

## 고해상도 위성 영상을 이용한 조류로의 프랙털 분석

엄진아\* · 이윤경\* · 유주형\*\* · 원중선\*†

\*연세대학교 지구시스템과학과, \*\*한국해양연구원

### Fractal Analysis of Tidal Channel using High Resolution Satellite Image

Jin-Ah Eom\*, Yoon-Kyung Lee\*, Joo-Hyung Ryu\*\*, and Joong-Sun Won\*†

\*Department of Earth System Sciences, Yonsei University

\*\*Ocean Satellite Research Group, Korea Ocean Research & Development Institute

**Abstract :** Tidal channel development is influenced by sediment type, grain size, composition and tidal current. Tidal channels are usually characterized by channel formation, density and shape. Quantitative analysis of tidal channels using remotely sensed data have rarely been studied. The objective of this study is to quantify tidal channels in terms of fractal dimension and compare different inter-tidal channel patterns and compare with DEM (Digital Elevation Model). For the fractal analysis, we used box counting method which had been successfully applied to streams, coastlines and others linear features. For a study, the southern part of Ganghwado tidal flats was selected which know for high dynamics of tidal currents and vast tidal flats. This area has different widths and lengths of tidal channels. IKONOS was used for extracting tidal channels, and the box counting method was applied to obtain fractal dimensions ( $D$ ) for each tidal channel.

Yeochari area where channels showed less dense development and low DEM had low fractal dimension near 1.00~1.20. Area (near Donggumdo and Yeongjongdo) of dendritic channel pattern and high DEM resulted in high fractal dimension near 1.20~1.35.

The difference of fractal dimensions according to channel development in tidal flats is relatively large enough to use as an index for tidal channel classification. Therefore we could conclude that fractal dimension, channel development and DEM in tidal channel has high correlation. Using fractal dimension, channel development and DEM, it would be possible to quantify the tidal channel development in association with surface characteristics.

**Key Words :** Fractal, Box counting Method, Ganghwa-do, Tidal channel.

**요약 :** 조간대의 조류로 발달은 조간대 퇴적물 종류, 입도, 조성 및 조류의 세기 등에 많은 영향을 받는다. 조류로의 발달 특성, 밀도, 형태 등은 조간대의 특징을 분석하는데 활용될 수 있다. 그러나 조류로에 대한 정량적 분석은 시도되지 못하고 있다. 따라서 이번 연구의 목적은 고해상도 위성 영상 자료를 이용하여 조류로에 대한 프랙털 차원 결과와 조류로 발달에 영향을 주는 지형(DEM: Digital Elevation Model)을 비교·분석 하는 것이다. 이번 연구에서는 프랙털 분석 중에서 하천, 해안 등 선형의 특징에 많은 적용을 하는

box counting 방법을 이용하였다. 연구 지역은 조차가 심한 강화도 남단의 조간대이다. 연구 방법은 IKONOS 영상으로부터 조류로를 추출한 뒤 프랙털 차원을 구하였다. 그 결과 프랙털 차원은 약 1.0~1.35 정도의 결과 값을 얻었다. 지형이 낮으며 채널의 발달이 미비한 지역(강화도 남단 여차리 부근)에서는 프랙털 차원이 약 1.0~1.2 정도의 낮은 값을 가지는데 반하여 지형이 높고 채널 발달이 수지상으로 잘 발달된 지역(영종도 북단)의 프랙털 차원은 약 1.20~1.35 정도의 높은 값을 가진다.

이 분석으로부터 프랙털 분석으로 인하여 조류로의 정량적 분류가 가능하며 지역의 지형에 따라서 조류로의 발달 형태가 달라 프랙털 차원 값이 다르다는 결론을 얻었다.

## 1. 서론

한국 서해안은 대조차 환경으로서 외해와 직접 연결되는 넓은 조간대가 형성되어 있다. 조간대 내의 조류로는 수평방향으로 해수가 이동하기 때문에 조류로가 매우 복잡하게 발달하게 된다(유주형 등, 2004). 이러한 조류로의 발달에 영향을 미치는 요인으로는 조류나 조석, 조간대 내의 퇴적물 등이 있다. 따라서 조류로의 발달 특성, 밀도, 입도, 형태 등은 조간대의 특징을 분석하는데 활용될 수 있다. 조간대 조류로에 영향을 미치는 요소 중 하나는 표층 퇴적물의 분포로서 일반적으로 사질이 우세한 지역에서는 퇴적 및 침식 작용이 활발히 일어나며, 니질이 우세한 지역은 퇴적환경의 변화가 적다(장진호, 1995).

