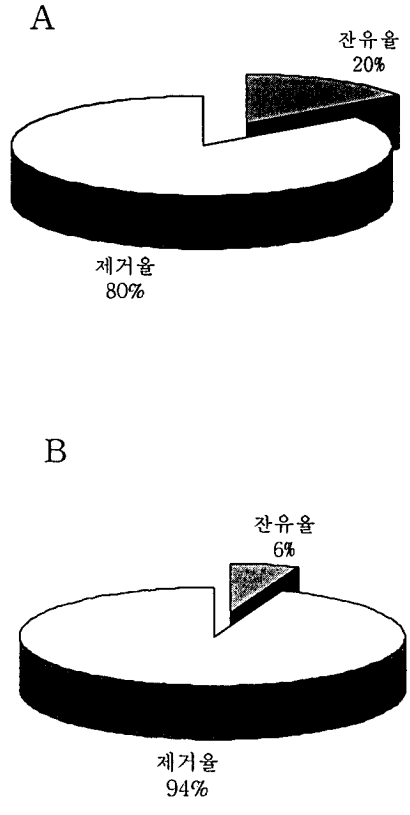


그림 6. 새로 고안된 적조생물 처리기의 제거효율 시험.

(A) 전체 식물플랑크톤, (B) *Gymnodinium* sp.

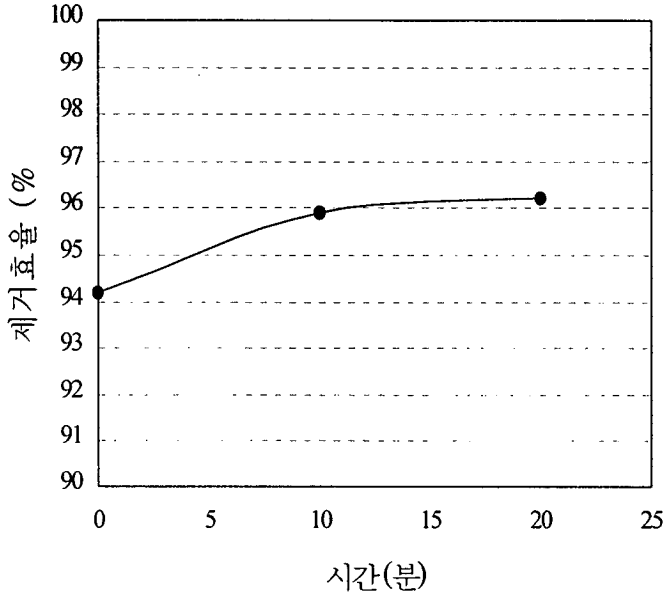


그림 7. 새로 고안된 적조생물 제거기의 시간경과에 따른 제거효율.

부록. I-Tek사 위탁보고서

I-Tek, Inc. 2210 Executive Drive Suite D, Hampton, VA 23666, U.S.A.

RED TIDE REMOVAL SYSTEM

(FINAL REPORT)

DEVELOPMENT OF RTS-KORDI EVALUATION/DEMONSTRATION UNIT

I-TEK, INC.

한국해양연구소

DECEMBER 1997

Introduction

1. Subject

Up until recently, there was no system or solution available to effectively control red-tide bloom that causes monetary damages to the world's aqua-culture industry and threaten human health due to nurotoxin produced by harmful algae and plankton. The conventional ways of treating red-tide, using mud, sand or chemical substances, have been costly, impractical and ineffective. I-Tek, Inc. has developed the red-tide treatment system (RTS-KORDI) which isolates the red-tide causing organisms from salt or fresh bodies of water utilizing a simple but sophisticated mechanical system designed by I-Tek.

2. Purpose

RTS-KORDI has been tested successfully by a team of researchers from I-Tek and Korean Ocean Research and Development Institutes (KORDI) in September of 1997. During the test, RTS-KORDI had separated up to 95% (KORDI's count) of Dinoflagellates from the sample of the seawater collected in south east cost of Korea and demonstrated its effectiveness in treating red-tide.

