

# 고주파(MHz) 센서를 이용한 적조 플랑크톤 농도 추정

복태훈\*, 김은혜\*, 이창원\*, 나정열\*, 팽동국\*\*

한양대학교 지구해양과학과\*, 제주대학교 해양산업공학\*\*

## Estimation of concentration of red tide plankton using ultrasonic sensor

Tae-Hoon Bok\*, Eunhye Kim\*, Chang-Won Lee\*, Jungyul Na\*, Dong-Guk Pang\*\*

Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University\*

Marine Industrial Engineering, Cheju National University\*\*

E-mail: bth012@ihanyang.ac.kr

### 요 약

우리나라 연근해 해역에서 발생하는 적조 현상은 매년 특정 시기에 끊임없이 나타나고, 그 피해액은 해를 거듭해갈 수록 증가하고 있다. 이러한 적조 발생을 조기에 탐지할 수 있는 것만으로도 그 피해는 상당히 줄어들 것이라고 여겨진다. 본 논문에서는 우리나라 연근해 해역에서 발생하는 적조의 우점종 플랑크톤인 *Cochlodinium polykrikoides* 를 탐지하기 위한 방법으로 *C. polykrikoides* 의 개체수 변화에 따른 후방산란신호를 획득하여 그 상관관계에 관한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 주파수는 5MHz, 10MHz 이고, 적조 주의보와 적조 경보에 해당하는 개체수인 300cell/mL, 1000cell/mL 을 중심으로 개체수를 변화하였다. 필터링 후의 해수와 *Cochlodinium* 이 있는 해수의 체적산란 패턴 변화뿐만 아니라 *Cochlodinium* 의 개체수 변화에 따른 산란 패턴의 변화를 볼 수 있었다.

### 1. 서 론

최근에 해양미세조류의 대발생(적조현상)은 전세계적으로 발생하여 양식산업, 해양환경, 인류건강, 관광 등에 심각하게 영향을 미치고 있는 전세계적인 문제이

다. 이러한 현상은 1970년대 초에 발생하여 점점 발생빈도, 기간, 적조생물농도 등이 증가하고 있는 추세이며, 최근에는 국내 전 해안에 퍼지고 있는 실정이다. 1990년대 상반기까지 한국연안에 출현한 적조는 시·공간적 변동이 다소 일정하여 특정기간에 특정 만이나 연안에 국한되었으나, 1995년 이후는 적조 발생 현상이 계절변화나 출현하는 공간의 제한성을 벗어나 수온분포 양상, 일사량, 영양염 분포 등에 따라서 패턴이 다양하게 변하는 경향을 보인다.

적조 발생에 대한 조기 발견과 단기간에 시·공간적 변동상황을 모니터링 할 수 있는 기술이 절실히 요구됨과 동시에 적조 발생 상황을 파악하기 위해서 물리, 화학, 생물학적 인자들과의 상관성 연구가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 초음파 수중음향센서를 사용하여 적조를 야기시키는 주요 적조생물인 *Cochlodinium polykrikoides* 음향학적 산란특성을 통해 앞으로 실시간 적조탐지체계(Real-Time Red Tides Monitoring System)를 구축하고 현장에서의 실시간 정성 및 정량 분석을 통한 정확한 적조예보를 목적으로 한다.

### 2. 이론적 배경

*Cochlodinium polykrikoides* 은 편조류로 길이는 30~40  $\mu\text{m}$ , 폭 20~30  $\mu\text{m}$  인 구형에 가까우며(그림 1) 주 발생시기는 여름철이다. 발생지역은 전해만, 경남 학림도 주변으로 100~ 10,000 cells/mL 나타낸다. 특징으로는 셀 표면에 점액질이 있어 군체를 형성하고 독성은 없지만 이 점액질이 어류 아가미에 붙어서 어류 폐사를 일으킨다. 적조주의보는 300cell/mL 이고 적조경보 1000cell/mL 이다.

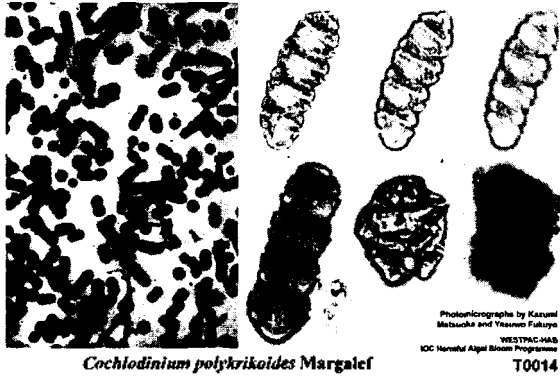


그림 1. *Cochlodinium polykrikoides*

과장보다 크기가 작은 즉, 음향학적으로 작은 비구형체는 같은 체적과 같은 평균 물리적 성질을 가진 실제 구와 같은 음파산란특성을 가진다.

