

일관된 해안선 길이 산출을 위한 프랙탈 차원 적용 방안 연구 - 제주도를 중심으로 -

Application of Fractal Dimension on Consistent Calculation of Coastline Length - Focused on Jeju Island

우희숙* · 권광석** · 김병국*** · 조석현****

Woo, Hee Sook · Kwon, Kwang Seok · Kim, Byung Guk · Cho, Seck Hyun

要 旨

일관적인 해안선의 사용은 지자체간의 이해관계와 해상경계를 일관적으로 체계적으로 관리하기 위한 중요한 요소가 된다. 국립해양조사원에서는 일관된 해안선 생산을 위해 2001년 이후 전 국토를 대상으로 전수조사를 시행하였다. 그 결과 체계적인 관리의 미비, 부정확한 자료 등으로 연도별 해안선의 길이는 상이하였다. 또한 지형 표현 방법의 현실화를 위해 해도에 있는 해안선을 수치지형도에 표시하도록 개정[국토지리정보원 수치지형도 작업규정-제19조 제3항]하였으나 다양한 측량기술과 해안선 추출방법에 따른 해안선 길이의 편차(불일치)가 발생하였다. 본 연구에서는 자기유사성의 특성을 가지고 있는 프랙탈 기법인 수정 분할자법(modified divider method)를 사용하여 제주도 해안선 길이 특성을 분석하였다. 적절한 분할자 사용을 위해 수치지형도 작업규정 공공측량 개정안에 있는 벡터화의 정확도를 실제거리로 환산하여 결정하였다. 수행 결과 1:5,000 자료에서 제주시는 1.14, 서귀포시는 1.12이며, 1:25,000 자료에서 제주시는 1.13, 서귀포시는 1.10로 제주시가 복잡한 것을 확인할 수 있었다. 해안선의 길이가 복잡도와 축척에 따라 전체 해안선 대비 산출길이의 비율이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 일관된 해안선 길이 산출을 위해 실제 해안선을 표현할 수 있는 최소 정점 간격에 대한 연구 및 최소 해안선 길이 비율에 대한 기준 제시도 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 프랙탈 차원, 수정 분할자법, 복잡도, 분할자, 일관성

Abstract

The use of consistent coastlines is an important element for the systematic management of maritime boundaries and the interests of local governments. The Hydrographic and Oceanographic Agency conducted a preliminary survey for consistent coastline production, since 2001. As a result, the length of coastline was different by year. Because of the lack of systematic management, the use of incorrect data, etc. We also changed the coastline on the sea chart to show on a digital map for realization of terrain expression method. However, there was a variation in shoreline length due to various surveying techniques and shoreline extraction methods. In this paper, the characteristics of Jeju-do coastline were analysed by using a modified divider method of fractal dimension. The accuracy of the vectorization was determined by converting the actual distance in the Public Survey Amendment for proper divider use. With 1:5,000 and 1:25,000 digital maps of Jeju-si and Seogwipo-si each fractal dimensions were calculated. Jeju-si=1.14 and Seogwipo-si=1.12 in 1: 5,000. Jeju-si=1.13 and Seogwipo-si=1.10 in 1: 25,000. Calculated fractal dimension were correlated to data from digital maps. It was considered that complexity and scale of coastlines affected. In the future coastline length statistics and minimum ratio of calculated coastline length to original length need to be determined for consistency of coastline length statistics.

Keywords : Fractal Dimension, Modified Divider Method, Complexity, Divider, Consistency

Received: 2016.11.23, revised: 2016.12.12, accepted: 2016.12.15

* 정희원 · 인하대학교 공간정보공학과 박사과정(Member, Doctoral Student, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, heesook@inha.edu)

** 교신저자 · 정희원 · 인하대학교 공간정보공학과 박사과정 (Corresponding Author, Member, Doctoral Student, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, kskwon02@gmail.com)

*** 정희원 · 인하대학교 공간정보공학과 교수(Member, Professor, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, byungkim@inha.ac.kr)

**** 인하대학교 공간정보공학과 석사과정(Master Student, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, shcho20@inha.edu)

1. 서 론

공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률[제6조 제1항 제4호]에서 ‘해수면이 약최고고조면에 이르렀을 때의 육지와 해수면의 경계를 해안선으로 규정’하고 있다. 또한 ‘매립, 방파제·인공안벽의 설치나 철거 등으로 기존 해안선이 변경되는 공사 등을 끝내면 수로조사를 실시해야한다고 규정’되어있다. Fig. 1을 보면 제주도 연안이 개발됨에 따라 인공해안선이 증가하여 2010년도 이후로 총 연장이 지속적으로 증가함을 알 수 있다(Korean Statistics Information Service, 2016).