However, the amount of refuse which contains the plankton counted to about 30% of all the water that went through the RTS-KORDI. Both KORDI and I-Tek researchers agreed that this is excessive amount of liquid to handle for a small boat.

Consequently, I-Tek proposed to modify the RTS-KORDI to generate lesser, below 10%, of refusal.

3. Scope

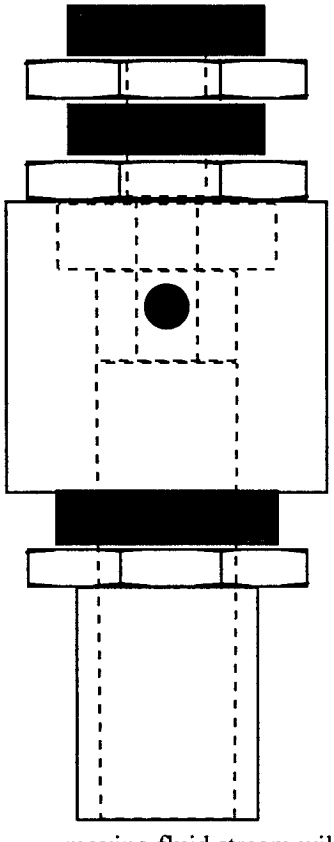
In this report, we will disclose the modifications made to RTS-KORDI.
Both our calculations and test results show that the amount of refusal generated by the system can be maintained below 1% with reasonable performance of plankton in a brackish water tributary.

4. Plan of development

This report discusses three major areas of the modifications:

(1) Theoretical background of High speed filter
(2) Liquid circulation in new RTS-KORDI
(3) The portable RTS-KORDI design

Theoretical background of high speed filter



The filter works on similar principle whereby mechanically forced liquid is introduced into the top of the cylinder with a distinctive base geometry. A mixture of medium, i.e. water and particulate matter (in this case, plankton), hence multiphase liquid, will be pumped into the RTS KORDI filter cell , as depicted in the left, at high rate of speed.

Entrance duct is perpendicular to the vertical axis and tangent to the inner wall of the cavity, and within the center region of the upper cylinder is a sleeve or exit duct. Consequently the introduced fluid will gyrate. The swirling motion of the liquid creates a negative pressure drop across the top of the cylinder. This provides a pressure gradient.

The higher pressure of flow in the lower levels of the cone are pulled upward through the exit duct, moving from a region of relatively high pressure to low pressure. As a result, these streams of water will form a dual counter rotating vortexes within the confines of the geometry of the filter. At the same time, particulate matter in the moving fluid stream will fall out in accordance with specific gravity. Centrifugal force is the force which keeps the particles along the axial wall region. The magnitude of this centrifugal force is related to the mass of the object, its speed and the radius of the curve. The expression is the following :

$F = mv^2/r$

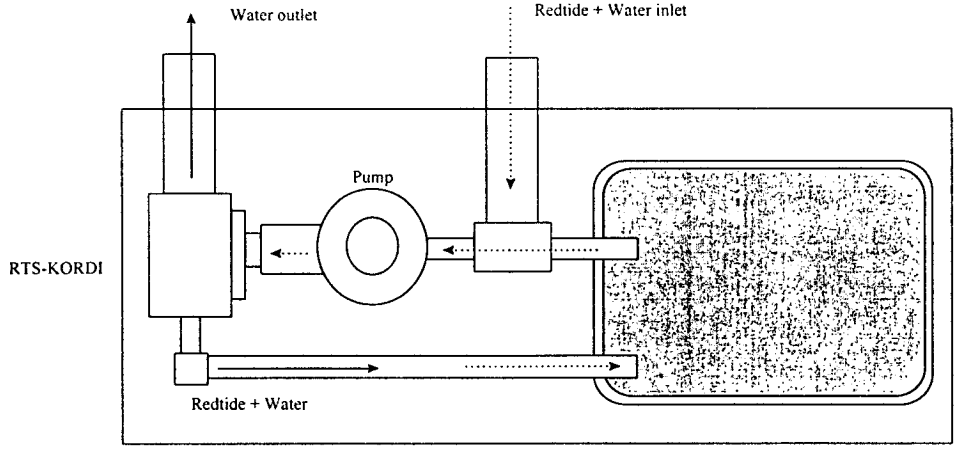
where

F : the centrifugal force
m : the mass of the object
v : the speed of the object
r : the radius of the curve

