

## AVHRR과 Landsat TM 자료를 이용한 적조 패취 관측

정 종 철

남서울대학교 지리정보공학과

### Detection of Red Tide Patches using AVHRR and Landsat TM data

Jeong, Jong-Chul

Dep. of Geoinformatics Engineering, Namseoul University

#### Abstract

Detection of red tides by satellite remote sensing can be done either by detecting enhanced level of chlorophyll pigment or by detecting changes in the spectral composition of pixels. Using chlorophyll concentration, however, is not effective currently due to the facts: 1) Chlorophyll-a is a universal pigment of phytoplankton, and 2) no accurate algorithm for chlorophyll in case 2 water is available yet.

Here, red band algorithm, classification and PCA (Principal Component Analysis) techniques were applied for detecting patches of *Cochlodinium polykrikoides* red tides which occurred in Korean waters in 1995. This dinoflagellate species appears dark red due to the characteristic pigments absorbing lights in the blue and green wavelength most effectively. In the satellite image, the brightness of red tide pixels in all the three visible bands were low making the detection difficult.

Red band algorithm is not good for detecting the red tide because of reflectance of suspended sediments. For supervised classification, selecting training area was difficult, while unsupervised classification was not effective in delineating the patches from surrounding pixels. On the other hand, PCA gave a good qualitative discrimination on the distribution compared with actual observation.

Keyword: Landsat TM, AVHRR, Red Tide, PCA, Remote Sensing

#### I. 서 론

최근에 연안환경문제 중 적조발생의 문제는 매

년 심각한 피해를 유발하고 있어서 국내에서 깊은 관심의 대상이 되고 있다. 또한, 지난 1995년의 경우는 *Cochlodinium polykrikoides*에 의한 유해성

적조가 남해안 전역에 광범위하게 발생하여 약 764억 원의 피해를 입힌 바 있다(국립수산진흥원, 1997). 하지만, 이러한 적조피해의 성격이 공간적으로 넓은 범위에 시간적으로 단기간에 걸쳐 발생하는 특징으로 인해 피해범위의 명확한 추정이나, 적조 패취의 발달정도에 관한 연구에는 많은 어려움이 있다.

특히, 선박에 의한 조사는 적조의 공간적인 확산범위를 파악하는데 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 정확한 피해범위와 확산경로를 예측하기에는 부적합하다고 판단된다. 때문에 인공위성 자료의 분석에 의한 원격탐사기법은 정확한 공간적 피해 범위의 추정이나 적조 패취의 발달을 분석하기에 적합하다고 판단되나 국내에서는 아직 이에 관한 연구가 미약한 형편이다.

따라서, 본 연구에서는 인공위성 원격탐사 자료인 NOAA/AVHRR과 Landsat-5 TM을 이용하여 공간해상력과 분광해상력 그리고 자료의 획득 주기 등이 다른 두 위성자료에 의한 적조관측의 가능성을 평가하였다.

특히, Landsat-5 TM은 육상의 식생분석에 적합한 위성자료이나 국지적인 범위의 분석을 위해서는 AVHRR이나 CZCS의 분석에 비해 보다 유리한 공간해상력을 가지고 있어서 본 연구의 분석에 이용되었다. 또한, 각각의 위성자료 특성을 이용한 적조 패취의 분석 알고리즘을 비교하고, 국내에서 발생한 남해 적조 패취의 공간적인 분포를 위성영상 자료의 해석으로 지도화하여 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

## II. 연구방법 및 범위

남해안에서 적조가 발생하여 대량의 피해를 유발한 시점인 1995년 8월부터 10월까지의 Landsat-5 TM(Path-Row : 114-036) 위성영상을 검색하여 8월 16일과 10월 3일의 위성자료를 이용하였으며, 분류기법에 의해 패취의 공간적인

분포를 찾아내기 위해 무감독분류를 실시하였고, 주성분분석(Principal Component Analysis)에 의해 *Cochlodinium* 패취를 분석하였다.

Landsat-5 TM(Path-Row : 114-036)의 검색결과를 바탕으로 동일한 시점의 AVHRR 자료를 획득하여 이를 적색(Red Band) 알고리즘에 의해 적조의 분포를 관측하였다.