국립해양조사원에서는 2001년~2013년에 이르기까지 법률에 근거한 일관적인 해안선을 생산하기 위해 전수조사를 수행하였으나 해안선 길이가 상이하거나 일부 누락되어 있음을 알 수 있다. 이는 해안선 전 국토를 대상의 전수조사 미비, 이로 인한 해안선 이력관리의 부재 등에 따른 부정확한 자료사용 등이 문제이다.(Choi et al., 2014).

연안개발 및 해양 활동이 증가함에 따라 충남 태안·홍성과 같이 관련된 분쟁이 발생하고 있으며, 국가영토 경계뿐 아니라 지자체간 경계를 결정하는 기준으로서의 “일관된 해안선”이 중요해지고 있다(JoongAng Ilbo, 2015). 일관되지 않은 해안선을 사용되는 경우 지방자치단체들 간의 합리적인 분쟁해소에 도움이 되지 않는다. 현재 국내외적으로도 일관된 해상경계의 체계적 관리를 위한 법제화 방안 및 해양공간계획의 구축방안이 제시되고 있다(Choi, 2015).

해안선은 축척에 따라 길이가 변하고 복잡 도에 따라 산출된 길이 변화율이 달라지기 때문에 해안선의 복잡도를 정량적으로 산출하기 위해 프랙탈 차원이 활용되고 있다.

본 연구에서는 횡축 동일 간격으로 분할하는 modified divider method를 이용하여 1:5000, 1:25,000의 축척으

로 제주도와 서귀포시에 대한 프랙탈 차원을 산출함으로써 일관적인 해안선 길이 산출 방안에 대해 고찰하고자 한다.

2. 선행연구조사

복잡도를 산출하는 대표적인 프랙탈 기법에는 area-perimeter method, box-counting method, divider relation method, Kocak’s law power spectrum method 등이 있다. Area-perimeter method, divider relation method는 대표적으로 디지털 이징한 해안선과 등고선에 적용하며, Kocak’s law power spectrum method는 호수의 면적, 자연적인 바위 표면 등에 주로 적용된다(Klinkenberg, 1994).

프랙탈 차원은 일반적으로 자기유사성의 특성을 가진 표면의 복잡도를 산출한다. 미국의 대서양과 태평양 해안선의 복잡성을 확인을 위해 NOAA에서 획득한 영상을 디지털이징하여 프랙탈 차원을 산출하였다. 그 결과 평균적으로 낮은 위도에 해당하는 대서양 해안은 태평양 연안보다 훨씬 높은 복잡성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다(Jiang et al., 1998). 해안선의 평형 상태를 확인하기 위해 프랙탈 차원을 이용하여 중국남부해안선의 적합성을 평가하였다. 프랙탈 차원을 이용하여 해안선 패턴을 분석함으로써 동적 평형 또는 정적 평형의 가능성을 확인하였으며, 해안선을 보완함으로써 다양한 상태 분석도 하였다(Dai et al., 2004). 축척 1:50,000과 1:250,000의 해안선을 이용하여 프랙탈 차원을 산출하여 근사치에 해당하는 해안선 길이 확인하였으며, 해안선의 불변성, 가변성 특성을 프랙탈 차원을 통해 검증 및 분석하였다(Priya et al., 2016). 해안선 길이 측정을 위한 척도로 사용하기 위해 디지털이징 지형지도 규정 및 항공 측량 규정에 따른 해상도를 실제 거리로 변환 후 축척에 따른 분할자를 결정하였다(Su et al., 2011).

Modified divider method를 이용하여 표준 거칠기 단면을 분할자 길이에 따른 상관성을 분석함으로써 프랙탈 차원이 자연 암석 절리 단면에 적용 가능성을 확인하였다(Jang et al., 2005). Divider method 기법을 이용하여 동해안과 남해안을 대상으로 점간 거리에 따른 해안선 길이 변화정도를 분석함으로써 정점 간격에 대한 기준의 일관성 확보 필요성을 제시한 연구도 진행되었다. 육안으로 지형변화가 복잡하지 않은 동해가 남해보다 정점 간격에 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다(Woo et al., 2014). 국내 해안선 결정에 대한 현황을 분석하고 선형회귀 방식의 CSP(cross shoreline