이러한 지형학의 특징을 묘사하고 정량화 하기 위해서는 프랙털 모델을 많이 사용하게 된다. 프랙털이란 Mandelbrot (1967)에 의해 자연계와 같이 불규칙적인 기하형태를 정의하기 위해 도입된 개념이다. 처음으로 Richardson (1961), Mandelbrot (1967) 등이 해안선 등에 프랙털 방법을 적용하여 연구하였다. Angeles *et al.* (2004)는 box counting 방법과 contiguity 방법으로 총 9개의 조류로에 대하여 프랙털 분석을 한 결과 모든 조류로의 프랙털(D) 값은 1 근처의 값을 가지며 자기 유사성의 프랙털 특징을 가지는 것을 알 수 있었다. 하지만, 이 프랙털 값은 조류로 분석 방법 중에서 meandering pattern의 복잡한 특성을 보여주는 못한다. Cleveringa *et al.* (1999)는 Dutch Wadden Sea의 총 6개 조류로 시스템에 대하여 프랙털 분석과 Horton 분석을 수행하여 조류로가 모두 유사한 패턴을 가진다는 결론을 얻었다. 특히 Box counting 방법으로 프랙털 차원을 구한 결과 약 1.35~1.43의 값을 제안하였다. Carr *et al.* (1991)은 영국과 오스트리아 등 여러

지역의 해안선을 분석한 결과 1.1~1.3 정도의 프랙털 차원 값을 제시하였다. 현재 프랙털 이론은 단층 분석, 조석수로 분포, 하천 유역의 분석 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

국내에서도 프랙털이 단층, 절리 분석(최한우, 장태우, 1999; 신정환, 장태우, 2001) 등에 많은 연구가 이루어지고 있다. 권순진(2005)은 지질공학적인 지구조구의 2차원적 불연속면 특성을 박스 프랙털을 적용하여 나타내었다. 또한 프랙털과 암반 관계에 대한 연구로는 절리망 분포 해석 연구(선우춘, 1989), 한반도에 발달하는 선 구조에 대해 프랙털 차원 선정(박경우, 2004) 등이 있다. 하지만 국내에서는 조류로에 대한 정량적 분류에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이번 연구의 목적은 고해상도 위성 영상 자료를 이용하여 조류로에 대한 프랙털 차원 결과와 조류로 발달에 영향을 주는 지형(DEM: Digital Elevation Model)과 비교·분석하는 것이다. 이러한 분석을 함으로써 조류로의 발달 양상에 따른 지형과 프랙털 차원 값의 비교를 통하여 조류로의 발달 양상을 정량적으로 표현하기 위한 초석을 마련하고자 한다. 이번 연구를 기초로 하여 추후 조류로의 발달에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 입도자료, 함수율, 지형, 조류로의 길이 및 폭 등과 같은 여러 요인들의 상호관계의 분석을 통하여 조류로의 발달양상의 특성을 종합적으로 알아보려고 한다.

## 2. 연구지역 및 방법

한반도의 서해는 조차가 심해 넓은 조간대가 형성된다. 이 중에서 연구지역은 강화도 남단 조간대이다(Fig. 1). 특히, 강화도는 경기만 북부에 위치한 섬으로서 강화도 동부에는 염하수로가, 서부에는 석모수로가 있다. 강

화도 남단 갯벌은 서해로 유입되는 한강의 지류와 본류의 영향을 동시에 받으며, 염하수로와 석모수로에서 유입되는 담수와 조석에 따른 해수의 혼합으로 염분도의 뚜렷한 구배를 나타낸다. 이 갯벌에는 모래, 펄, 혼합갯벌 등 다양한 종류의 갯벌이 존재하며, 이러한 종류의 갯벌들은 서로 다른 수리적, 화학적, 퇴적학적 요인들이 서로 다르게 작용한다. 해수의 조석은 전형적인 일일 2주기로 년중 25회의 고고조와 저고조의 반복이 뚜렷하고, 월간 변화는 7월을 제외하고는 전 기간에 걸쳐 조금과 사리의 부등현상이 뚜렷하다(우한준, 제종길, 2002).

