



## 프랙탈 차원을 이용한 해저 퇴적환경 분석 적용성 검토

### A Review of the Applicability of The Fractal Dimension of Grain Size Distribution for a Analysis of Submarine Sedimentary Environments

노수각\* · 손영환\*\*† · 봉태호\*\*\* · 박재성\*\*\*\*

Noh, Soo-Kack · Son, Young-Hwan · Bong, Tae-Ho · Park, Jae-Sung

#### ABSTRACT

The fractal method has recently been applied to a model for determining soil grain size distribution. The objective of this study is to review the applicability of the fractal method for a analysis of submarine sedimentary environments by comparing fractal constants with grain size statistical analysis for the soil samples of Pohang (PH) and Namhae (NH). The y-interception of log (grain size)-log (passing) equation was also used because grain size distribution couldn't be expressed with fractal dimension only. The result of comparison between fractal constants (dimension, y-interception) and grain size statistical indices, the fractal dimension was directly proportional to the mean and the sorting. And the y-interception showed high correlation with the mean. The fractal dimension and y-interception didn't show significant correlation with the skewness and the kurtosis. Thus regression equations between fractal constants and two statistical indices (mean, sorting) were derived. All classifications of the mean and the sorting could be determined using the regression equation based on the fractal dimension and y-interception. Therefore, fractal constants could be used as an alternative index representing the sedimentary environments instead of the mean and sorting.

**Keywords:** Submarine sedimentary environments, fractal dimension, mean, sorting, skewness, kurtosis

## 1. 서 론

퇴적층의 흙의 거동은 매우 복잡하며 지질학적 이력에 의존한다. 지질학적 이력은 흙 입자의 크기, 형상, 조성, 조밀도 등 입자의 특성에 영향을 받게 되며 이러한 퇴적층의 퇴적학적 특성은 흙의 역학적 거동에 영향을 미치게 된다 (Wroth, 1984; Cafaro and Cotecchia, 2001; Chandler, 1972). 따라서 퇴적물의 역학적 거동을 정확히 예측하기 위하여 퇴적층에 대한 퇴적환경의 분석이 매우 중요하다.

퇴적환경 분석의 중요성에 대한 인식이 커짐에 따라 자연 퇴적물의 퇴적환경을 분석하는 다양한 방법들이 논의되었다. 이러한 방법들 중 입도분포 분석 결과의 통계적 처리를 통하여 산정

된 지수가 널리 사용되고 있다. 이 방법은 파이( $\phi$ , phi) 척도로 측정된 입경으로 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등을 산정하여 퇴적물의 퇴적이력 및 경향을 추정하고 퇴적학적 특성을 분석한다 (Bahng et. al., 1995; Won et al., 2005; Kim et. al., 2007; Son et. al., 2009).

하지만 입도분포의 통계 지수를 산정하는데 있어 입도분포 분석 결과의 일부만을 사용하고 있다는 점이 문제점으로 작용하며 연구자에 따라 고려하는 입경과 식이 달라 각 방법에 따른 적용 대상에 대한 정확한 분석이 필요하다.

이러한 입도분포 결과에 대한 해석 방법들의 한계점을 극복하고자 입도분포 전체 결과를 반영할 수 있는 분열 프랙탈 차원의 적용이 제안되었다. 분열 프랙탈 차원은 기존의 방법과는 달리 입도분포곡선 전체의 값을 사용하여 입도분포의 전체적인 해석과 특성을 파악하는데 적합하고 산정방법이 간편하다는 장점이 있다. 이런 프랙탈 차원은 공학적 성질과 입도분포 특성과의 분석에 용이하여 점착력, 내부 마찰각, 투수계수 등 공학적 성질과 입도분포특성과의 관계를 분석하는데 많이 적용되었다 (Bonala and Reddi, 1999; Gori and Mari, 2001; Park et. al., 2006; Noh et. al., 2007; Yu et. al., 2002). 하지만 프랙탈 차원은 입도분포곡선의 기울기 경향만을 표현할 뿐, 시작점을 규정하지

\* 서울대학교 조경-지역시스템공학부 대학원

\*\* 서울대학교 조경-지역시스템공학과 조교수, 서울대학교 농업생명과학연구원

\*\*\* 서울대학교 조경-지역시스템공학부 대학원

\*\*\*\* 서울대학교 조경-지역시스템공학부 대학원

† Corresponding author Tel.: +81-2-880-4585

Fax: +81-2-873-2087

E-mail: syh86@snu.ac.kr

2011년 9월 19일 투고

2011년 10월 25일 심사완료

2011년 10월 26일 게재확정

못하여 정확한 입도분포곡선을 모사하지 못한다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 남해와 포항 해저에서 연속적으로 채취한 심도별 시료에 대하여 입도분석을 실시하여 입도분포 통계지수와 프랙탈 차원을 구하였다. 또한 입도분포곡선의 시작점으로  $\log(\text{입경})-\log(\text{통과율})$  방정식의 Y 절편을 산정하였다. 산정된 프랙탈 차원 및 Y절편과 각 통계 지수와의 상관 분석을 실시하여 상관관계에 대한 신뢰성을 확보하였으며 이를 통해 프랙탈 차원 및 Y 절편이 입도 통계 분석 방법을 대체하여 해저 퇴적환경 분석에 적용 가능한지 여부를 검토하였다.

