

프랙탈 기법을 이용한 조류로 발달 양상의 분석

최정현*† · 엄진아* · 이윤경* · 유주형** · 원중선*

*연세대학교 지구시스템학과, **한국해양연구원

The Analysis of Tidal Channel Development Using Fractal

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

*Department of Earth System Sciences, Yonsei University

**Korea Ocean Research and Development Institute

Abstract : The tidal channel is influenced by sediment type, grain size, grain composition and tidal currents in tidal flat. The development of tidal channel including density, shape and order can be used to analyze the characteristics of tidal channel. The quantitative investigation to the tidal channel is insufficiency. In this paper, we represented the fractal analysis method according to the quantitatively analysis in tidal channel and compared with the different intertidal channel patterns.

The tidal channel was extracted from the IKONOS image of the southern part of the Kanghwa-do. We used the Box-counting method to estimate fractal dimensions for each tidal channel. As a result, the fractal dimension values (D) were 1.31 in the southern Kanghwa-Do. Linear pattern and less dense channel development area had low D values (from 1.0563 to 1.0672). Dendritic pattern and dense channel development area had high D values (from 1.2550 to 1.3016). In other words, fractal dimension values had difference about 0.2 values according to the characteristic of tidal channel development. We concluded that fractal analysis can be able to quantitatively classification in tidal channel.

Key Words : Tidal channel, Fractal.

요약 : 조간대의 조류로 발달은 조간대 퇴적물 종류, 입도, 조성 및 조류의 세기 등 에 많은 영향을 받는다. 따라서 조류로의 발달 특성, 밀도, 형태 등은 조간대의 특징을 분석하는데 활용될 수 있다. 그러나 아직 갯벌의 조류로에 대한 정량적 분석은 매우 미흡한 실정이다. 이 연구에서는 조류로의 정량적 분류기준으로 프랙탈 분석방법을 제시하고, 발달 정도가 다른 두 지역의 조류로에 대한 적용결과에 대한 정량적 비교를 제시한다.

시험 적용지역인 강화도 남단 조간대에서 얻어진 IKONOS 영상으로부터 조류로를 추출한 뒤, 프랙탈 분석방법 중 2차원 분석에 많이 사용되는 box counting 방법을 적용하여 프랙탈 차원을 구하였다. 분석 결과 강화도 남단 전체 조간대 지역에 대한 프랙탈 차원 값은 약 1.31로 나타났다. 조류로의 지선이 단순하며 남북으로 수직방향으로 발달한 지역은 프랙탈 차원 값이 1.0563~1.0672로 비교적 적은 값을 나타내는 반면, 조류로의 지선이 발달하고 매우 복잡한 형태를 보이는 곳은 프랙탈 차원 값이 1.2550~1.3016로 나타났다.

즉, 조류로의 발달정도에 따라 프랙탈 차원 값이 약 0.2 정도로 매우 뚜렷한 차이를 나타내며, 따라서 조류로의 정량적 구분이 프랙탈 분석에 의하여 가능하다는 결론을 얻을 수 있다. 향후 다른 특성을 갖는 다양한 조건대 지역에 적용하면 조류로의 발달정도와 환경 인자에 대한 정량적 분석이 가능할 것으로 사료된다.

1. 서론

강화도 남부 갯벌은 서해로 유입되는 한강의 지류와 본류의 영향을 동시에 받으며, 염하수로와 석모수로에서 유입되는 담수와 조석에 따른 해수의 혼합으로 염분도의 뚜렷한 구배를 나타내는 기수의 특성을 보여 주변에는 다양한 환경들이 조성되어 있다. 이 갯벌에는 모래, 펄, 혼합 갯벌 등 다양한 종류의 갯벌이 존재한다(우와 제, 2002). 조건대 내의 조류로는 육지의 수로와는 달리 양방향으로 해수가 이동하게 된다. 즉, 썰물 때는 상부에서 하부조건대로 물이 내려가지만 밀물 시에는 물이 반대로 차올라오게 된다. 따라서 조류로가 매우 복잡하게 발달하게 된다(유주형, 2004). 조류로의 발달 특징과 조건대의 환경(퇴적물 종류, 입도, 조성, 조류 에너지 등)과 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 알려져 있으나, 아직 조류로에 대한 정량적 분류와 두 인장의 상관관계에 대한 정량적 분석을 시도되지 못하고 있다. 2004년 Angeles는 Box counting Method와 Countiguity Method로 총 9개의 조류로에 대하여 프랙탈 분석을 하였다. 그 결과 모든 조류로의 프랙탈(D) 값은 1 근처의 값을 가지며 자기 유사성의 프랙탈 특징을 가지는 것을 알 수 있었다. 하지만, 이 프랙탈 값은 조류로 분석 방법 중에서 meandering pattern의 복잡한 특성을 보여주지는 못한다.