연구의 공간적인 범위는 그림 1과 같다. 본 연구의 목적을 달성하기 위해 적용한 방법과 사용된 자료의 분석을 위한 연구의 흐름도는 그림 2에 제시하였다. 먼저 적조관측에 적합한 알고리즘과 분석방법을 고찰하고, 적용 가능한 위성자료를 검색하였다.

기하보정과 대기보정의 전처리과정을 통하여 적색밴드 알고리즘, 무감독분류, PCA분석을 실시하였다. 각각의 방법에서 얻어진 결과를 현장에서 관측된 적조분포도와 비교하여 분석의 결과를 평가하였다.

또한, 적조를 관측하는데 용이한 관측위성의 특성을 비교할 수 있는데, Landsat TM은 공간해상력과 분광해상력이 AVHRR에 비하여 적조관

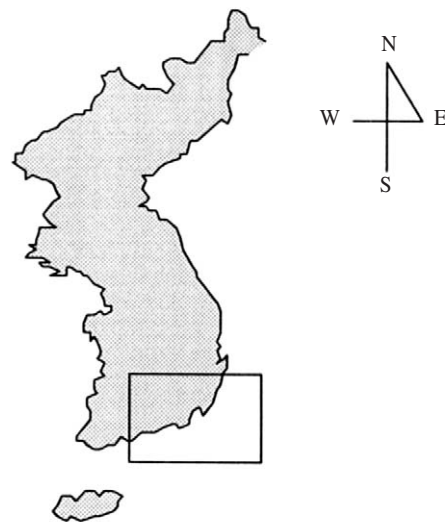


Fig. 1. Study area

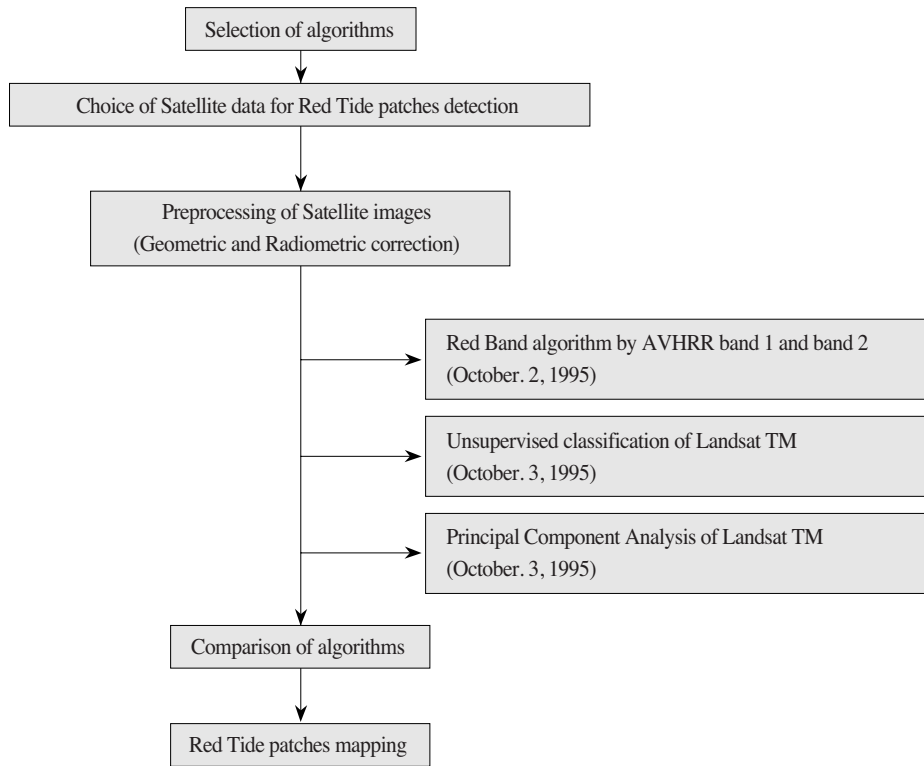


Fig. 2. Flow chart of this research

측에 유리한 반면에 16일의 반복주기에 의해 연속적인 관측이 어렵다. 하지만, TM에 비해 넓은 공간 분포의 자료 획득이 가능하므로 남해연안에서 발생하는 적조의 동시관측이 가능하다.