## II. 기본이론

### 1. 분열 프랙탈 차원

프랙탈은 수학자 Mandelbrot (1982)에 의하여 일정한 규칙 하에 자기 복제를 순환적으로 반복하는 과정에 의하여 만들어진 물체로 정의되었다. 기존 유클리드 기하학에서 복잡한 수식으로 전개되는 형상들을 프랙탈 기하학은 간단한 수식으로 알고리즘을 전개해 나감으로 대상물 전체를 power-law 형식의 수식으로 간단히 표현하였다 (Stevens, 1989).

분열은 한 입자가 여러 조각으로 깨어지는 과정으로 서로 다른 크기를 가진 다중파쇄의 전달에 의해 생성되며 반복적인 알고리즘에 의한 생성이다. 따라서 분열은 자기유사성을 가진 프랙탈로 설명 가능하며 서로 다른 크기로 다중 파쇄에 의해 생성된 이질재료들의 분열을 분열 프랙탈이라 한다 (Turcotte, 1986; Perfect and Blevins, 1997; Perfect et. al., 2002).

여러 가지 자연 현상들은 분열 프랙탈로 설명 가능하며 그 중 암석의 풍화에 의한 흙의 생성이 가장 대표적이다. 신선한 암석의 동결/융해, 화학적/물리적 풍화 작용을 통한 작은 입자들로의 쪼개짐은 분열에 해당하며 하나의 모암이 일정한 규칙을 가지고 균열되게 되어 풍화 잔류토가 생성되는 것은 반복 알고리즘에 의하여 흙 입자가 생성되는 분열 프랙탈로 판단할 수 있다 (Min and Lee, 2003).

흙 입도에 대한 분열 프랙탈 차원의 적용은 초기 기존 프랙탈 차원에 사용되었던 방법을 이용하여 입경-수량 방법이 사용되었다 (Tyler and Wheatcraft, 1992). 하지만 보통의 입도분포시험 결과는 입경에 대한 중량비로 나타내기 때문에 이를 입경-중량식으로 전환하였다. 입경-중량식으로 전환한 식은 다음과 같다 (Bittelli et. al., 1999).

$$r^m \propto r^{3-D_f} \quad (1)$$

$$D_f = 3 - m \quad (2)$$

$r$  : Particle size

$m$  : Slope of  $\text{Log}(\text{Passing}(r)) - \text{Log}(r)$

$D_f$  : Fractal dimension for grain size distribution

### 2. 입도 분포의 통계 지수

퇴적물의 입도분포 특성은 기원지의 퇴적물 특성과 퇴적과정에 영향을 미치는 여러 가지 환경요인에 의하여 결정된다. 따라서 퇴적물의 입도특성과 퇴적환경에 대한 연관성에 대한 연구가 다수 이루어졌다.

초기 연구에서 퇴적물의 입도분포 특성을 나타내는 적절한 방법에 대한 고찰이 이루어졌다. Krumbein (1938)은 퇴적물의 입도는 로그척도 (파이척도)로 표현될 때, 입도분포가 정규분포를 따른다 하였으며 정규분포에 대한 수학적 이론이 이미 잘 확립되어 퇴적물 입도를 분석하는데 적절한 수단이 될 수 있을 것이라 주장하였다. 이후 퇴적물 입도를 분석하는데 입도분포를 로그 정규분포로 가정하여 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도를 계산하는 방법이 일반화되었다.

따라서 이러한 통계 지수를 산정하는데 있어 흙 입도 분석에 적합한 식들이 여러 연구자들에 의하여 제안되었다. 그 중 Folk and Ward (1957)는 입도분포가 일반적인 정상정규분포를 따르지 않기 때문에 복모드 정규분포 분석에 적합한 식을 제안하였다. 복모드 정규분포에 적합한 Folk and Ward식은 퇴적환경 분석에 주로 사용되었으며 따라서 본 연구에서는 본 식을 사용하였다. Folk and Ward가 제안한 통계 지수 산정식은 다음과 같다.

Table 1 Equation for statistical analysis of particle size (Folk and Ward, 1957)

Classification	Equation
Mean	$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$
Sorting	$\sigma_T = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$
Skewness	$Sk_T = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} - \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$
Kurtosis	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

$\phi_x$  :  $\log_2[\text{The particle size}(mm) \text{ passing } x\%]$

## III. 재료 및 시험방법

### 1. 재료

본 연구를 위한 시료는 포항과 남해 지역의 해저에서 채취되

**Table 2 Results of grain size distribution**

Depth (m)	PH				Depth (m)	NH			
	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
1	2.04	53.20	38.78	5.97	1	0.46	11.45	75.84	12.25
2	0.24	50.70	44.83	4.22	2	1.28	40.81	49.75	8.16
3	0.10	56.81	38.73	4.37	3	4.37	62.81	28.73	4.09
4	0.18	63.46	33.52	2.84	4	2.64	69.36	24.76	3.24
5	1.22	76.49	21.16	1.13	5	5.82	45.43	41.57	7.19
6	0.11	57.03	39.51	3.35	7	1.26	61.77	32.68	4.29
7	0.00	47.21	48.46	4.34	8	7.53	56.76	31.26	4.45
8	0.00	67.29	30.41	2.30	9	3.81	32.56	54.06	9.57
9	0.25	78.60	20.19	0.96	10	3.91	11.60	67.31	17.17
10	0.05	87.97	11.30	0.68	11	2.88	49.06	43.58	4.48
11	0.08	96.67	3.23	0.02	12	3.29	63.22	30.81	2.68
12	0.00	96.91	3.08	0.02	16	0.78	66.39	29.09	3.74
13	0.00	92.95	7.03	0.02					
13.5	0.13	87.12	12.21	0.54					