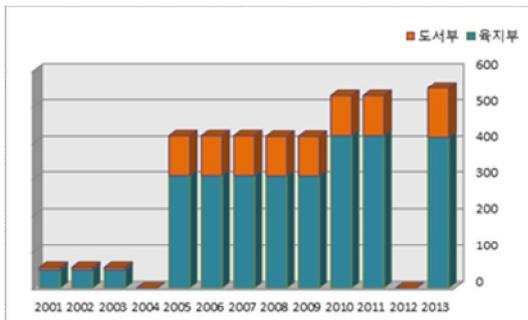


Figure 1. Annual coastline length of Jeju (km)

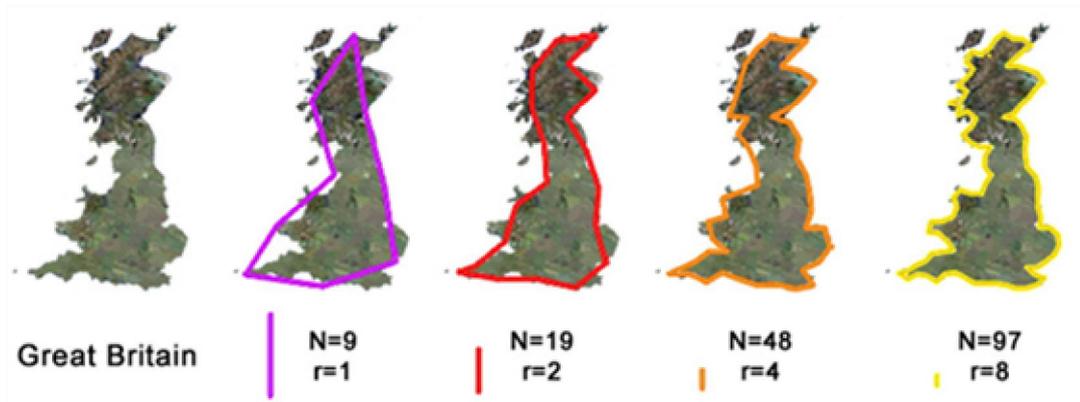


Figure 2. Applied various unit lengths for fractal dimension calculation

profile)방법과 특정고도에서의 기울기를 이용한 EGTP (elevation gradient trend propagation)방법을 비교 분석함으로써 일관된 해안선 결정을 위한 방법을 제시하기도 하였다(Cho et al., 2015).

1967년 학자 만델브로(Benoit Mandelbrot)는 ‘How long is the coast of Britain?’라는 물음을 시작으로 Fig. 2와 같이 다양한 단위길이를 적용하여 통계적인 자기유사성과 프랙탈 차원에 대한 연구를 진행하여 해안선길이와 축척과의 관계를 규명하고 해안선 특성의 정량화에 대한 비전을 제시하였다(Fractal Foundation Online Course, 2016).

3. 연구방법 및 내용

프랙탈이란 자기 유사성을 가진 일부 작은 부분이 반복되어 전체와 비슷한 형태를 가지고 있는 기하학적 형태를 의미한다. 1975년 만델브로가 처음 이 단어를 사용하면서 연구가 시작되었다(Wikipedia, 2016). 정수가 아닌 값은 풀 개수로 정의되는 프랙탈 차원은 차원의 수가 클수록 복잡한 해안선 지형을 말한다. 물리적 지형에 정량적 지형 분석이 가능한 프랙탈 차원은 1~2사이 실수로 나타내며 프랙탈 차원의 기본식은 Eq. (1) 같다.

$$D = -\frac{\log(N)}{\log(r)} \quad (1)$$

where, D denotes Fractal dimension, r denotes divider, N denotes Number of divisions

만약 해안선 L 의 길이가 일정한 분할자 r 에 의해 측정되는 경우 길이는 Eq. (2)과 같이 N 과 r 의 곱이 되며,

분할자와 분할횟수 사이는 Eq. (3)과 같은 관계가 된다.

$$L = N \times r \quad (2)$$

$$N = M \times r^{-D} \quad (3)$$

where, L denotes Coastline length, M denotes constant

Eq. (3)를 Eq. (2)에 대입하여 양변에 로그를 취한 등가방정식은 Eq. (4)이 된다.

$$\log L = (1 - D)\log r + M \quad (4)$$

where, $1-D$ denotes slope

일관적인 해안선 길이 산출을 위해 프랙탈 차원을 적용하여 그 특성을 분석하기 위해 대상지역으로 바다로 둘러싸여있는 제주도를 선정하였다. 제주도는 Fig. 3과 같이 남북으로 타원형을 하고 있는 제주도의 총 면적은 1,825km², 해안선의 총 길이는 253km이다(Wikipedia, 2016; Korea Meteorological Administration, 2009). 축