본 연구에서 적용한 위성영상의 분석방법은 적색밴드 알고리즘, 무감독분류, PCA분석 방법의 3가지 방법을 적용하였고, 이들의 영상분석 결과를 동일시점의 현장관측자료와 비교하였다.

## 1. 적색밴드 알고리즘

Stumpf and Tyler(1988)는 AVHRR과 CZCS 위성자료의 간단한 대기보정과 적색밴드의 활용으로 1981년과 1982년 봄에 Chesapeake Bay에서 조류(algae)의 번성을 공간적으로 분석하였다. 또한,

Gower(1994)는 캐나다 서부연안의 적조관측을 위해 AVHRR 자료를 이용하였으며, 레드밴드비율에 의한 적조관측 방법을 제시하였다.

공간해상력과 분광해상력이 다른 위성자료를 이용하여 조류의 대량번식을 분석한 연구로 Tassan(1993)은 Landsat TM과 AVHRR을 이용하여 Adriatic 연안의 White-Tide를 분석하여 Mucilage의 분포를 비교적 단순한 밴드비율 알고리즘을 이용하여 분석하였다.

AVHRR의 경우 분광해상력에 있어서 가시영역에 하나의 밴드만을 가지고 있고, 공간해상력이 TM에 비해 낮아 적조의 공간적인 분포를 파악하는데 제약이 있지만, 매일 관측이 가능하고, 광범위한 지역의 동시관측이 가능하여 AVHRR을 이용한 많은 연구가 있었다.

특히, 적색밴드를 이용한 알고리즘은 대기효과를 제거하여 해양에서 적조의 분포를 파악하는 방법으로 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} L1 &= t1 Lw1 + L1a \\ L2 &= t2 Lw2 + L2a \\ L1 - L2 * A &= t1 Lw1 + (L1a - A L2a) \\ &= t1 Lw1 \text{ (if } A = L1a / L2a) \end{aligned} \quad (\text{식 1})$$

여기서, 근적외선은 수표면에서 대부분 흡수되므로  $t2 L2w = 0$  으로 가정한다. L1과 L2는 AVHRR의 밴드 1과 밴드 2에서 받은 신호값이고, Lw는 물에서 올라오는(water leaving radiance) 신호값이다. t는 대기에서의 투과도를 나타낸다.

결국, 근적외선인 밴드 2에서 올라오는 신호값이 0 이라는 가정과 대기투과도를 안다면 밴드 1의 신호값에 의해 적조의 분포를 파악할 수 있다. 하지만, 0.58 - 0.68  $\mu\text{m}$ 의 적색 밴드역과 0.72 - 1.10  $\mu\text{m}$ 의 근적외선 밴드역에 의한 적색밴드 알고리즘은 대기보정 과정에서 0 - 30 % 정도의 잠재적인 오차를 가지고 있다(Stumpf and Tyler, 1988). 이는 연안의 부유물질에 의한 대기보정의 오차로써 정량적인 적조생물의 분석에는 적합하지 못하지만 적조의 공간적 분포를 파악하는 것이 가능하다. 특히, 반사도(reflectance)가 0.01에서 0.07 사이의 연안지역에 대한 적조를 구분하여 5  $\mu\text{g/L}$  이상의 클로로필 농도를 추정하는 것이 가능하다.

## 2. 무감독분류

무감독분류는 훈련지역의 정보를 포함하지 않은 영상신호의 값들을 통하여 획득된 영상신호를 분류하는 방법으로 클러스터의 수를 지정하여 임의의 클러스터 중심에서 최적값의 분포를 찾을 때까지 반복시행을 통해 화소를 분류한다.