었으며, PH, NH로 구분하여 표기하였다. 각 지역에서 채취한 시료의 입도분석 결과는 Table 2와 같다.

**2. 시험방법**

본 연구를 위하여 입경 2.0 mm까지 체분석을 실시하였으며 2.0 mm 이하의 입경은 레이저 입도분석기 (Mastersizer 2000, Malvern 사)를 이용하여 분석하였다. 레이저 입도분석기는 레이저의 회절과 산란특성을 이용한 입도분석 방법이다. 입도분석을 위한 시료는 자연 상태의 흙을 이용하며, 분석 전 시료에 과산 화수소를 가하여 충분히 반응시킨 후 초음파를 이용하여 입자를



**Fig. 1 Laser particle size analyser(Mastersizer 2000)**

분리시킨다. 분리된 입자에 레이저를 가하여 회절되는 정도로 입도를 산정하며 입경 0.2~2000 μm까지 측정 가능하다.

**IV. 결과 및 고찰**

**1. 프랙탈 차원 산정**

프랙탈 차원의 퇴적환경 분석 적용성 평가를 위하여 대상 시료의 입도분포 곡선 전체 구간에 대한 프랙탈 차원을 입경-질량 방법을 이용하여 산정하였다. 또한 프랙탈 차원만으로 전체 입도 분포곡선을 정확히 표현할 수 없기 때문에 프랙탈 차원을 구하기 위한 log (입경)-log (통과율) 상관식의 Y 절편을 구하였다. 상관식의 Y 절편은 입도분포곡선의 시작점인 최대 입경을 대변할 수 있는 지수로 활용될 수 있다. 각 시료의 프랙탈 차원과 Y 절편 산정결과는 Table 3과 같다.

두 지역에서 채취한 심도별 시료의 프랙탈 차원 산정 결과, 포항 시료의 전체 입경 구간에 대한 프랙탈 차원은 1.9801~2.6160이 분포를 보였으며 남해 시료의 프랙탈 차원은 2.4068~2.6803로 나타났다. log로 표현된 입경-통과율 추세선의 Y 절편을 산정한 결과, 2.0279~2.1453의 분포를 보였다.

각 입경구간의 기울기 경향이 전체 프랙탈 차원에 미치는 영향을 파악하기 위하여 KS F 2301 기준에 의거 입경 크기별로 모래 (0.075~2.00 mm), 실트 (0.005~0.075 mm), 점토 구간 (~0.005 mm)으로 나누어 프랙탈 차원을 산정하였다. 포항 시료의 11~13 m 시료는 점토 함유량이 극히 미량이라 점토

**Table 3 Fractal dimension and Y-intercept for each samples**

Depth (m)	PH		Depth (m)	NH	
	F.D.	Y-intercept		F.D.	Y-intercept
1	2.6160	2.0610	1	2.6173	2.1453
2	2.5593	2.1005	2	2.5639	2.0877
3	2.5720	2.0852	3	2.4643	2.0420
4	2.4949	2.0981	4	2.4335	2.0279
5	2.3573	2.0917	5	2.5447	2.0853
6	2.5261	2.1011	7	2.4733	2.0477
7	2.5720	2.1023	8	2.4882	2.0534
8	2.4532	2.1013	9	2.5848	2.1082
9	2.3313	2.0913	10	2.6803	2.1204
10	2.2609	2.0759	11	2.4779	2.1116
11	1.9852	2.0867	12	2.4068	2.0813
12	1.9801	2.0924	16	2.4522	2.0371
13	2.0405	2.1322			
13.5	2.2456	2.0959			

F.D.: Fractal dimension for grain size distribution

Y-intercept: Y-intercept of the equation for log (grain size)-log (passing)

Table 4 Fractal dimensions for each domains

Depth (m)	PH			Depth (m)	NH		
	F.D. <sub>sand</sub>	F.D. <sub>silt</sub>	F.D. <sub>clay</sub>		F.D. <sub>sand</sub>	F.D. <sub>silt</sub>	F.D. <sub>clay</sub>
1	2.6314	2.4637	1.5155	1	2.9668	2.4647	0.9785
2	2.6519	2.3048	1.5933	2	2.8046	2.4671	1.1059
3	2.5828	2.3832	1.4546	3	2.5908	2.4271	1.1389
4	2.5252	2.3044	1.4878	4	2.5185	2.4021	1.2701
5	2.2967	2.1919	1.2522	5	2.7627	2.4867	1.0597
6	2.5862	2.2942	1.5085	7	2.6478	2.4016	1.2341
7	2.7193	2.3071	1.5785	8	2.6539	2.4263	1.2587
8	2.4933	2.2699	1.4960	9	2.8494	2.4942	0.9586
9	2.2744	2.1671	0.8597	10	2.9516	2.5766	1.2294
10	1.9501	2.2322	0.6411	11	2.7776	2.3716	1.0971
11	1.2731	2.0659	-	12	2.6099	2.3274	0.9219
12	1.3028	2.0818	-	16	2.6161	2.4023	1.2484
13	1.7796	1.9107	-				
13.5	2.0250	2.1757	0.2124				