Analyzing the formula, several conclusions can be formulated. The higher the speed, the bigger the centrifugal force will be. We can also see that if the radius is small, the force will increase. The factors, other than particle characteristics, which influence the filter operation efficiency include: Diameter and length of the cylinder, flow rate at entry into the cylinder, the velocity of the liquid, viscosity of the liquid therefore the ratio of the particle and liquid and others. The particulate matters will flow following the inner wall of the cylindrical shape of the filter base until discharged through the opening at the annular end of the filter. The lighter matter in the mixture, i.e. water, will stay near the annular axis of the geometry due to the lower centrifugal forces. This causes the region where the secondary vortex, i.e. ascending vortex, to dominate. The secondary vortex spins opposite direction from the primary vortex which flows upward to the opening at the top. Therefore, the water will be discharged through the top opening.

Liquid circulation in new RTS-KORDI

Sea water will be pumped in from the two different inlet: the larger diameter inlet pipe that submerged into the sea water overboard and smaller diameter pipe that immersed into a small , 5 to 10 Gallon, tank installed on board boat deck.
As the pump operates, the water will be pumped into the RTS-KORDI from two different sources. The amount of water drawn from each source will be determined by the diameter of each pipe. Currently, the ratio can be adjusted to 70% sea water side and 30 % for the storage tank side.



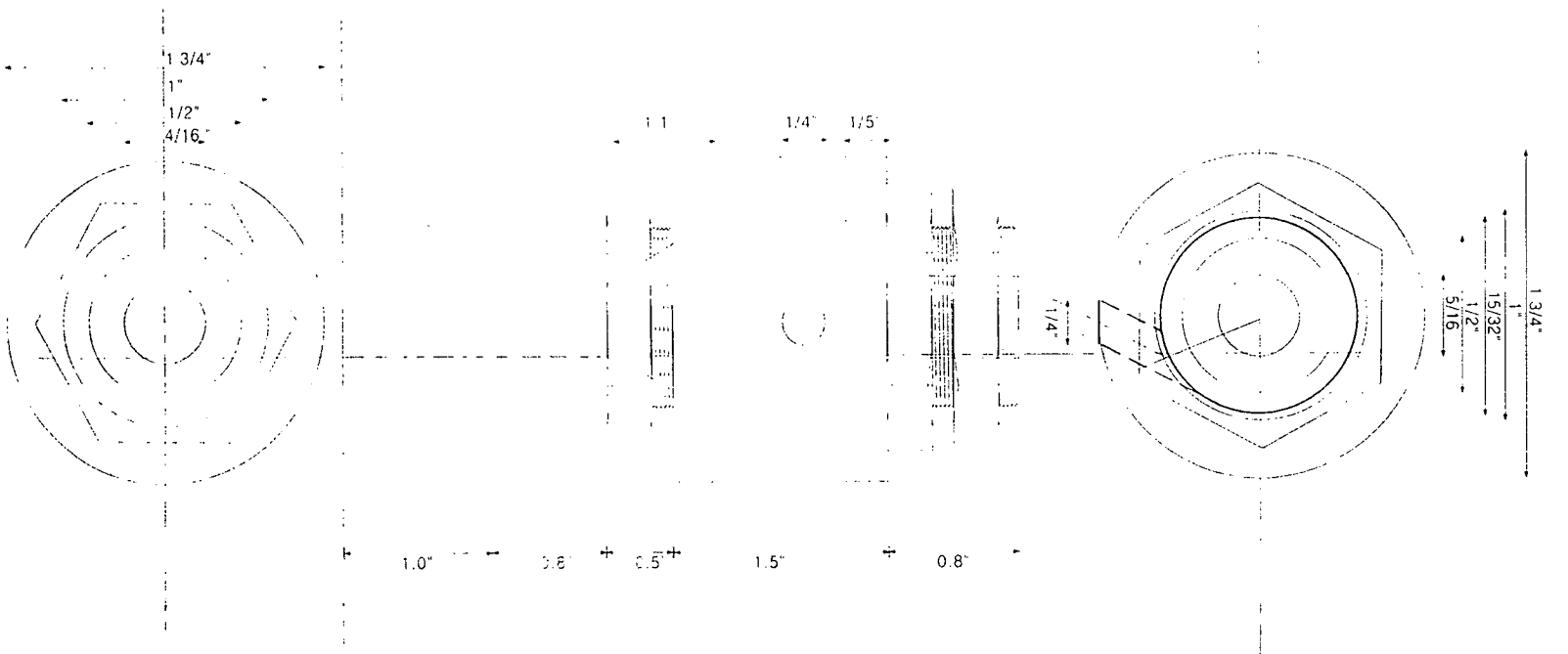
The RTS-KORDI generates about 30% of input water as a refusal with 95% of particulate matters in it. The 30 percent of liquid will be stored into the holding tank illustrated as a gray rectangular area on the right side of the above diagram. As mentioned before, the 30% of water pumped into the RTS-KORDI will be drawn from the tank. Consequently, there are no water level increment in the holding tank. This in effect, will have