분류된 각 클러스터를 현장자료와 비교하여 분류하고자하는 화소의 분포를 파악한다. 본 연구와 같이 적조의 분포지역을 사전에 알 수 없다고 가정하고 영상신호만을 가지고 적조의 분포범위를 파악하거나 적조폐취의 형태를 파악하기 위해서 무감독분류를 적용하였고, 육상의 영상신호를 포함하여 6개의 클러스터로 분류하도록 하였다.

## 3. PCA분석 방법

PCA분석은 위성자료의 분류기법으로 연구되어왔다. Richards(1984)는 Landsat MSS를 이용하여 PCA분석에 의한 토지피복 변화를 추출하였고, Picchiotti *et al*(1997)은 여러시점의 Landsat TM 영상을 이용하여 베니스 라군(Venice lagoon)의 공간적 분석을 하였다. Ceballos and Bottino (1997)는 클러스터링 방법으로, Hinton(1991)은 연안 해역의 수질을 분석하는데 적용하여 위성영상 분석에 이용하였다.

Landsat-5 TM의 경우 가시영역의 파장인 밴드 1, 2, 3은 높은 상관성을 지니고 있으며, 적외선 파장대인 밴드 5, 6 또한 높은 상관성을 지닌다. 때문에 위성자료의 분석에 있어서 각 화소값은 다른 회전축의 방향으로 자료를 재배치함으로써 높은 영상자료 분석능력을 보여준다.

본 연구에서는 획득된 영상자료를 분석지역에 한하여 대기보정 방법에 하나인 Bulk Correction을 실시하고, 가시영역의 밴드 1, 2, 3을 R, G, B 합성하여 위색영상(False color composite)을 만들었다. 위색영상을 통해 구름, 에어로졸, 나대지(도시 지역), 산림, 바다, 하천지역의 위치를 파악하고, 50개의 샘플지역을 선정하였다. 적조 분석은 연구 대상지역의 밴드 1, 2, 3을 PCA 분석하여 각각의 성분에 의한 이미지를 만들었다. 또한, 50개 샘플 지역의 화소값에 의한 PCA분석을 실시하여 각 분류군의 화소값들이 갖는 PCA결과를 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 적색밴드 알고리즘

1995년 10월 2일의 AVHRR 자료에 의해 분석된 남해 적조의 분포범위를 그림 3에 제시하였다. 육상부에 나타난 파란색 분포는 구름을 나타내고 있으며, 파란색에서 적색으로 갈수록 적조의 농도가 높은 지역으로 해석된다. 하지만 그림 3의 결과는 적조발생 당시 현장에서 조사된 적조발생 범위의 분포도와 비교할 때 적색밴드 알고리즘에 의한 분석결과가 현장조사에 의한 적조분포보다 넓은 분포영역을 나타내고 있다. 이는 근적외선 밴드의  $t2 L2w = 0$  으로 가정한 경우 부유사 농도가 높은 지역은 부유사에 의한 반사치가 영상 신호에 반영되어 적조분포 범위로 분석되는 결과를 나타내기 때문이다. 결국, 부유사 농도가 높은 연안지역의 적조 분포관측을 위해서는 부유사의 반사치에 대한 영향을 제거할 수 있는 방법이 제안되어야 한다.

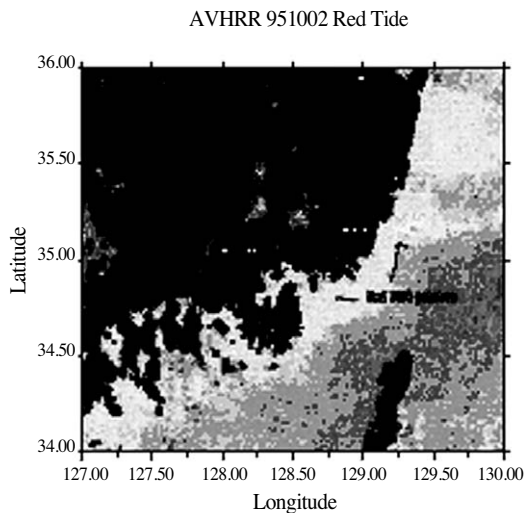


Fig. 3. Distribution of Red Tide using Red band algorithm with AVHRR data(Oct, 2. 1995)

#### 2. 무감독분류

무감독분류는 감독분류와 같이 적조의 분포를 파악하기 위한 훈련지역의 선정이 요구되지 않기 때문에 취득된 영상의 분류만으로 적조의 분포를 파악하는 방법이 된다. 하지만, 그림 4와 같이 무감독분류에 의한 TM자료의 분석은 클러스터의 수에 관계없이 명확한 적조의 분포범위를 제시하지 못하고 있다.