Fig. 1은 연구지역인 강화도 남단 조간대의 IKONOS 영상이다. 세부적인 연구지역은 조류로의 양상이 서로 다른 두 지역으로서 연구지역 1은 여차리 부근의 조류로

지선이 단순한 지역이며 연구지역 2는 영종도 북단의 조류로 지선이 복잡한 지역으로 두 지역의 조류로가 차이가 나는 것을 확인 할 수 있다(Fig. 2). Fig. 2\_A는 여차리 부근의 조류로이며 직선의 형태를 나타내며 Fig. 2-B는 영종도 북단의 조류로로 수지상으로 나타난다. 이런 조류로에 대한 정량적인 분석을 위하여 프랙털 분석 방법을 적용하였다.

연구 방법인 프랙털 분석 방법에는 divide 방법, box counting 방법 등 많은 방법이 있다. 특히, 이번 연구에서는 프랙털 분석 방법 중에서 하천, 해안선 등 선형의 특징을 가지는 지역에 적용이 가능한 box counting 방법을 이용하여 분석을 하였다. 다음과 같은 방법으로 프랙털 차원을 구할 수 있다(Rodriguez, I. I., Rinaldo, A., 1997).

- 우선 연구하고자 하는 연구지역에 맞게 전체 조사창을 만든다.
- 이 조사창을 한 변의 길이 S인 정사각형의 사각 요소로 분할을 한다. 그리고 분할 한 조사창을 연구지역에 겹쳐 올린 후 연구 지역의 선을 포함하고 있는 사각 요소의 개수를 센다.
- 한 변의 길이 S인 정사각형의 크기를 각각 다르게 하여 연구지역의 선을 포함하는 사각요소의 수를 센다.
- 이 방법을 반복하여서 사각 요소의 한 변의 길이(S)와 선을 포함하는 사각 요소의 개수를 이용하여 log-log 그래프를 그린다. 이것을 선형 회귀분석을 통해 선형성을 확인하면 프랙털 차원을 구할 수 있다.

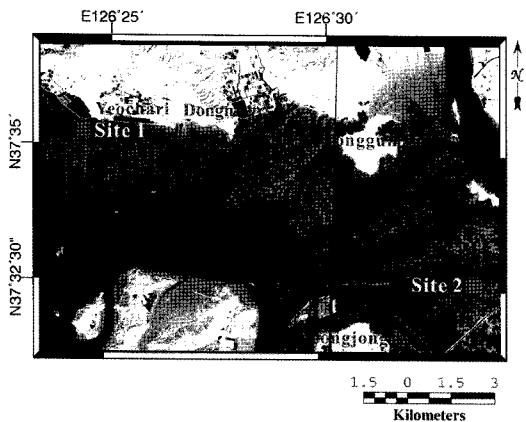


Fig. 1. IKONOS image of the southern part of the Ganghwa-Do. Intertidal channels are delineated by blue lines and the red squares denote sub-areas for fractal dimension estimation and comparison.

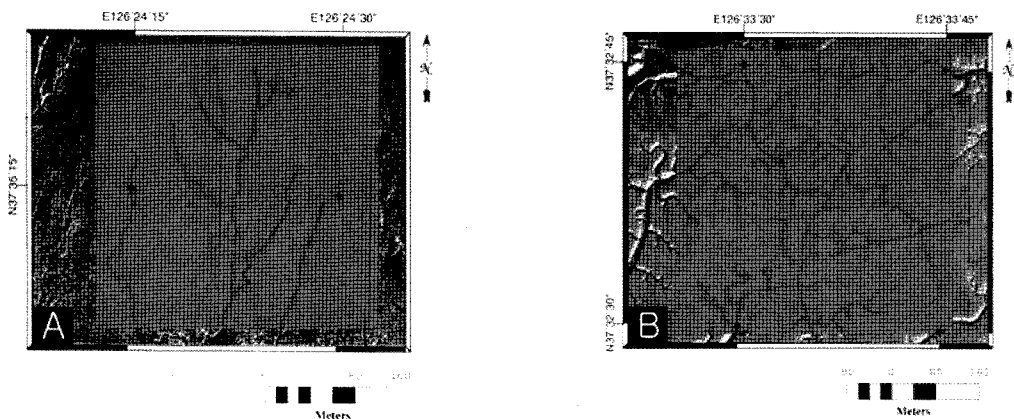


Fig. 2. Two sites of different intertidal channel patterns: (a) Linear pattern and less dense channel development in the southern Yeochari(site1), and (b) dendritic pattern and dense channel development in the northern Yeongjongdo(site2).