condensing effect of the refusal collected in the storage tank. The RTS-KORDI can be operated up to about 20% liquid-particle ratio. Thus, the filtering operation can be continued until the refuse in the holding tank becomes slurry, 20% particles, without an interruption. A small amount of chlorine can be added before empty the holding tank overboard to kill the organisms collected in the holding tank. This method can not be used if the biomes contains toxin or secondary pollution from the refusal is in concern.

The portable RTS-KORDI design

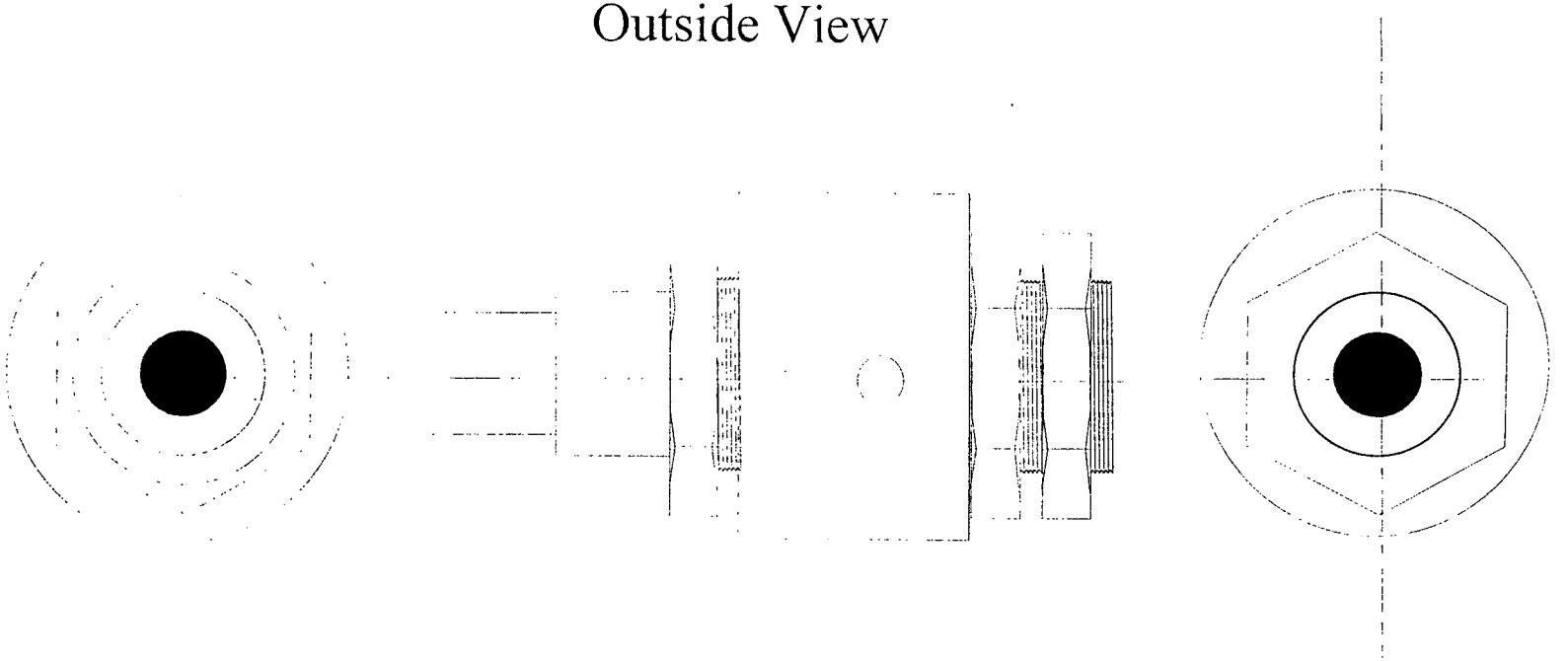
As the RTS-KORDI is designed for a small scale boat, overall weight, size , power source and power consumption are all very important limiting factors in designing. I-Tek has considered the limiting factors in designing the RTS-KORDI demonstration unit. Obviously, this design limit can be relaxed for ground based filtering system design that can be used for fish farm and other ground aqua-culturing facilities.