F.D.<sub>sand</sub>: Fractal dimension for sand domain grain size distribution  
 F.D.<sub>silt</sub>: Fractal dimension for silt domain grain size distribution  
 F.D.<sub>clay</sub>: Fractal dimension for clay domain grain size distribution

구간의 프랙탈 차원 산정이 어려워 제외하였다. 각 시료의 구간별 프랙탈 차원 산출 결과는 Table 4와 같다.

모래, 실트, 점토 구간에 대한 프랙탈 차원과 전체 입경 구간에 대한 프랙탈 차원과의 상관성을 분석하기 위하여 전체 프랙탈 차원에 대한 각 구간의 프랙탈 차원을 도시하였으며 PASW 통계 프로그램을 이용하여 Pearson 상관 분석을 실시하였다. 각 입경구간에 대한 프랙탈 차원과 전체 프랙탈 차원과의 상관관계는 Table 5와 같다.

전체 구간의 프랙탈 차원과 각 입경구간의 프랙탈 차원과의 상관 분석 결과, 포항 시료는 모래와 실트 구간의 프랙탈 차원

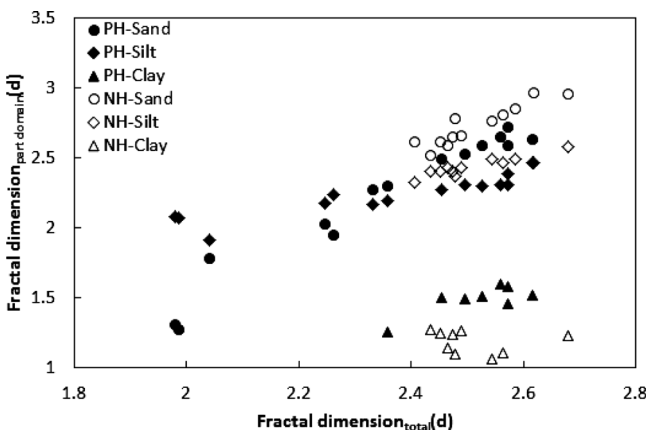


Fig. 2 Comparison between fractal dimension for total domain and part domains

Table 5 Results of Pearson's correlation analysis between total and each domain fractal dimensions

Domain	PH	NH
Sand	0.975	0.926
Silt	0.907	0.918
Clay	0.900	-0.155

이 전체 구간 프랙탈 차원과 양의 선형 상관성이 나타났으며 그 중 모래 구간의 프랙탈 차원이 가장 높은 상관관계를 보였다. 이는 포항 시료의 구성성분 중 모래가 차지하는 비율이 50.70 ~ 96.91 %로 가장 높기 때문에 이 구간의 기울기 경향이 전체 구간의 기울기 경향에 주요한 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 남해 시료 또한 모래와 실트 두 구간의 프랙탈 차원과 전체 구간의 프랙탈 차원이 높은 양의 선형 상관관계를 보였으며 전체 구간 프랙탈 차원과 두 구간의 프랙탈 차원과의 상관계수는 유사하게 나타났다. 남해 시료 또한 전체입도의 대부분을 차지하는 모래와 실트 구간의 기울기 경향이 전체 입도분포 곡선의 경향에 주요한 영향을 준 것으로 판단된다. 점토 구간의 프랙탈 차원은 각 지역 시료의 경향이 다르게 나타났다. 포항 시료는 상대적으로 높은 상관관계를 나타내는데 이는 점토시료의 양이 매우 적어 기울기의 경향이 앞 구간인 실트 영역의 영향을 받아 비슷한 경향을 나타내가 때문인 것으로 판단된다. 반면 남해 시료는 점토가 전체 입도에서 차지하는 비율이 3.14 ~ 17.36 %로 독자적인 경향을 형성할 수 있지만 이 구간의 경향이 전체 경향에 미치는 영향이 작기 때문에 서로 독립적인 경향성을 나타내는 것이라 판단된다.

## 2. 입도분포곡선의 프랙탈 차원과 통계 지수와의 비교 분석

본 연구에서는 Folk and Ward (1957) 방법을 사용하여 대상 시료에 대한 입도분포의 통계 지수를 산정하였다. 또한 입도분포의 통계처리에서는  $\phi$ 값을 사용하였다. 각 시료의 입도 분포 통계 지수 산정 결과는 Table 6과 같다.