### 3. 연구자료

이번 연구에서는 강화도 남단 조간대의 조류로 추출을 위해 고해상도 위성 영상인 IKONOS 위성 영상을 이용하였다. IKONOS 위성은 1999년 4월 27일에 처음 발사하였으나 실패하였다. 이후 1999년 9월 24일에 발사하였으며 1m의 전정색 밴드(panchromatic)와 4m 해상도를 가지는 가시광선과 근적외선 사이의 다중 분광(multispectral)의 4개 밴드를 가지고 있다. 이 연구에서는 1m 해상도를 가지는 IKONOS의 전정색 영상과 4m의 다중분광 4개 밴드 영상을 영상 선명화(image sharpening) 방법을 이용하여 1m의 해상도를 가지는 다중분광 영상으로 변환하였다. 이 방법은 공간해상도가 낮고 분광해상도가 좋은 영상과 공간해상도가 높고 분광해상도가 낮은 영상을 가지고서 공간해상도와 분광해상도를 모두 높이는 방법이다.

이렇게 변환한 영상으로부터 조류로를 추출하였다. 조류로 추출 방법은 일반적으로 해안선 추출에 사용되는 Frazier, P.S.와 Page, K.J. (2000)가 제안한 density slicing 방법을 사용하여 추출하였다. Density slicing 방법은 물과 조간대의 경계를 이루는 DN값(threshold value: 역가)을 찾아내어 해안선을 추출하는 방법(Ryu *et al.*, 2002)으로서 조간대의 조류로 역시 물과 조간대의 경계이기 때문에 이 방법을 이용하여 추출하였다. Density slicing 방법을 적용하기 위하여 이번 연구에서는 상용소프트웨어인 ER-mapper를 이용하여 히스토그램을 조절하여 물과 조간대의 경계 DN 값을 찾아낸 후 이를 기준으로 벡터를 생성하였다. 조류로 프랙탈맵 생성은 전체 연구지역인 강화도 지역을 전체 조사창을 100m by 100m의 크기로 하여서 이동 평균(moving average) 방법으로 각 픽셀마다 프랙탈 차원을 구하였다.

IKONOS 영상은 2001년 3월 28일에 획득한 영상이다. IKONOS 영상이 획득된 시점의 조위는 인천 검조소에서 측정한 결과 약 368cm이다.

획득된 조류로 프랙탈 맵에 대한 지형적인 특성을 보기 위하여 조위가 다양한 2000년 대 초반의 Landsat ETM+영상으로부터 수류경계선 추출방법으로 생성된 조간대 DEM을 사용하였다. DEM 생성은 우선 얻어진 영상 자료로부터 추출된 수류경계선에 검조소에서 실측한 조위값을 조사차와 조고비, 평균해면 값을 사용하여

연구지역에 맞게 보정한 후 대입하였다. 그 뒤 최소 곡률(minimum curvature) 방법을 사용하여 전체 조간대 지역으로 내삽함으로써 조간대의 DEM을 생성하였다 (Lee *et al.*, 2006).

### 4. 연구결과

#### 1) 프랙탈 차원과 조류로의 분석 결과

일반적으로 불규칙한 형태를 갖는 직선의 프랙탈 값은 1과 2 사이 값을 갖는다. 기존 해안선 프랙탈 분석의 경우, 그 발달양상에 따라 1.10~1.40 사이의 값을 갖는다 (Xiaohua, Z. *et al.*, 2004). 이번 연구에서 대체적으로 조류로의 발달이 단순한 지역에서는 1.00에 가까운 값을 가지는 것을 알 수 있었고, 복잡한 지역에서는 1.20~1.35 정도의 값을 가지는 것을 알 수 있었다. Fig. 3은 연구지역 1과 연구지역 2의 프랙탈 차원을 그래프로 나타낸 것이다. 두 지역은 조류로의 발달 양상에 따라서 연구지역 1 경우 프랙탈 차원 값이 약 1.02의 값을 가지며, 연구지역 2의 경우 약 1.10의 값을 나타낸다. 조류로의 발달 양상의 차이에 따른 프랙탈 차원 값은 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