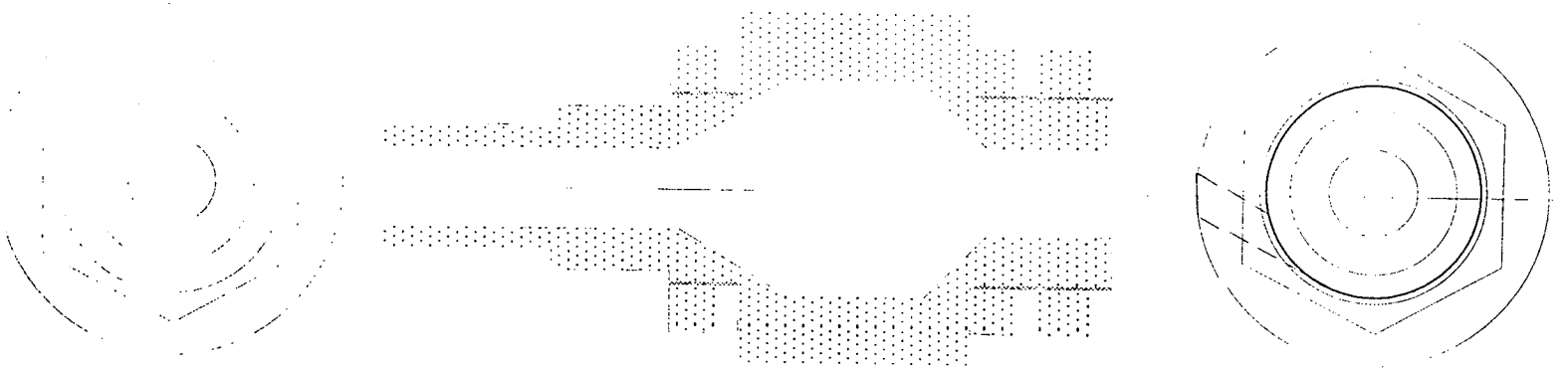
RTS–KORDI Filter Cell Diagram



I-Tek, Inc. U.S.A January 1998. BK.

RTS-KORDI Filter Cell
Outside View



I-Tek. Inc. U.S.A January 1998. BK

RTS-KORDI Filter Cell
Cut-away View