포항과 남해 시료에 대한 입도분포 통계지수 산정결과 포항시료와 남해시료는 입경 분류상 실트 또는 모래로 분석되며 분급도는 두 지역 시료 모두 빈한 입도의 경향이 나타났다. 왜도는 두 지역의 시료 대부분이 조립토가 상대적으로 세립토보다 많은 양의 왜도값을 가진다. 포항 시료의 침도는 남해 시료에 비하여 입도분포가 정규분포에 가까운 mesokurtic 경향이 가장 많이 보이고 있으며 남해시료는 날카로운 경향이 가장 많이 나타났다.

상기 결과값을 이용하여 입도분포의 프랙탈 차원이 퇴적환경 분석에 적용이 가능한지를 알아보기 위하여 입도분포 통계 지수

Table 6 Results of statistical analysis of grain size distribution for each samples

Depth (m)	PH				Depth (m)	NH			
	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis		Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis
1	4.4723	2.3722	0.4590	0.9518	1	6.5438	2.1420	-0.0392	1.0488
2	4.3394	2.0794	0.3520	0.9707	2	4.6348	2.9874	0.0544	0.7035
3	4.2943	2.1516	0.4958	0.9548	3	3.4782	2.4687	0.3651	0.9824
4	3.9458	1.8450	0.4984	1.1645	4	3.1849	2.1962	0.4011	1.1206
5	3.2252	1.5560	0.3996	1.4852	5	4.4802	2.8484	0.2163	0.8159
6	4.1239	2.0031	0.4335	1.0261	7	3.5969	2.5459	0.2764	0.9292
7	4.5335	2.1080	0.3163	1.0197	8	3.7626	2.5405	0.3003	0.9540
8	3.7570	1.7564	0.4565	1.2953	9	5.1423	2.9520	-0.0347	0.8525
9	3.1352	1.4949	0.3809	1.7491	10	6.8984	2.4167	-0.1413	1.1289
10	2.8022	1.1228	0.3827	1.6348	11	4.4776	2.4587	0.2765	0.9468
11	2.5925	0.6030	0.1785	1.0169	12	3.6362	2.4705	0.3343	0.9113
12	2.6437	0.5805	0.1870	1.0056	16	3.3605	2.3961	0.2713	1.0407
13	2.7259	0.8837	0.2964	1.3398					
13.5	2.8988	1.1126	0.3759	1.5946					

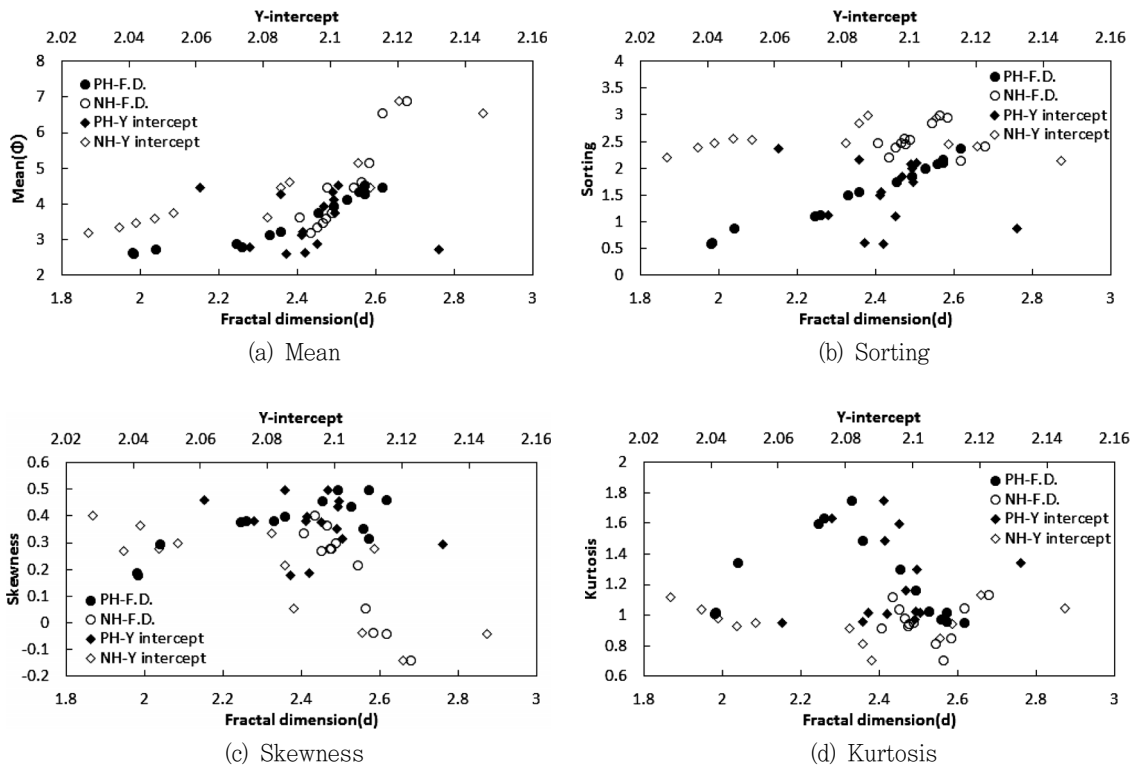


Fig. 3 Comparison between constants of statistical analysis of grain size distribution and fractal dimension and Y-intercept

와 프랙탈 차원 및 Y 절편 값과 비교하였다. 각 통계지수와 프랙탈 차원 및 Y 절편의 비교 결과는 Fig. 3에 도시하였다.