#### 3. PCA분석

그림 5는 PCA 분석에 의한 성분 이미지를 제 1 성분, 제 2 성분, 제 3 성분에 각각 B, G, R 합성한 위색영상이다. 각 성분에 의한 합성된 이미지에서 Cyan은 구름을 나타내고 Blue는 나대지(도시지역)를 나타낸다. 또한 Magenta와 Red는 육지와 삼림을 나타내고, 바다는 Green으로 나타나고 있다. 진동만, 마산만, 진해만 지역과 남해 사랑도 지역의 Cyan은 에어로졸을 나타낸다. 본 연구에서 분석된 *Cochlodinium*의 패취는 거제도 우측과 부산지역에 걸쳐 나타나고 있으며, 형태

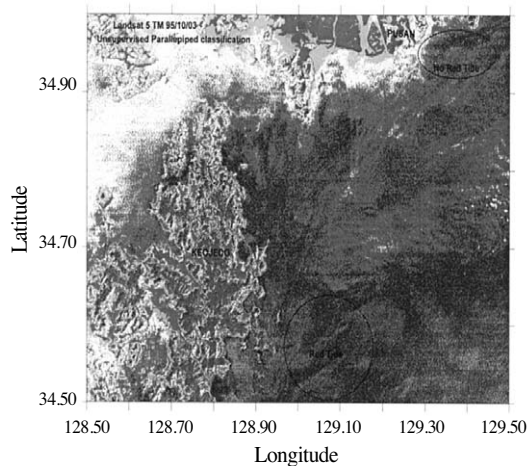


Fig. 4. Distribution of Red Tide using unsupervised parallelepiped classification with Landsat TM data(Oct, 3. 1995)

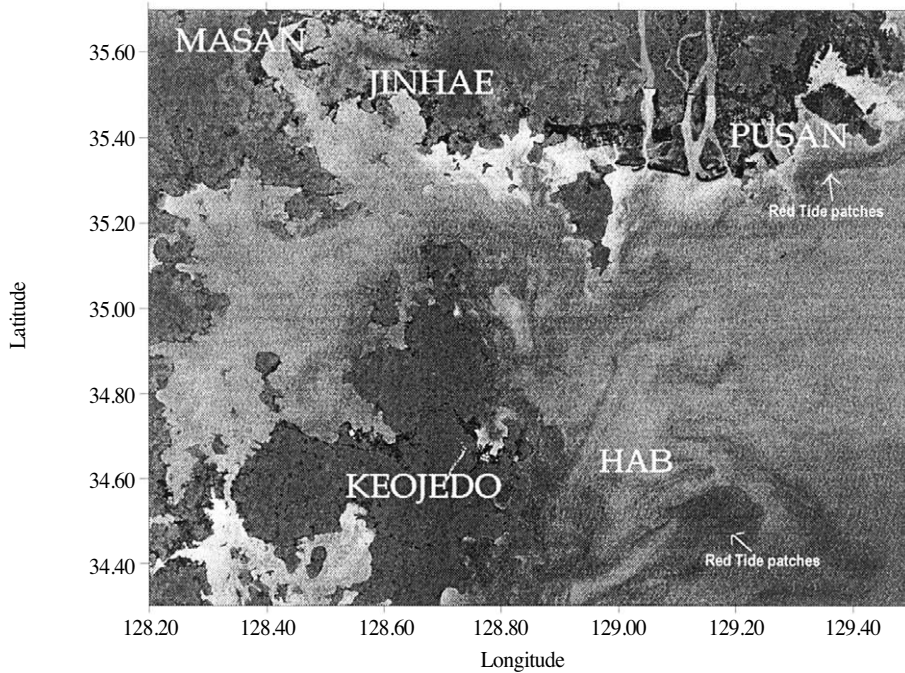


Fig. 5. Distribution of Red Tide using PCA method with Landsat TM data(Oct, 2. 1995)

는 부산 앞바다에서 피상의 *Cochlodinium* 패취가 나타나고 있다. 그림 6은 남해수산연구소에서 현장조사된 적조발생지역을 나타낸 것으로 본 연구

의 *Cochlodinium* 추출 결과와 동일한 분포상태를 보여주고 있다.