그래서 Rayleigh 는 비공진구의 후방산란단면적을 계산하는 식을 유도하였다.

$$\frac{\sigma}{\pi a^2} = 4(ka)^4 \left( \frac{1-gh^2}{3gh^2} + \frac{1-g}{1+2g} \right)^2 \quad (1)$$

a : the radius of the sphere

g : the ratio of density of sphere to medium

h : the ratio of sound speed of sphere to medium

f : the frequency of the incident sound

k = 2 $\pi$  f / c (c: speed of sound in the medium)

이 산란모델은 주파수와 산란체의 반경의 함수이다. 후방산란단면적은 이 두 변수에 따라 변하며 각각 분리될 수 있다. 또한 크기를 알고 있는 단일종에 의한 음향산란이 우세할 때 각각의 평균 후방산란단면적은 같다. 적조생물 하나의 후방산란단면적의 합은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\langle \sigma_V(f, r) \rangle = N(r) \sigma(f, a_0) \quad (2)$$

음원으로부터 거리를 r, 단일주파수 f로 크기가 a인 산란체로 음파가 입사될 때 음파 산란이다. N@은 단위체적당 수치적인 양이다. < >표시는 움직이는 산란체의 집합에 의한 평균값이다.

$$S_V = 10 \log \left[ \frac{N(r) \sigma(f, a_0)}{4\pi} \right] \quad (3)$$

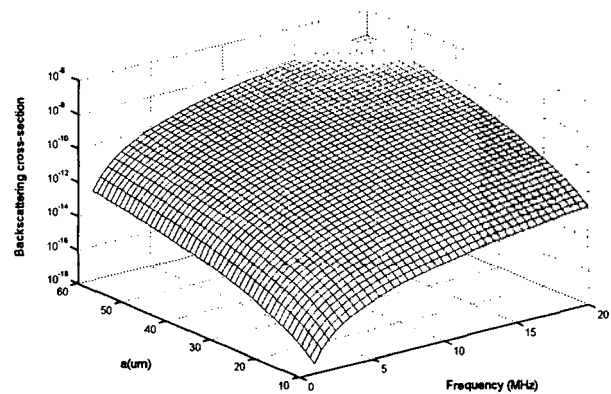


그림 2. Backscattering cross-section( $\text{m}^2$ ) for dinoflagellate culture vs equivalent sphere radius a( $\mu\text{m}$ ), and frequency f(MHz). Density and sound speed contrasts are g=1.040 and h=1.010 respectively

그림 2 는 주파수 f, 산란체의 반지름 a 에 따른 배양매질과 적조생물의 상대적인 밀도, 음속비를 추정하여 나타낸 후방산란 단면적이다. 그림에서 보면 크기가 큰 적조생물에 의한 후방산란이 상대적으로 크고, 또 이것은 식(1)과 같이 주파수의 네제곱에 비례한다.

### 3. 실험방법

#### 3.1. 배양

- species : *Cochlodinium polykrikoides*
- The equivalent spherical radius : 20 ~ 30  $\mu\text{m}$
- F/2 medium
- Light darkness cycle of 16:8 hours at 22 °C

적조생물 배양은 해수를 필터로 여과하여 고압멸균기로 멸균한 다음  $f/2$  배지를 만들어 초기농도 100cell/mL로 접종하였다. 광원으로는 형광등을 이용하였는데 명암주기는 16L:8D, 수온, 조도는 각각 22°C, 2200 lux로 하여 배양하였다.[3] 적조생물의 농도를 알기 위한 세포의 개수는 현미경을 이용한 정량분석방법을 사용하였다.