이와 같은 방법으로 전체 지역에 대한 프랙탈 맵을 Fig. 4-A와 같이 생성한 뒤 IKONOS에서 추출된 조류로와 비교하여 분석하였다(Fig. 4-B). 파란색 지역의

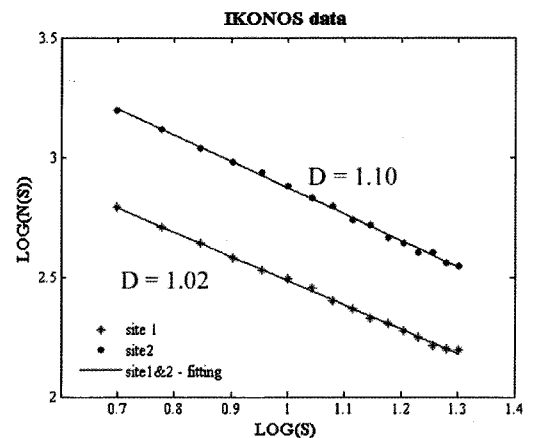


Fig. 3. Box counting graphs and the fractal dimension. Comparison of fractal dimensions of site 1 (red) and site 2 (green) according to intertidal channel density and development (IKONOS image).

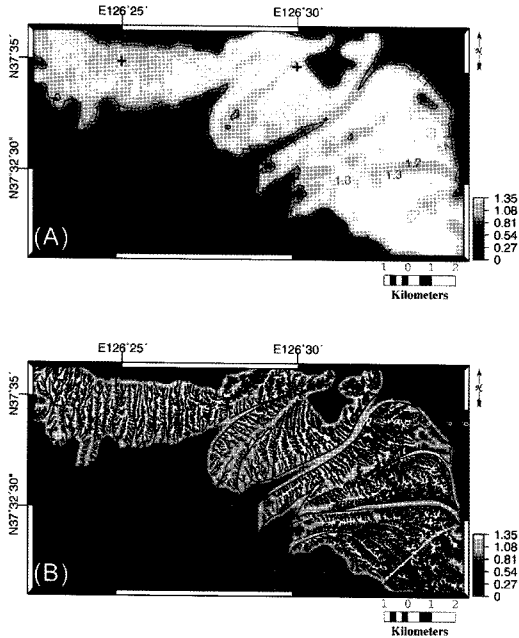


Fig. 4. (A) Fractal dimension in whole study areas. Bluish areas mean low fractal value. But yellow areas represent relatively high fractal value. (B) Overlaid the extracted channel vector on image (A). The area which has complex and meandering channel has high fractal value. And the area which has simple channel has low fractal value.

프랙털 차원은 낮은 값의 프랙털 차원을 나타내며 붉은 색 지역일수록 높은 프랙털 차원을 나타낸다. 영종도 북부 조간대의 경우 프랙털 차원이 대부분이 1.30이상의 높은 값을 가지며 여차리 부근 조간대의 경우는 프랙털 차원이 1.00~1.20의 낮은 값을 가진다. 특히 여차리 부근의 중부~하부 조간대의 경우 직선으로 같은 차수를 가지는 조류로가 잘 발달되어 있어 대체적으로 프랙털 차원이 1.20 정도의 높은 값(Fig. 4)을 가지지만 상부 조간대의 경우 조류로 발달이 미약한 단조로운 형태를 보이므로 프랙털 차원이 약 1.00 근처의 값(Fig. 4)을 가지는 것을 알 수 있다. 동막리~동검도 지역은 조류로가 점차 복잡해 지면서 프랙털 차원이 약 1.20 정도의 높은 값을 가진다. 영종도 부근의 조류로의 경우 조류로가 복잡한 수지상의 형태로 인하여 프랙털 차원이 약 1.20~1.35 정도의 높은 값을 가진다.

## 2) 프랙털 차원과 DEM의 분석 결과

프랙털 차원과 DEM 과의 비교, 분석을 하기 위해 DEM 자료(Fig. 5) 이용하였다. 그림에서 붉은 색으로

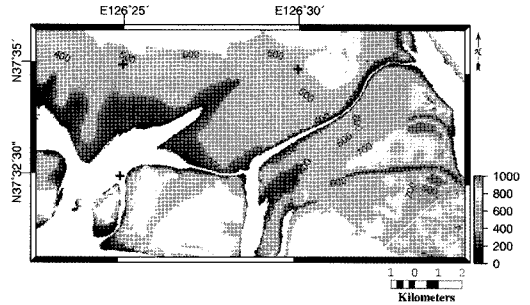


Fig. 5. Interdigital DEMs of the southern part of the Ganghwa-Do (Lee *et al.*, 2006). The blue areas showed low DEM. And the red areas had high DEM.