입도분포의 통계 지수와 프랙탈 차원 및 Y 절편과의 상관도를 도시한 결과, 두 지역 시료 모두 프랙탈 차원이 증가함에 따라

평균입경과 분급도가 커지는 것으로 나타났다. Y 절편의 경우 남해 시료는 평균입경과 정비례 관계가 형성되었지만 포항 시료는 일부구간에서만 평균입경과 양의 선형관계가 형성되었으며 경향에서 크게 벗어나는 점이 나타났다. 왜도와 첨도는 프랙탈 차

**Table 7 Pearson's correlation analysis between constants of statistical analysis of grain size distribution and fractal dimensions and Y-intercept**

Sample	Division	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis
PH	F.D. <sub>total</sub>	0.943	0.988	0.790	-0.276
	Y-intercept	-0.166	-0.231	-0.214	0.075
NH	F.D. <sub>total</sub>	0.937	0.204	-0.842	0.006
	Y-intercept	0.893	0.087	-0.531	-0.102
Total	F.D. <sub>total</sub>	0.788	0.860	0.305	-0.413
	Y-intercept	0.444	-0.235	-0.013	0.139

원이 증가함에 따라 감소하는 것으로 보이나 그 상관성은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. Y 절편은 남해 시료만 왜도와 음의 선형관계가 형성되는 것으로 나타났다.

위 분석결과를 기반으로 입도분포의 통계 지수와 프랙탈 차원 및 Y 절편과의 정확한 선형 상관관계 여부를 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였다. 각 지역 시료별로 상관분석을 실시한 후 일반적인 경향분석을 위하여 포항과 남해 시료 모두를 고려한 상관분석도 함께 실시하였다. 각 통계지수와 프랙탈 차원 및 Y 절편과의 Pearson 상관분석 결과는 Table 7과 같다.

Pearson 상관분석 결과, 평균입경은 두 지역 시료 모두 프랙탈 차원과 높은 양의 선형관계가 형성되는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 사용된 시료가 모두 실트질 또는 모래질 시료로 입도분포곡선의 시작부분인 최대입경이 10 mm로 고정되어 있어 끝부분인 세립분의 함량이 전체 입도분포 곡선의 기울기를 결정하기 때문인 것으로 판단된다. 세립분 함량이 많아지게 되면 기울기가 작아져 프랙탈 차원이 증가하고 평균입경이 작아져  $\phi$  scale 평균입경이 커지게 된다.

분급도의 경우, 포항 시료는 프랙탈 차원과 높은 양의 선형관계가 나타났지만 남해 시료는 상대적으로 낮은 상관성을 보였다. 하지만 포항과 남해 시료를 모두 고려하였을 때, 모든 구간의 프랙탈 차원이 분급도와 높은 양의 선형 상관도를 보였다. 이는 남해시료의 전체 입경 구간으로 산출한 프랙탈 차원의 분포가 2.4068~2.6803로 가장 높은 프랙탈 차원과 가장 낮은 프랙탈 차원의 차이가 0.2735로 좁은 구간에 모든 시료의 프랙탈 차원이 분포하여 남해시료 개별적으로는 분급도와의 경향성이 낮게 나타났다. 하지만 프랙탈 차원이 1.9801~2.6160로 넓은 구역의 분포를 보이는 포항시료를 함께 고려하였을 경우 같은 경향선상 위에 있기 때문에 전체적인 경향에 있어 높은 양의 선형 상관관계를 보이는 것으로 판단된다.

왜도는 두 시료간의 경향성이 다르게 나타났으며 두 시료 모두를 고려했을 경우는 Pearson 상관계수가 0.305로 상대적으로 상관성이 낮게 나타났다. 침도는 두 지역 시료 모두 프랙탈 차원과

선형관계가 낮게 나타났다.

Y 절편은 남해 시료의 평균입경과만 높은 상관관계가 나타났으며 두 지역 시료를 모두 고려하였을 경우 왜도와 침도에 비하여 평균입경과 분급도가 상대적으로 높은 상관도를 보였다.

따라서 평균입경과 분급도는 프랙탈 차원과 Y 절편값을 이용하여 다음 식과 같이 표기할 수 있다.

$$Mean = a \cdot F.D. + b \cdot C + c \quad (3)$$

$$Sorting = l \cdot F.D. + m \cdot C + n \quad (4)$$

F.D. : Fractal dimension for grain size distribution

C : Y-intercept of the equation for log (grain size)-log (passing)

회귀식 산정에 있어 고려하고 있는 두 변수인 프랙탈 차원과 Y 절편값에 대해 전진, 후진, 단계 선택법을 사용하여 위 방정식에 대한 상수를 산정하였다. 여기서 a, b, c, l, m, n은 프랙탈 차원과 Y 절편으로 평균입경과 분급도를 산정하기 위한 계수이다. 회귀식 산정에 고려한 데이터는 각 지역 시료별 그리고 두 지역 시료들을 모두 고려하여 산정하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다.