### 3.2. 옴향실험

- Pulser-Receiver (500PR, Panametrics)
- Oscilloscope (LT322, LeCroy)
- Preamplifier (5676, Panametrics)
- Transducer (A308S(5MHz), A315S(10MHz), Panametrics)

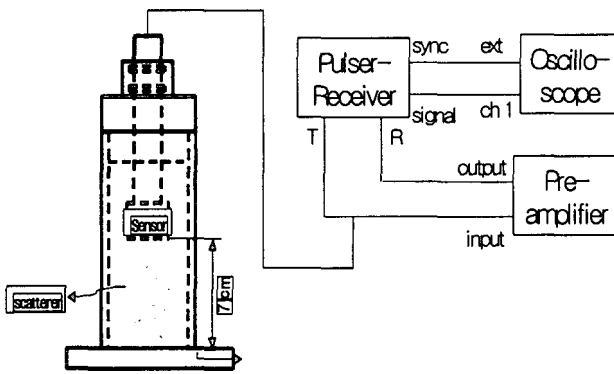


그림 3. 실험 모식도

실험실에서 배양한 *Cochlodinium*의 후방산란 신호는 Pulser-Receiver의 T단자에 연결된 Transducer에서 송신하고 같은 Transducer에서 수신한 후에 Pre-amplifier에서 증폭하여 Pulser-Receiver의 R단자를 거쳐 Oscilloscope상에서 데이터를 저장하여 획득하였다. Pulser-Receiver에서 고정된 4cycle의 정현파를 생성함에 따라 펄스의 길이는 5, 10 MHz가 각각 0.8 $\mu$ s, 0.4 $\mu$ s였다. 아크릴 재질의 지름 5cm, 길이 15cm의 수조에 200mL의 해수를 담아 *Cochlodinium*의 개체수를 변화하여 실험을 실시하였다.

### 4. 분석방법 및 결과

그림 3는 코클로디늄 산란신호를 받기 위한 수신신호 형태이다. Bottom의 경계에 의한 반사신호는 약 80

$\mu$ s에서 들어오고, 이 신호의 20  $\mu$ s에서 70  $\mu$ s사이에 수신된 신호의 부분은 체적 산란 현상에 의한 것으로 고려되었다.

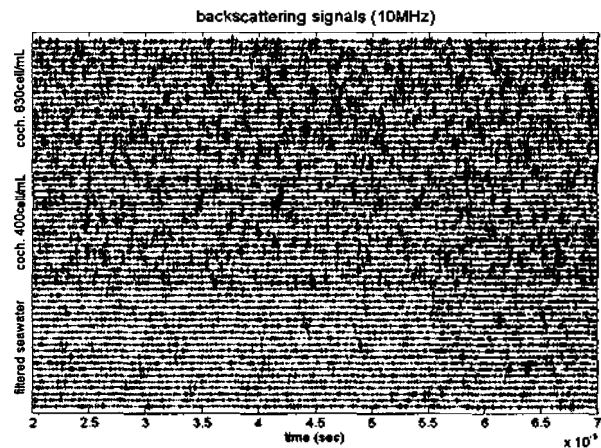


그림 4. 필터링한 해수와 *Cochlodinium*의 시계열 후방산란 신호 비교

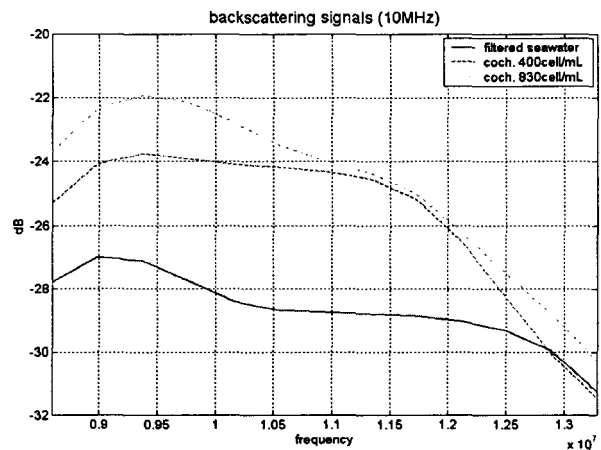


그림 5. 필터링한 해수와 *Cochlodinium*의 주파수계열 후방산란 신호 비교

그림 4는 필터링한 해수와 *Cochlodinium* 400cell/mL, 830cell/mL 밀도의 해수의 시계열 체적산란신호를 나타내고 있다. 각각 20ping의 경우로 적조를 발생하는 *Cochlodinium*이 해수 내에 존재할 경우와 그렇지 않을 경우의 산란패턴이 현저히 다르고, 또한 개체수의 변화에 따라서도 그 패턴이 다름을 알 수 있다. 그림 5은 그림 4의 경우를 주파수계열에서 본 것으로 10MHz의 주파수 대역에서 dB값의 차이가 필터링한

해수, 400cell/mL, 830cell/mL에서 각각 4dB, 1.5dB의 차이가 나타났다.