갈수록 높은 지형을 나타내며, 파란색으로 갈수록 낮은 지형을 나타낸다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이, 여차리 부근은 대부분 200~300cm 정도의 낮은 지형으로서 완만하며 동막리~동검도 부근의 조간대는 400~700cm, 영종도 북단 부근의 조간대는 300~1000cm 정도의 높은 지형을 가진다. 강화도 남단 조간대의 경우 전체적으로 북서쪽으로 갈수록 지형이 높아진다. 특히 영종도 북단은 대부분이 약 500cm 이상의 높은 지형을 가지며 동쪽 지역으로는 급경사를 이루지만 서쪽으로 완만한 경사를 이루고 있다.

지형이 100~350cm 미만인 지역에서는 프랙털 차원이 1.00~1.20의 낮은 값을 가진다. 그에 반해 350cm 이상인 지역에서는 1.20~1.35의 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 지형과 프랙털 차원간의 상관관계를 알아보기 위하여 Fig. 6과 같이 전체 지역에서 임의의 100개의 점을 추출하여 지형과 프랙털 차원을 비교하였다. 전체

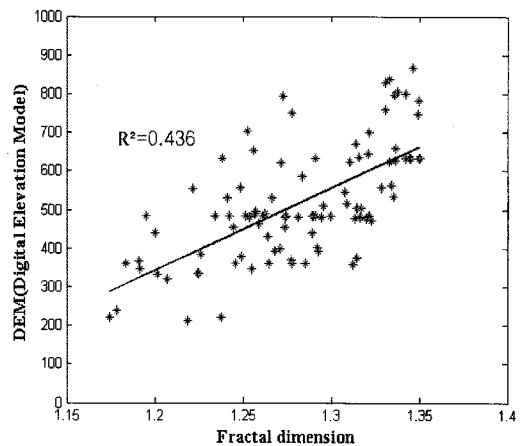


Fig. 6. Correlation between Fractal dimension and DEM (Digital Elevation Model).

적인 경향을 살펴보면 지형이 높아지면서 프랙털 차원이 점차 높아지지 않는 것처럼 나타난다. 하지만 오류를 가지는 점을 제외하면 지형이 높아 질수록 프랙털 차원이 높아지는 것을 알 수 있다. 즉 지형이 높은 지역에서는 큰 프랙털 차원 값을 가지며 지형이 낮은 지역에서는 낮은 프랙털 차원 값을 가지는 경향으로 나타났다.

### 5. 결론 및 토의

이번 연구는 연구 지역의 프랙털 차원과 조류로, DEM과의 비교, 분석을 하였다. 특히 조류로 발달 형태에 영향을 미치는 DEM과의 관계를 프랙털 차원을 사용하여 정량적으로 분석을 실시하였다.

대부분 조류로의 지선의 발달이 미비한 지역은 지형이 대체적으로 완만하게 낮기 때문에 조류로의 발달이 단순하게 발달할 수 있게 되었다. 따라서 이 지역은 프랙털 차원이 1.00~1.20의 낮은 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 지형이 높은 지역의 경우 조류로의 발달이 수지상으로 매우 잘 발달되어 프랙털 차원이 1.20~1.35의 높은 값을 가진다. 이것으로 보아 프랙털 차원과 지형 그리고 조류로 형태는 밀접한 관계를 가진다는 것을 알 수 있었다. 특히 지형이 조류로의 발달에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었으며 프랙털 분석으로 인하여 조류로의 정량적 분류가 가능하다는 결론을 얻었다. 뿐만 아니라 지역의 지형에 의하여 조류로의 발달 형태가 달라 프랙털 차원 값이 다르다는 결론을 내릴 수 있었다.