회귀식 산정 결과, 모든 변수 선택법에서 두 변수를 유의미한 요소로 평가하였으며 프랙탈 차원과 Y 절편을 이용한 평균입경 회귀식의  $R^2$ 값이 0.829~0.961으로 유의성이 높게 나타났다. 분급도는 남해 시료의 회귀식이 낮은  $R^2$ 값을 나타냈지만 전체를 고려한 회귀식은  $R^2$ 값이 0.789로 높게 산정되어 전체를 고려한 회귀식에 대한 유의성이 높다 평가 된다. 따라서 상기 결과를 이용하여 포항과 남해 시료 모두 고려한 회귀식으로 프랙탈 차원과 Y 절편을 이용하여 평균입경과 분급도를 추정하였다.

포항 및 남해 시료의 분석 결과, 두 지역의 심도별 시료에 대한 프랙탈 차원과 Y 절편값으로 위 도표와 그림을 이용하여 해저 퇴적환경 분석을 위해 기존 방법으로 산출하던 평균입경과 분급도에 대한 산출방식을 대신할 수 있을 것이라 판단된다. 기존 방법으로 산출하던 평균입경은 퇴적물의 속도와 퇴적물의 기

**Table 8 Equation relational expression for mean and sorting**

Sample	Mean			$r^2$	Sorting			$r^2$
	a	b	c		l	m	n	
PH	3.186	3.998	-12.345	0.895	2.634	1.031	-6.818	0.977
NH	9.066	14.227	-47.952	0.961	1.035	-1.080	2.178	0.052
Total	4.510	17.220	-42.950	0.829	3.095	-5.357	5.662	0.789

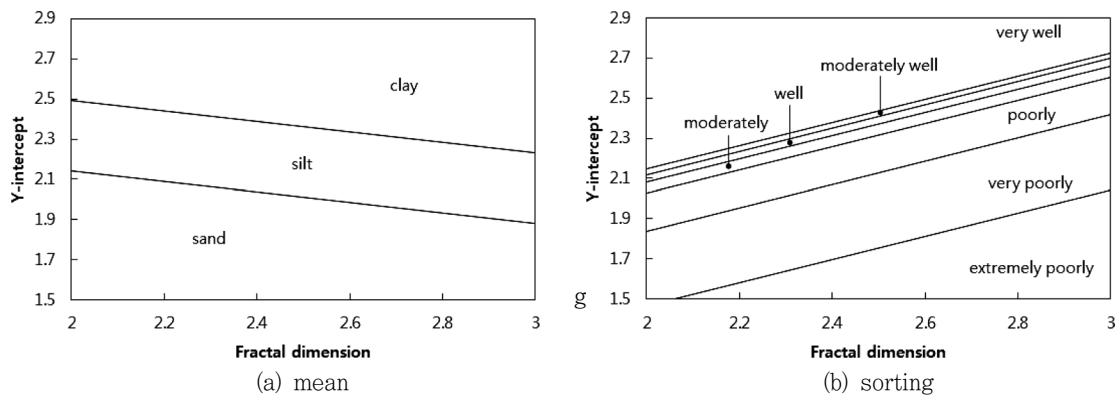


Fig. 4 Classification of mean and sorting using fractal dimension and Y-intercept

원에 대하여 추적한다. 또한 분급도는 운반매질, 퇴적속도 등의 해저 퇴적환경 정보를 제공한다. 하지만 두 지수는 서로 다른 환경에서 형성되는 것이 아니라 동시에 같은 영향을 받아 형성되므로 종합적으로 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 방법은 log로 표현된 입도 분포곡선의 입경-통과율 추세를 통해 산출되는 두 지수인 프랙탈 차원과 Y 절편값으로 평균입경 및 분급도를 종합적으로 판단할 수 있어 해저 퇴적환경을 분석하는 간편한 방법이 될 수 있을 것이라 판단된다.

### V. 요약 및 결론

본 연구에서는 남해와 포항에서 연속적으로 채취한 심도별 시료를 대상으로 입도분포 전체를 고려할 수 있는 지수인 프랙탈 차원이 퇴적환경 분석하는데 적용 가능한지 여부를 평가하였다. 연구결과의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 대상 시료의 구간별 프랙탈 차원 산정 결과, 포항 시료의 전체 입경 구간에 대한 프랙탈 차원은 1.9801~2.6160이며 남해시료는 2.4068~2.6803의 분포를 보였다. 입경 구간별 프랙탈 차원은 두 지역의 시료 모두 점토 구간의 프랙탈 차원이 가장 낮은 값을 보였다. 또한 log-log로 표현된 입경-통과율 추세선의 y 절편은 2.0279~2.1453의 분포를 보였다.
2. 전체 입경 구간에 대한 프랙탈 차원과 각 입경구간에 대한 프랙탈 차원과의 Pearson 상관분석 결과 시료에 포함하고 있는 구성 성분의 비율이 높을수록 그 구간에 대한 기울기가 전체 기울기에 미치는 영향이 크기 때문에 상관관계가 높게 나타나는 것으로 판단된다.
3. 입도분포의 통계 지수와 포항 및 남해 시료를 모두 고려한 프랙탈 차원 및 Y 절편과의 Pearson 상관분석 결과, 전체 구간에 대한 프랙탈 차원과 평균입경 및 분급도와 높은 양의 선형관계가 나타났으며 침도와 왜도와는 상대적으로 상관도가 낮은 것

으로 나타났다. Y 절편은 평균입경과 양의 선형관계 분급도와는 음의 선형관계가 형성되는 것으로 나타났으며 침도와 왜도는 상대적으로 상관도가 낮은 것으로 분석되었다.