Figure 3. Je-ju topography

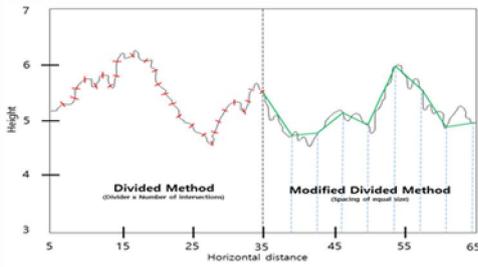


Figure 4. Divider method & modified divider method

척별 제주시의 해안선 길이는 1:5,000에서 약 260.297km, 1:25,000은 약 219.568km이며, 서귀포시의 해안선 길이는 1:5,000에서 약 246.650km, 1:25,000은 약 204.517km이다.

해안선의 총 길이 L 은 길이가 작은 분할자를 사용할 수록 해안선의 길이도 증가한다.

Divider method를 사용할 경우 지형적 특성(곡선구간)을 Fig. 4와 같이 상대적으로 일반화되는 효과가 나타난다(McWilliams et al., 1993). 본 연구에서는 동일 분할자로 측정하는 방법이 아닌 Brown에 의해 제안된 modified divider method(Brown et al., 1987)방법을 사용하였다.

Modified divider method는 진행방향을 기준으로 하는 분할자를 사용하지 않고 수평방향으로만 일정간격으로 분할하는 분할자를 사용하기 때문에 불연속 곡선 적용에 유용하므로 일반적으로 많이 사용한다(Xiaohua et al., 2004).

분할자를 결정하기 위해 단위측정자를 지형도에 대한 규정(1:5,000과 1:25,000)에 따라 실제거리로 변환한 후, 이 값을 해안선 길이 측정하는 분할자의 척도로 Eq. (5)와 같이 사용하였다.

$$r_s = 0.2 \times S / 1000 \quad (5)$$

where, r_s denotes divider distance(units : m),

S denotes scale

수치지형도 작성 작업규정 공공측량 개정안[제9조 제2항]에 따르면 ‘곡선테이터의 점간 입력간격은 축척 1/1,000은 1m, 1/2,500은 2.5m, 1/5,000은 5m, 1/25,000은 10m로 규정’되어있다. [제10조]에서 ‘백터화의 정확 도는 래스터자료와 최종 벡터자료를 화면에서 비교하여 도상 0.2mm 이내이어야 한다고 규정’하고 있다. 이를 실제거리로 변환한 값은 해안선 길이를 측정하기 위한 분할자로 사용될 수 있다(Su et al., 2011).

프랙탈 차원을 산출하기 위해 처음 분할자 $\text{Log}(r)$ 를 10단계로 세분화(예 1:5,000에서 1m, 2m, 4m, 8m, 16m, 32m, 64m, 128m, 256m, 512m)실험한 결과 분할자 r 를 세분화 할수록 길이에 대한 정밀한 자료 분석이 가능하지만 프랙탈 차원 산출 과정에서 비선형 곡선을 나타내기 때문에 전체 길이에 대한 분석에는 제한될 수 있음을 확인하였다. 최종 분할자의 길이는 1:5,000은 1m를 기준으로 1:25,000은 5m를 기준으로 해안선 길이 전체를 포함할 수 있도록 복수 단계로 계산하여 각각 7단계로 설정하였다. 1:5,000은 1m, 4m, 16m, 64m, 256m, 1,024m, 8,192m의 분할자의 길이를 사용하였으며, 1:25,000은 5m, 20m, 80m, 320m, 1,280m, 6,384m, 25,536m를 사용하였다.

국토지리정보원에서 제공받은 수치지형도에서 해안선을 추출하였으며, 프랙탈 차원 산출을 위해 Auto CAD 소프트웨어를 사용하였다.

4. 결과분석

일반적인 해안선 길이 산출을 위하여 프랙탈 기법인 modified divider method방법을 사용하여 프랙탈 차원을 산출하고, 시도별, 축척별 프랙탈 차원의 관계를 분석하였다.

Figs. 5 and 6은 1:5,000 수치지형도 제주도, 서귀포시에 대한 분할자의 길이(r)와 해안선 총 길이(L)를 Log 으로 나타낸 그래프이다.