유클리드 기하학은 선을 1차원으로 정의하나 실제 자연계에 존재하는 곡선을 프랙탈 차원에서는 1.0~2.0 사이의 차원 값을 갖는 것으로 정의한다. 예로서 꺾인 직선의 경우 유클리드 기하학에서는 1차원으로 보나, 프랙탈에서는 1차원과 2차원의 사이로 정의하며, 여러 번 꺾이고 정도가 클수록 2차원에 가깝고 적을수록 1차원에 가깝다고 규정하고 있다(차상화, 2001). 프랙탈은 1982년 영국의 Mandelbrot (1982)이 해안선 길이를 측정하면서 지형도의 축척에 따라서 길이가 다르다는 것을 밝히면서 자연현상의 복잡성을 설명하기 위하여 프랙탈 기하학을 도입하였다. Carr and Benzer(1992)은 영국과 오스트리아 등 여러 지역의 해안선을 분석한 결과,

1.1~1.3정도의 프랙탈 값을 제시하였다. 현재 프랙탈 이론은 단층분석 (Okubo, 1987), 조석수로분포 (Guillermo, 2004), 단층 분포특성 분석 (최한우, 1999), 하천유역의 분석 (차상화, 2001), 단열망 (신정환, 2001) 등 다양한 분야에서 적용되고 있다.

이 연구에서는 강화도 남단 조건대에서 얻어진 고해상도 위성영상으로부터 조류로를 추출한 후 프랙탈의 적용을 통하여 조류로 발달 특징에 대한 정량적으로 구분 가능성을 분석하는데 있다.

2. 연구지역 및 방법

강화도는 경기만 북부에 위치한 섬으로 강화도 동부에는 300~1500m 폭의 비교적 좁은 염하수로가, 서부에는 약 1200~3800m 폭의 석모수로가 있다. 강화도 남단 조건대는 서해로부터 유입되는 한강의 지류와 본류의 영향을 동시에 받으며, 염하수로와 석모수로에서 유입되는 담수와 조석에 따른 해수의 혼합으로 염분도에 뚜렷한 구배를 나타내는 기수의 특성을 보여준다. 조석은 일일 2주기로 연중 25회의 고고조와 저고조의 반복이 뚜렷하고, 월간변화는 7월을 제외하고는 전 기간에 걸쳐 조금과 사리의 부등현상이 뚜렷하다(우와 제, 2002).

프랙탈 분석의 방법은 Divide method, Box-counting method 등이 있다. 이 연구에서는 발달양상을 정량적으로 분석을 위하여 프랙탈 분석 방법 중 2차원 평면에 대한 프랙탈 차원 산정방법에 많이 사용되는 box counting 방법을 사용하였다. Box counting 방법은 하천, 해안선 등 선형의 특징을 가지는 많은 지역에 적용이 가능하다(Turcotte, 1992). 이 방법은 전체 조사를 한 변의 길이 r 인 정사각형 사각 요소(box)로 분할할 때, 한 변 길이 r과 선을 포함하는 사각 요소의 개수 N(r)을 이용하여 프랙탈 차원을 산정한다.

사각요소의 한 변 길이 r과 선을 포함하는 사각 요소의 개수 N(r) 간에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N(r) \propto r^{-D_B} = Br^{-D_B} \quad (1)$$

여기서, B: 비례상수

D_B : 박스 프랙털 차원에 의해 산정된 프랙털 차원

$N(r)$: Box-counting법에 의해 확인되는 선을 포함하는 사각요소 개수

식 (1)에 양변에 ln을 취하면,

$$N(r) = Br^{-D_B}$$

$$\ln N(r) = \ln Br^{-D_B}$$

$$\ln N(r) = \ln B - D_B \ln r$$

과 같다.