4. 프랙탈 차원 및 Y 절편과 평균입경 및 분급도와 선형 회귀 분석 결과, 높은 결정계수 값을 가진 회귀식이 산정되었다. 이를 이용하여 포항과 김포 시료의 프랙탈 차원과 Y 절편으로 평균 입경 및 분급도를 구분하였다. 따라서 프랙탈 차원과 Y 절편 값으로 평균입경과 분급도를 추정하여 이를 대체할 수 있을 것이라 판단된다.

5. 평균입경은 퇴적속도와 퇴적물의 기원에 대하여 추적하며 분급도는 운반매질, 퇴적속도 등의 해저 퇴적환경 정보를 제공한다. 따라서 프랙탈 차원과 Y 절편으로 평균입경 및 분급도를 동시에 추정하여 각 통계 지수 마다 다른 식으로 구해야 하는 과거 방법에서 탈피하여 log로 표현된 입경-통과율 관계로 쉽게 산출할 수 있는 프랙탈 차원과 Y 절편값 만으로 평균입경과 분급도를 종합적으로 판단하고 해저 퇴적환경을 분석할 수 있는 간편한 방법이 될 수 있을 것이라 판단된다.

### REFERENCES

1. Bahng, H. K., G. H. Min, J. K. Oh, 1995, Sedimentary environment of bimodal shelf sediments: Southern continental shelf of Korean peninsula, *The Journal of The Korean Society of Oceanography*, 30(1): 1-12.
2. Bittelli, M., G. S. Camblbell, M. Flury, 1999, Characterization of particle-size distribution in soil with a fragmentation model, *SSSAJ*, 63: 782-788.
3. Bonala, Mohan V. S., N. Reddi Lakshmi, 1999, Fractal representation of soil cohesion, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 901-

- 904.
4. Cafaro, F., F. Cotecchia, 2001, Structure degradation and changes in mechanical behavior of a stiff clay due to weathering, *Geotechnique*, 51(5): 441-453.
  5. Chandler, R. J., 1972, Lias clay: Weathering processes and their effect on shear strength, *Geotechnique*, 22(3): 403-431.
  6. Folk, R. L., W. C. Ward, 1957, Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
  7. Gori, U., M. Mari, 2001, The correlation between the fractal dimension and internal friction angle of different granular materials, *Japanese Geotechnical Society, Soil and Foundation*, 41(6) : 17-23.
  8. Kim, S. H., H. S. Rhew, Y. H. Shin, 2007. The characteristics and distribution of the surface sediment grain size of Nakdong river deltaic barrier islands, *The Korean Association of Regional Geographers*, 13(1): 43-53.
  9. Krumbein, W. C., 1938, Size-frequency distribution of sediments and the normal phi curve, *Journal of Sedimentary Petrology*, 8: 84-90
  10. Mandelbrot, B. B., 1982, The fractal geometry of nature, Freeman and co., San Francisco.
  11. Min, T. K., W. J. Lee, 2003, Fragmentation fractal analysis on particle-size distribution, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 19(2): 199-206.
  12. Noh, S. K., Y. H. Son, P. W. Chang, S. P. Kim, 2006, Analysis of effect of compaction energy on characters of grain size distribution and permeability using fragmentation fractal, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 48(6): 59-67.
  13. Park, J. S., P. W. Chang, Y. H. Son, S. P. Kim, 2006, Estimation of permeability coefficient using fractal dimension of particle size distribution curve in granular soils, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 48(4): 41-49.
  14. Perfect, E., M. Diaz-Zorita, J. H. Grive, 2002, Prefractal model for predicting soil fragment mass-size distributions, *Soil & Tillage Research*, 64: 79-90.
  15. Perfect, E., R. L. Blevins, 1997, Fractal characterization of soil aggregation and fragmentation as influenced by tillage treatment, *SSSAJ*, 61: 896-900.
  16. Son, Y. H., S. K. Noh, S. P. Kim, P. W. Chang, 2009, Alternative Methods for Classification on Weathered Strata, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 51(3): 63-69.
  17. Stevens, R. T., 1989, Fractal programming in C, M@T Books, California, USA.
  18. Turcotte, D. L., 1986, Fractal and fragmentation, *Journal of Geophysics Research*, 91: 1921-1926.
  19. Tyler, S. W., S. W. Wheatcraft, 1992, Fractal scaling of soil particle-size distribution : analysis an limitation, *SSSAJ*, 56: 362-369.
  20. Won, J. Y., P. W. Chang, D. B. Kim, Y. H. Son, 2004, An Experimental Study on Depositional Environments and Consolidation Properties of Shihwa Deposits, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 20(5): 49-58.
  21. Wroth, C. P., 1984, The interpretation of in-situ soil tests, *Geotechnique*, 34(4): 449-489.
  22. Yu, C., S. Y. Ahn, C. N. Lee, P. C. Baveye, 2002, The soil particles Distributions and Fractal Dimension, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 18(6): 25-32.