Modified divider method방법을 사용하여 1:5,000에 대한 프랙탈 차원 수행한 분석 결과 제주시는 1.14, 서귀포시는 1.12였으며, 1:25,000에 대한 프랙탈 차원 수행한 분석 결과 제주시는 1.13, 서귀포시는 1.10이었다. 비교 결과 대축척일수록 차원수가 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 제주시가 서귀포시보다 차원이 큰 것을 확인하였다.

분할자의 길이(r)와 해안선 총 길이(L)의 Log 에 대한 상관관계 분석도 $R^2=0.96$ 이상의 1에 가까운 값을 나타냄으로써 두 값 모두 프랙탈 차원으로 유효할 것으로 판단하였다.

Tables 1 and 2와 같이 축척별 분할자, 분할자 대비 $\text{Log}(r)$, 산출길이, 산출길이 비율 $\text{Log}(L)$ 을 각각 산출하였다.

총 해안선 길이 대비 제주도, 서귀포시 모두 1:5,000에서는 분할자가 1m일 경우 99% 수준으로 해안선 길이가 산출되고, 1,024m이상일 때 50%이하로 산출되는 것을 확인할 수 있었다. 총 해안선 길이 대비 제주도, 서귀포시 모두 1:25,000에서는 분할자가 5m 경우 98%

Table 1. Comparison of calculation length by divider length (1:5,000)

Scale	Dividerr(m)	LOG(r)	Jeju-si			Seogwipo-si		
			LOG(L)	Calculation Length L(m)	Ratio of Calculation Length (%)	LOG(L)	Calculation Length L(m)	Ratio of Calculation Length (%)
1:5,000	1	0.00	5.41	258641.621	99.4%	5.39	244171.831	99.0%
	4	0.60	5.40	252367.449	97.0%	5.38	238121.595	96.5%
	16	1.20	5.36	228002.525	87.6%	5.33	212456.219	86.1%
	64	1.81	5.26	183336.653	70.4%	5.24	173427.237	70.3%
	256	2.41	5.13	135306.093	52.0%	5.14	138491.008	56.1%
	1024	3.01	5.01	102647.869	39.4%	5.05	113053.398	45.8%
	8192	3.91	4.94	86232.147	33.1%	5.94	87574.945	35.5%

Table 2. Comparison of calculation length by divider length (1:25,000)

축척	Dividerr(m)	LOG(r)	Jeju-si			Seogwipo-si		
			LOG(L)	Calculation Length L(m)	Ratio of Calculation Length (%)	LOG(L)	Calculation Length L(m)	Ratio of Calculation Length (%)
1:25,000	5	0.70	5.33	215411.333	98.1%	5.31	202152.158	98.8%
	20	1.30	5.31	203663.760	92.8%	5.29	195075.072	95.4%
	80	1.90	5.25	176272.127	80.3%	5.24	174820.768	85.5%
	320	2.51	5.14	138191.148	62.9%	5.16	144198.360	70.5%
	1280	3.11	5.02	105434.085	48.0%	5.04	109799.960	53.7%
	6384	3.81	4.93	85531.914	39.0%	4.94	87847.274	43.0%
	25536	4.41	4.92	82600.228	37.6%	4.91	81195.807	39.7%

이상의 해안선 길이가 산출되었으며, 6,384m 이하일 때 50%로 산출되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

해안선은 약최고고조면을 기준으로 하는 경계선을 의미하여 국토형상을 결정하는 요소이며 국가통계에서도 사용된다. 축척에 따라 최소 정점 간격을 어떻게 결정하였는지에 따라 해안선의 길이가 달라짐으로써 국가통계로 사용되는 일관된 해안선 산출방법이 필요하다.

Tables 1 and 2에서 볼 수 있듯이 분할자가 커질수록 전체 해안선 길이에 해안선 산출길이가 줄어드는 것을 확인하였다. 이는 해안선 길이 정책이나 예산 산출 시 현실과 상당한 오차를 발생 시킬 수 있다는 점을 시사한다. 이러한 산출길이 비율은 프랙탈 차원에 따라 즉, 복잡도에 따라 달라지고 있음을 확인하였다.

향후 프랙탈 기법인 divider method, modified divider method, box-counting method 방법으로 프랙탈 차원을 산출하여 적용방법에 따라 해안선 길이 산출 비율이

달라지는 것을 파악하고 다양한 방법으로도 해안선 길이 산출을 위한 일관된 정점간격 도출 가능성에 대한 타당성 검토가 필요하다. 또한 정점 간격을 세분화하여 전체 해안선 길이 대비 산출길이 비율 기준을 제시함으로써 프랙탈 차원에 따른 최소 정점간격을 도출하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국연구재단 2016 이공학 개인기초연구 지원사업 지원(2016R1D1A1B03936246)에 의하여 연구되었다.