이번 연구에서는 지형과 DEM의 상관관계를 위해서 전체 연구지역에서 총 100개의 임의의 지점을 추출하여 비교를 하였다. 추후에는 낮은 상관관계를 갖게 하는 점점들의 위치를 추출하여 그 원인에 대한 분석을 실시할 예정이다. 또한 두 영상간의 해상도가 다르기 때문에 더 정확한 분석을 위하여 더 많은 임의의 점을 추출하여서 분석을 실시할 예정이다. 이번 연구에서는 조류로의 형태에 영향을 미치는 요소로 지형과의 상관관계만 알아 보았다. 그러나 또 다른 요소 중의 하나인 입도 자료와의 관계에 대하여도 분석이 필요하다. 특히 지형에 따라서 에너지가 달라지고 퇴적물이 다르며 이는 조류로의 발달 형태와 관련이 있다고 알려져 있기 때문에(고철환

외 1997) 추후 조류로 발달과 입도, 지형과의 관계에 대한 연구를 할 예정이다. 이런 분석을 고해상도의 시계열 영상에 적용한다면 시간에 따른 조류로의 발달양상과 그 형태에 대한 변화를 알 수 있을 것으로 기대된다.

### 사 사

본 연구는 해양연구원의 해양분야위성활용연구(PG45300)의 지원으로 수행되었다.

### 참고문헌

고철환, 박철 외 7명, 1997. 해양생물학, 서울대학교 출판부.

권순진, 2005. 프랙털 차원을 이용한 지질공학적인 지구 조구 설정 기준개발에 관한 연구, 연세대학교 박사학위 논문.

박경우, 김천수, 배대석, 김경수, 고용권, 김진영, 조성일, 2004. 한반도 선구조 분석에 대한 Fractal dimension의 적용, 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 포스터 11-25.

선우춘, 1989. Fractal 방법에 의한 fracture network의 분포 해석, *Jour. Geol. Soc. Korea*, 25: 468-473.

신정환, 장태우, 2001. 포항분지지역에 발달하는 단열의 프랙탈 분석, 한국암석학회 2001년도 공동 학술발표회 논문집, pp. 111-114.

유주형, 우한준, 유홍룡, 안유환, 2004. EOC를 이용한 강화도 갯벌 조류로와 퇴적상과의 관계 연구, 2004, GIS/RS 공동추계학술대회, 한국과학기술회관, March 26, pp. 475-479.

우한준, 제종길, 2002. 강화 남부 갯벌의 퇴적환경 변화, *Ocean and Polar Research*, 24: 331-343.

장진호, 1995. 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용, 서울대학교 박사학위 논문: 192.

차상화, 권기욱, 2001. GIS를 이용한 하천유역의 프랙탈 특성 분석, 한국지리정보학회지, 51-60.

- 최한우, 장태우, 1999. 모량단층 주변 절리의 분포 특성과 프랙탈 해석, *지질공학학회지*, 9: 119-134.
- Angeles, G. R., 2004. Fractal analysis of tidal channels in the Bahia Blanca Estuary (Argentina), *Geomorphology*, 57: 263-274.
- Carr, J. R. and Benzer, W. B., 1991. On the practice of estimating fractal dimension. *Math, Geol.*, 23: 945-58.
- Cleveringa, J. and Oost, A. P., 1999. The fractal geometry of tidal-channel systems in the Dutch Wadden Sea, *Geologie en Mijnbouw*, 78: 21-30.
- Frazier, P. S. and Page, K. J., 2000. Water body detection and delineation with Landsat TM data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 1461-1467.
- Lee, Y. K., Ryu, J. H., Eom J. A., Kwak, J. Y., and Won, J. S., 2006. Detection of the morphologic change on tidal flat using intertidal DEMs, ISRS 2006 PORSEC (CD-Rom).
- Mandelbrot, B. B., 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, 156: 636-638.
- Mandelbrot, B. B., 1983. The fractal geometry of nature, Freeman, New York.
- Okubo, P. G. and Aki, K., 1987. Fractal Geometry in the San Andreas Fault System, *J. Geophys. Res.*, 92: 345-355.
- Richardson, L. F., 1961. The problem of contiguity: an appendix of statistics of deadly quarrels. *General Systems Yearbook*, 6: 139-187.
- Rodriguez. I. I. and Rinaldo, A., 1997. Fractal River Basins: Cjance and Self-Organization, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 547
- Ryu, J. H., Won, J. S., and Min, K. D., 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea, *Remote Sensing of Environment*, 83: 442-456.
- Turcotte, D. L., 1992. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 275.
- Xiaohua Z., Yunlong C., and Xiuchun Y., 2004, On Fractal Dimension of China's Coastlines, *Mathematical Geology*, 36: 447-461.