여기에서 $\ln B$ 를 B' 으로 치환하면,

$$\ln N(r) = B' - D_B \ln r \quad (2)$$

으로 나타낼 수 있다. 이 식은 $y = b - ax$ 형태의 직선함수로 $\ln N(r)$ vs. $\ln r$ 에 대한 로그-로그 그래프로 도시한 후, 선형 회귀분석을 통해 선형성을 확인하면 절편 B' 와 D_B 값을 산정할 수 있다.

이 연구에서는 강화도 남단 구간대의 조류로에 대한 감지하기 위하여 IKONOS의 단색영상과 다중밴드를 영상처리 하여 얻어진 1m 공간해상도를 갖는 NIR 밴드를 사용하여 조류로를 추출하였다. Figure 1은 연구지역인 강화도 남단의 IKONOS 영상과 이로부터 추출한 조류로를 도시한 것이다. 이 지역 중 조류로의 발달 특징이 현저하게 다른 두 지역을 선택하여 조류로 발달에 따른 프랙털 차원을 정량적으로 비교하였다. Figure 2

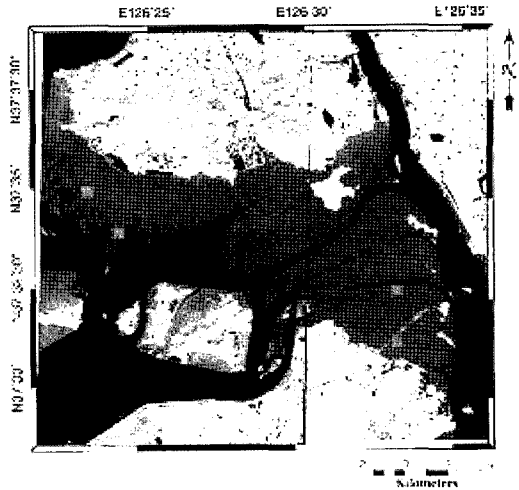


Figure 1. IKONOS image of the southern part of the Kanghwa-Do. Intertidal channels are delineated by blue lines and the red squares denote sub-areas for fractal dimension estimation and comparison.

(a)는 조류로가 직선적으로 발달한 하부조건대에 속하는 여차리 남쪽 지역에서 추출한 조류로(Site 2)로이며, Figure 2 (b)는 상부조건대의 에너지가 적은 지역에서 매우 복잡하게 발달한 영종도 북단의 조류로를(Site 4) 나타낸 것이다. 추출된 조류로에 Box-counting 방법을 적용하여 프랙털 분석을 실시하였다.

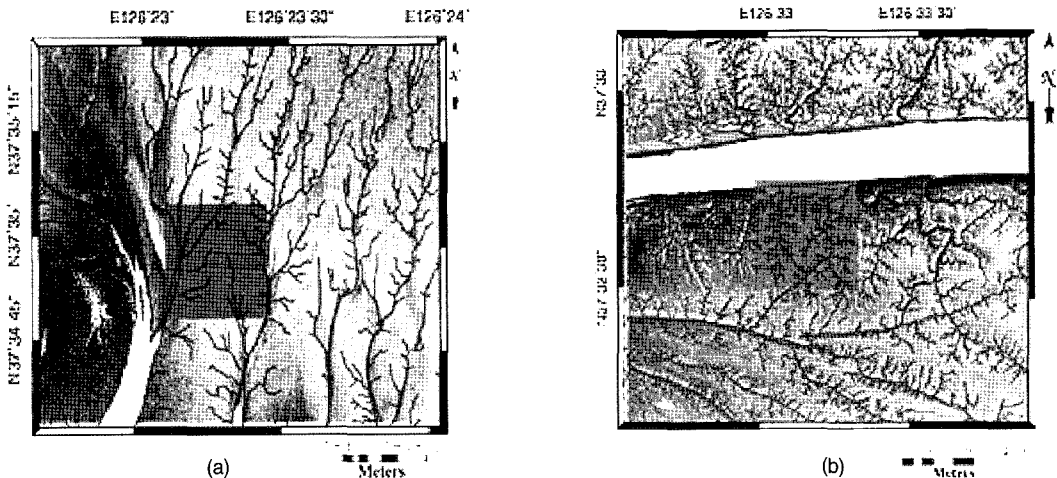


Figure 2. Two sites of different intertidal channel patterns: (a) Linear pattern and less dense channel development in the southern Yeochari, and (b) dendritic pattern and dense channel development in the northern Yeongjongdo.