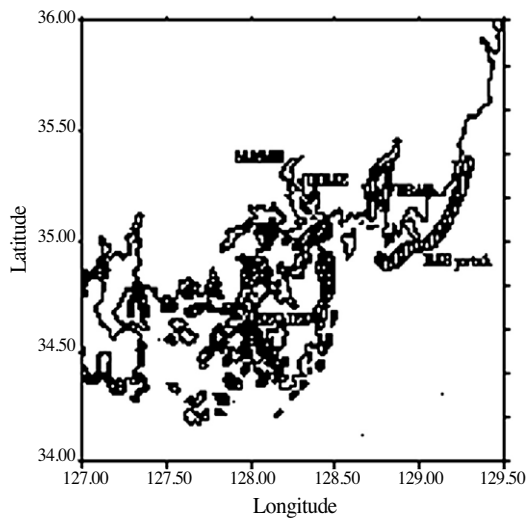


Fig. 6. Distribution of Red Tide by field survey(1995.10.2-3)

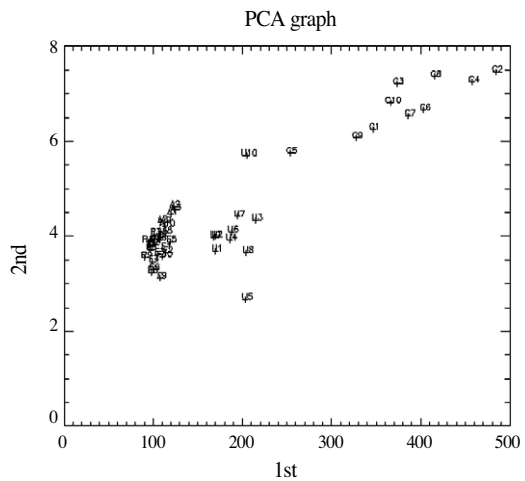


Fig. 7. Relationship between principal component 1 and principal component 2 in the 50 sample pixels using Landsat TM data

연안해역에서 발생한 *Cochlodinium*의 패취추출을 위해 적용한 PCA 분석의 샘플지역 분류에 따른 영상신호의 분포 경향을 살펴보았다. 그림 7은 Landsat-5 TM의 DN(Digital Number)를 분석대상 50지역에서 샘플 추출하여 PCA분석한 결과를 제시한 것이다. R은 적조발생지역의 픽셀분포이며, F는 식생지역, U는 도심 또는 나대지역, C는 구름이 분포한 지역의 픽셀분포를 제 1 주성분과 제 2 주성분의 값에 의해 제시하였다.

제 1 주성분에 의한 구분은 구름, 도시지역, 식생지역을 명확히 구분하고 있으나, 식생과 적조 발생지역을 구분하지는 못하고 있다. 반면에 제 2 주성분에 의해 *Cochlodinium*의 블루와 그린영역의 흡수특성이 식생지역과 적조발생지역을 구분하고 있다.

본 연구의 50개 샘플지역에서 추출된 DN의 PCA결과를 통해 연안해역에서 적조분포를 분석할 수 있음을 알았다. 또한, PCA 분석결과는 표 1과 같이 제 1 성분에 의한 설명력이 전체의 96%를 차지함으로써 50개 샘플지역의 분류를 제 1 성분에 의해 잘 나타내고 있다.