References

1. Brown, S. R., 1987, A Note in the description of surface roughness using fractal dimension, Geophysical Research Letters, Vol. 14, No. 11, pp. 1095-1098.
2. Cho, S. H., Woo, H. S., Kwon, K. S. and Kim, B.

- G., 2015, Statistical methods for determining consistency of shoreline, Proc. of Conference on Geo-Spatial Information, CogSI, Korea, pp. 191-195.
3. Choi, H. Y., 2015, The legal study for marine spatial planning system, Research report, Korea Legislation Research Institute, Korea, pp. 3-4.
 4. Choi, S. H., Kim, J. C. and Lee, H. W., 2014, The coastline length of Korea is 37%, Ministry of Oceans and Fisheries, <http://coast.mof.go.kr/coastNews/board/newsBoardView.do?seq=1294>
 5. Dai, Z. J., Li, C. C. and Zhang, Q. L., 2004, Fractal analysis of shoreline patterns for crenulate-bay beaches, Southern China, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 61, No. 1, pp. 65-71.
 6. Fractal foundation, 2016, Fractal foundation online course, Fractal foundation, <http://fractalfoundation.org/OFC/OFC-10-4.html>
 7. Jang, H. S., Jang, B. A. and Kim, Y., 2005, Estimation of joint roughness coefficient(JRC) using modified divider method, The Journal of Engineering Geology, Vol. 15, No. 3, pp. 259-280.
 8. Je-ju Special Self-Governing Province, 2016, Je-ju island status and terrain, Je-ju Special Self-Governing Province, <https://www.jeju.go.kr/jeju/peace/world/present.html>
 9. Jiang, J. and Plotnick, R. E., 1998, Fractal analysis of the complexity of United States coastlines, Mathematical Geology, Vol. 30, No. 5, pp. 535-546.
 10. JoongAng Ilbo, 2015, Constitutional court of Korea, Taean-Hongseong, Chungnam maritime boundary spot inspection, JoongAng Ilbo Co., Ltd., <http://news.joins.com/article/17425723>
 11. Kim, T. H. and Park, S. H., 1998, Geographical landscape of Je-ju island coast, Research report, Ministry of Environment, Korea, pp. 3-172.
 12. Kim, T. H., 2003, Geomorphological land classification of coastal zones in Jeju island, Journal of The Korean Geomorphological Association, Vol. 10, No. 1, pp. 33-47.
 13. Klinkenberg, B., 1994, A review of methods used to determine the fractal dimension of linear features, Mathematical Geology, Vol. 26, No. 1, pp. 23-46.
 14. Korea Meteorological Administration, 2009, Characteristics of Je-ju special self-governing province, Korea Meteorological Administration, http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional05.jsp
 15. Korean Statistical Information Service, 2016, Je-ju island coastline length by year, Korean Statistics Information Service, <http://www.kosis.kr/wnse>
 16. McWilliams, P. C., Kerkering, J. C. and Miller, S. M., 1993, Estimation of shear strength using fractals as a measure of rock fracture roughness, Research report of Investigations, US Department of the Interior, Bureau of Mines, pp. 1-36.
 17. Priya, R. S. M. and Radhakrishnan, V., 2016, Fractal reflections of Tamil Nadu coast, Communications in Applied Geometry, Vol. 3, No. 1, pp. 1-9.
 18. Su, F., Gao, Y., Zhou, C., Yang, X. and Fei, X., 2011, Scale effects of the continental coastline of China, The Journal of Geographical Sciences, Vol. 21, No. 6, pp. 1101-1111.
 19. Wikipedia, 2016, Fractal, Wikimedia Foundation, Inc., <https://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>
 20. Wikipedia, 2016, Je-ju Island, Wikimedia Foundation, Inc., <https://en.wikipedia.org/wiki/Jeju>
 21. Woo, H. S., Kwon, K. S. and Kim, B. G., 2014, A study on the length characteristic of korea coastlines with fractal dimensions, Proc. of 40th 2014 Civil Expo & Conference, KSCE, Daegu, Korea, pp. 623-624.
 22. Xiaohua, Z., Yunlong, C. and Xiuchun, Y., 2004, On fractal dimensions of China's coastlines, Mathematical Geology, Vol. 36, No. 4, pp. 447-461.