Table 1. The number of boxes counted and the estimated fractal dimension of the entire southern Kanghwa-Do (S = Box size, N = Box number).

Channel	Grid sizes(m) S									D	
	1	2	4	8	16	32	64	128	256		512
Box number (N)	2201979	1094129	540293	260765	119023	48868	17614	5497	1573	444	1.31

Table 2. The fractal dimensions of the Site 1-4 estimated by a 300 m by 300 m sub-area. The maximum difference between the Site 1 and 4 was about 0.23 in fractal dimension (S = Box size, N = Box number).

Channel	Grid sizes(m) S							D
	1	2	4	8	16	32	64	
Site 1	1579	791	369	201	99	46	19	1.0628
Site 2	1608	807	403	200	99	38	19	1.0672
Site 3	4621	2288	1116	535	231	76	25	1.2550
Site 4	5369	2680	1312	630	266	75	25	1.2911

Table 3. The fractal dimensions of the Site 1-4 estimated by a 500m by 500m sub-area (S = Box size, N = Box number).

Channel	Grid sizes(m) S							D
	1	2	4	8	16	32	64	
Site 1	4255	2138	1069	537	255	129	52	1.0591
Site 2	3478	1741	872	432	209	101	43	1.0563
Site 3	13323	6619	3244	1555	660	237	64	1.2836
Site 4	14357	7156	3511	1715	714	247	64	1.3016

3. 연구결과 및 토의

연구지역인 조간대 조류로의 경우 분석결과 1.0~1.3의 값을 갖는 것으로 나타났으며, 강화도 남단 조간대 조류로 전체의 프랙탈 차원 값은 1.31(Table1)로 나타났다. Angeles은 조간대 조류 중에서 총 9곳의 1차수 조류로만을 분석 하였다. 그 결과 Box-counting 방법으로 분석하였을 경우에 프랙탈 차원 값이 약 1.01~1.12 사이의 값을 가지는 것을 알 수 있었다. Angeles의 경우 조류로의 전체적인 면적에 대하여 분석을 실시 한 것이 아니라 대표 조류로만을 분석하였기 때문에 본 연구의 프랙탈 값보다 전체적으로 낮은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 불규칙한 형태를 갖는 직선의 프랙탈 값은 1과 2 사이 값을 갖는다. 기존 해안선 프랙탈 분석의 경우, 그 발달양상에 따라 1.1~1.4 사이의 값을 갖는 것으로 보고되고 있으며 (Zhu Xiaohua, 2004). 이는 기존 해안선이 갖는 프랙탈 차원 값과 상당히 유사한 값을 알 수 있다.

조간대내의 조류로의 발달양상이 현저하게 차이가 나는 지역에 대하여 면적을 300m×300m (Table 2)와

500m×500m (Table 3)으로 하여 프랙탈 차원 분석하였다. 조류로의 지선이 단순하며 남북의 수직방향으로 조류로가 발달한 지역은 Site 1과 2 지역으로 프랙탈 차원이 1.056~1.067로 거의 1.1에 근사한 값을 갖는 것으로 나타났다. 반대로 조류로의 지선이 발달하고 매우 복잡한 형태를 나타내는 지역인 Site 3과 4에서는 1.2550~1.302의 프랙탈 차원으로 약 1.3에 근사한 프랙탈 차원을 갖는다. 따라서 두 지역은 조류로 발달 특징에 따라 약 0.2 정도의 뚜렷한 프랙탈 차원의 차이를 보이고 있다.