Table 1. PCA results of Landsat TM (1995.10.3)

	Comp 1	Comp 2	Comp 3
Eigenvalue	2.882	0.116	0.001
Variance	0.960	0.038	0.0005

#### IV. 결 론

식물플랑크톤은 종류에 따라 반사도가 다르며 종에 따라 밝은(“bright pixels”) 화소로(Gower, 1994) 나타나지만, *Cochlodinium*같이 가시영역 전체에서 어둡게 나타나는 적조의 감지는 PCA가 효과적이다.

일반적으로 위성영상 신호는 많은 잡음(noise)을 가지고 있다. 특히, 수체에서 올라오는 신호는 80 - 90%의 잡음을 가지고 있는데, 연안해역에서

발생하는 *Cochlodinium*의 경우 이러한 잡음의 영향을 분류기법에 의해 제거하고, 패취를 추출하는데는 문제가 있다. 감독분류의 경우 혼란지역을 선정하기 어렵고, 무감독분류의 경우 각 밴드의 높은 상관으로 인해 분류에 많은 오차가 발생한다. 하지만, PCA 분석은 수체에서 올라오는 미약한 영상신호를 새로운 회전축에 의해 구분해냄으로서 패취 분포를 파악할 수 있었다.

연안해역에서 *Cochlodinium*의 경우 Blue와 Green 영역의 파장을 잘 흡수하기 때문에 적색을 나타낸다.

TM의 밴드 1(450-520nm), 2(520-600nm), 3(630-690nm)은 이러한 파장분포를 가시영역에서 구분하여 영상신호를 얻기 때문에 밴드 1, 2, 3의 높은 상관에도 PCA분석에 의해 패취의 형태적 특성과 분포범위가 파악되었다. 하지만, 남해수산 연구소에서 조사된 적조의 분포범위를 볼 때 진동만과 사랑도 부근의 *Cochlodinium*은 영상에서 추출하지 못하고 있는데 이는 에어로졸의 영향으로 수체에서 올라오는 신호가 대기의 잡음으로 영향을 받기 때문이다. 또, 연안해역의 경우 부유사가 높은 농도로 존재할 경우 수체내에서 부유사의 반사도에 의한 잡음으로 적조패취의 추출이 어렵다.

본 연구의 결과를 통해 연안해역에서 발생하는 적조의 공간적 분포 형태와 범위가 파악되었는데, 이는 적조뿐만 아니라 Tassan(1993)에 의한 white-tide(Mucilage)와 같은 연안해역 적조 분포와 확산범위 추적에 Landsat TM의 적용가능성을 보여주는 것이다.

#### 참고문헌

1. 국립수산진흥원, 1997, 1995년 남해안 적조발생현황, 19.
2. 국립수산진흥원, 1997, 한국연안의 적조-최근 적조의 발생원인과 대책, 7-27.

3. Ceballos, J. C. and Bottino, M. J., 1997, The discrimination of scenes by principal components analysis of multi-spectral imagery, *Int. J. Remote Sensing*, 18 (11): 2437-2449.
4. Gower, J. F., 1994, Red tide monitoring using AVHRR HRPT imagery from a Local Reserver, *Remote sensing of Environment* 48: 54-62.
5. Hinton, J. C., 1991, Application of eigenvector analysis to remote sensing of coastal water quality, *Int. J. Remote Sensing*, 12 (7): 1441-1460.
6. Jensen, J. R., 1986, Introductory digital image processing, 151-157.
7. Picchiotti, A., 1997, Multitemporal principal component analysis of spectral and spatial features of Venice Lagoon, *Int. J. Remote Sensing*, 18(1): 183-196.
8. Richards, J. A., 1984, Thematic Mapping from multitemporal image data using the principal components transfoemation, *Remote Sensing of Environment* 16: 35-46.
9. Ribed, P. S., and Lopez, A. M., 1995, Monitoring burnt areas by principal components analysis of multit-temporal TM data, *Int. J. Remote Sensing*, 16(9): 1577-1587.
10. Stumpf, R. P., Tyler, M. A., 1988, Satellite detection of bloom and pigment distributions in Estuaries, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 24, 385-404.
11. Tassan, S., 1993, An algorithm for the detection of the white-tide(Mucilage) phenomenon in the Adriatic Sea using AVHRR data, *Remote Sens. Environ.*, 45: 29-42.