그림 6은 시계열과 주파수계열에서의 산란강도를 상대적으로 도식화한 것이다. 필터링한 해수, 400cell/mL, 830cell/mL로 갈수록 시간축을 따라 10MHz 대역에서 흰색의 분포가 증가함을 알 수 있다. 시간축 전체에 걸쳐 흰색이 분포한다는 것은 결국 매질 전체에 *Cochlodinium*이 random하게 분포하고 있음을 나타내는 것이다.

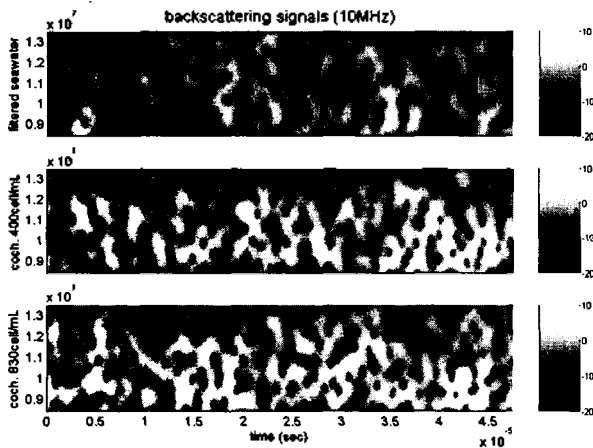


그림 6. 필터링한 해수와 *Cochlodinium*의 spectrogram

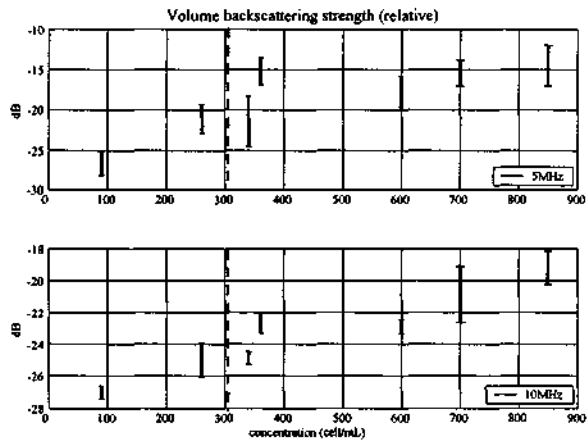


그림 7. *Cochlodinium*의 밀도별 후방산란강도 (상대적)

이러한 실험을 토대로 *Cochlodinium*의 개체수를 여러가지 밀도로 변화하여 실험한 결과 그림 7과 같이 나타났다. *Cochlodinium*의 개체수에 따른 상대적인 체적산란강도를 볼 수 있는데, 5MHz에서의 dB값이 10MHz에서의 경우보다 대략 3~5dB 높게 나타나는

경우는 5MHz와 10MHz의 beam angle의 차이에서 오는 insonified area의 차이에 의한 것이라 생각된다.

## 5. 결론

적조 발생의 초기 및 실시간 탐지 목적으로 적조 플랑크톤의 개체수 변화에 따른 체적후방산란 실험을 실시하였다. 필터링한 해수와 *Cochlodinium*이 존재하는 해수의 체적후방산란 패턴의 변화가 나타남을 알 수 있었다. 이러한 기초 연구를 토대로 그림 7에서 보여지는 적조 주의보에 해당하는 300cell/mL(점선)을 전후로 하는 밀도에서의 다양한 매질 내에서의 *Cochlodinium*의 후방산란강도를 구하고, 그와 아울러 개체수를 파악하기 위한 일련의 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 자연재해 방재기술개발사업 (M1032407001-04L0607-00111)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] C. F. Greenlaw, "Acoustical estimation of zooplankton populations," *Limnol. Oceanogr.*, **24**(2), 226-242, 1979.
- [2] S. Blanc, "Acoustical behaviour of phytoplanktonic algae," *Acoustics letters*, **23**(9), 175-182, 2000.
- [3] 이창규, 김형철, 이삼근, 정창수, 김학균, 임월애, "남해안 연안에서 적조생물, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*의 출현상황과 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장특성," *J. Korean Fish. Soc.* **34**(5), 536-544, 2001
- [4] H. Medwin and C. Clay, "Fundamentals of Acoustical Oceanography," Academic Press, 1998.