Figure 3은 조류로의 발달양상에 따른 Site 2, 4 지역의 격자 크기에 따른 프랙탈 차원을 나타낸 것으로 두 지역이 프랙탈 분석에서 뚜렷이 구분될 수 있음을 알 수 있다. 그러나 프랙탈 차원은 총 면적에 따라 달라질 수 있으며, 그 이유는 조류로의 발달양상에 따라 동일한 면적에서의 산출되는 격자의 값이 달라지기 때문이다. 조류로가 복잡할수록 작은 크기의 격자수가 많아지게 된다. 따라서 각각의 Local dimension 값에 영향을 준다. Figure 4는 단일지역인 Site 4에서 총 격자면적의 변화 (300m×300m, 500m×500m)에 따른 프랙탈 차원 값

참고문헌

- 권순진, 2005. 프랙탈 차원을 이용한 지질공학적 지구 조구 설정 기준개발에 관한 연구, 연세대학교 박사학위 논문.
- 유주형, 우한준, 유홍룡, 안유환, 2004. EOC를 이용한 강화도 갯벌 조류로와 퇴적상과의 관계 연구, 2004, GIS/RS 공동춘계학술대회, 한국과학기술회관, March 26: 475-479.
- 우한준, 제종길, 2002. 강화 남부 갯벌의 퇴적환경 변화, *Ocean and Polar Research*, 24: 331-343.
- 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.
- 신정환, 장태우, 2001. 포항분지지역에 발달하는 단열의 프랙탈 분석, *한국암석학회 2001년도 공동 학술발표회 논문집*, pp.111~114.
- Angeles, G. R., 2004. Fractal analysis of tidal channels in the Bahia Blanca Estuary (Argentina), *Geomorphology*, 57: 263-274.
- Mandelbrot, B. B., 1983. *The fractal geometry of nature*, Freeman, New York.
- Iqnacio, R. I. and Rinaldo, A., 1997. *Fractal River basins: Chance and Self-Organization*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp 547.
- Okubo, P. G. and Aki, K., 1987. Fractal Geometry in the San Andreas Fault System, *J. Geophys. Res.*, 92: 345-355.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Rinaldo, A., 1997. *Fractal River Basins: Chance and Self-Organization*, Cambridge Univ. ress, Cambridge, pp.547.
- Turcotte, D. L., 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp.275.
- Xiaohua Z., Yunlong C., and Xiuchun Y., 2004. On Fractal Dimension of China's Coastlines, *Mathematical Geology*, 36: 447-461.

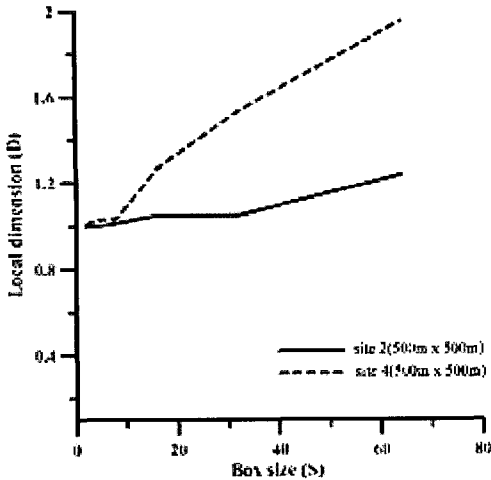


Figure 3. Comparison of fractal dimensions according to intertidal channel density and development.

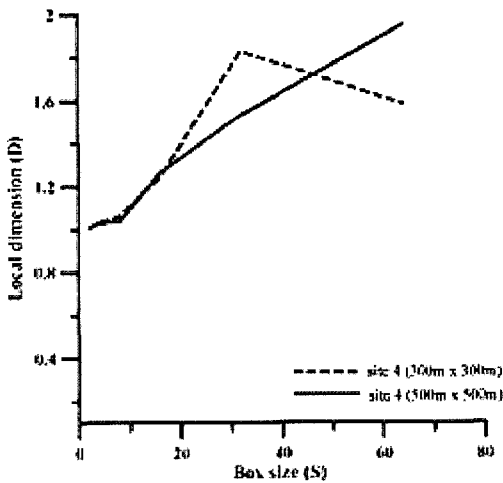


Figure 4. Variation of fractal dimensions according to the total target areas in site 4.

의 변화를 도식한 것이다.

Figure 3, 4를 통해 프랙탈 차원 값은 조류로의 복잡도와 밀도가 높을수록 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 고해상도 위성영상에 프랙탈 차원 차이를 이용하면 조류로 발달 특징을 분류할 수 있다는 가능성을 뒷받침하고 있다. 향후 다른 특징을 갖는 더 많은 조건대에 적용하면 조건대 조류로 특징과 프랙탈 차원에 대한 정량적 분류표를 작성할 수 있을 것으로 사료된다.