



화학적 특성과의 비교 분석을 통한 프랙탈 차원을 이용한 풍화도 추정

The Estimation of the Extent of Weathering using Fractal Dimension through a Comparison with Chemical Characteristic

노수각* · 손영환**† · 봉태호* · 박재성*

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

ABSTRACT

The processes of chemical and physical weathering occur simultaneously. The objective of this study was to estimate the degree weathered using fractal dimension through comparison with chemical characteristic of soil samples from Pohang (PH) and Kimpo (KP). Comparing chemical characteristics with fractal dimension, SiO₂, Na₂O, K₂O content decreased and loss of ignition increased as fractal dimension increased. And fractal dimension showed high correlation with CWI while ATI, STI CIW, PI, CIA and RR demonstrated different degrees of correlation with fractal dimension. The tendency of the changes in oxide content and chemical weathering index with increasing fractal dimension appeared to be similar with the chemical changes due to weathering. Therefore, fractal dimension could be a good indicator representing the extent of weathering and chemical changes.

Keywords: Weathering; Fractal dimension; Chemical characteristic; Oxide; Chemical index

1. 서 론

흙은 암석이 풍화되어 생성된다. 풍화는 암석이 분해, 변질되어 가는 과정으로 그 요인을 물리적, 화학적, 생물적 요인으로 구분할 수 있다. 물리적 풍화는 지표에 존재하는 암석이 가열, 냉각, 건조, 습윤 등의 작용을 반복적으로 받으면서 발생하며 암석에 공극을 발생시키고 흙의 입도를 변화시킨다. 암석과 흙에 발생한 공극에 물이 침입하면 동결, 용해에 의하여 물리적 풍화가 가속화되며 물과 반응하여 화학적 풍화가 촉진된다. 화학적 풍화가 진행되면 산화와 용해 등의 작용에 의하여 풍화된 정도에 따라 암석과 흙의 화학적 성분함량이 달라지게 된다 (Park, 1996).

풍화의 진행에 따른 흙과 암석의 입도 및 화학 성분의 변화는 역학적 특성에 영향을 미쳐 구조물을 지탱하는 지반의 안정성에 변화를 주기 때문에 그 파악이 중요하다. 따라서 풍화로 인해 변하는 특성을 이용하여 fall cone 시험, X-ray 입도분석 결과 등

으로 풍화된 정도를 파악하는 방법이 제안되었다 (Son et al., 2007, 2008, 2009). 또한 흙의 특성 중 물리적 풍화에 따라 변화하는 입도 특성을 이용하여 모래, 실트, 점토 등 일부입경 입자들의 함유량으로 기계적 풍화도를 측정하는 방법들이 제안되었다. 하지만 일부 입도 성분만을 고려할 경우 다른 입도 성향을 가진 시료가 같은 풍화도를 나타낼 수 있다는 문제점이 있다 (Lim, 1993). 이러한 문제점을 보완하고자 흙 입자 전체의 경향을 반영할 수 있는 흙 입자의 산화물의 함량을 이용한 풍화 지수들이 제안되었다 (Ruxton, 1968; Parker, 1970; Nesbitt and Young, 1982; Harnois, 1988; Sueoka, 1988; Jayawardena and Izawa, 1994; Duzgoren-Aydin et al., 2002). 하지만 화학적 풍화 지수는 흙 입자에 대한 화학 성분 분석을 실시하기 위한 특수한 장비가 필요하며 그 과정이 복잡하다는 단점이 있다. 따라서 현장에서 보다 쉽게 풍화도를 산정하기 위한 간편한 측정 방법이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 간편한 풍화도 측정 방법을 제안하기 위하여 퇴적토와 풍화토 시료를 대상으로 풍화가 진행됨에 따라 변화하는 입도 특성을 전체적으로 고려할 수 있는 입도 분포 곡선의 프랙탈 차원과 화학 성분 및 화학적 풍화지수를 비교 분석하였다. 이를 통해 현장에서 쉽게 산정 가능한 흙 입도의 프랙탈 차원을 이용하여 풍화도를 파악할 수 있는지 여부를 평가하고 풍화도를 추정하였다.

* 서울대학교 조경·지역시스템공학부 대학원

** 서울대학교 조경·지역시스템공학과 조교수, 서울대학교 농업생명과학연구원

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

Fax: +81-2-873-2087

E-mail: syh86@snu.ac.kr

2012년 2월 16일 투고

2012년 3월 13일 심사완료

2012년 3월 13일 게재확정

II. 프랙탈 차원과 화학적 풍화지수

흙의 입도에 대한 프랙탈 차원의 적용은 Turcotte (1986)의 fragmentation 모델을 기초로 하고 있다. 흙이나 암석 등에서의 분열 과정은 그 수와 크기 사이에서 입자의 숫자는 입자의 크기와 지수적 반비례관계가 형성된다. 이를 이용하여 입자의 크기-수량 관계를 통하여 흙 입도에 대한 프랙탈 차원을 산출하였다. Tyler and Wheatcraft (1992)는 처음으로 크기-질량 관계로 프랙탈 차원을 산출하는 방법을 제안하였으며 Bittelli et al. (1999)이 질량기반 프랙탈 차원 산출 방법의 정당성에 대하여 증명하였다. 이후 질량기반 프랙탈 차원과 흙의 다른 역학적 성질과의 비교 연구가 이루어졌다. Bonala and Reddi (1999)는 프랙탈 차원을 이용하여 시료의 크기와 점착력과의 관계를 연구하였으며 Gori and Mari (2001)는 조립토 내부 마찰각과 프랙탈 차원 관계를 분석하였다. 국내에서는 Yu et al. (2002)이 흙의 구성 성분에 따른 프랙탈 차원에 변화를 고찰하였으며 Min and Lee (2003)는 수량기반과 질량기반 방법에 대하여 비교분석하였다. Park et al. (2006)은 프랙탈 차원과 투수계수와의 상관관계를 연구하였으며 Noh et al. (2006)은 프랙탈 차원을 이용하여 흙의 다짐 에너지의 영향을 분석하였다.

암석이나 그것을 구성하는 광물은 물리적·화학적 풍화작용을

받아 2차적 생성물로서의 점토 광물로 변화해 간다. 이 과정에서 흙을 구성하는 화학조성이 변화하게 된다. 이러한 점을 이용하여 풍화도의 산정을 위해 많은 연구자들이 화학적 풍화지수를 제안하였으며, 각 연구자들이 제안한 화학적 풍화지수와 산출식은 Table 1과 같다.

III. 재료 및 시험방법

1. 재료

본 연구를 위한 시료는 포항, 김포 지역에서 채취하였으며 PH, KP로 구분하였다. 포항 시료는 실트질 퇴적토 층인 심도 0.0~13.5 m에서 연속적으로 14개의 시료를 추출하였으며 김포 시료는 풍화토층에서 심도 14.0~27.0 m에서 연속적으로 sampler를 이용하여 13개의 시료를 추출하였다. 각 시료의 채취 위치는 Table 2와 같으며 각 시료에 대한 입도분포 결과를 Fig. 1에 나타냈다.

2. 시험방법

대상 시료의 입도분포 특성을 분석하고 프랙탈 차원을 산출하기 위하여 체분석을 실시하였다. 체분석은 KS F 2301 흙의 입

Table 1 Chemical weathering indices

Index	Equation	Researcher
CWI	$CWI = \frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + LOI}{all\ chemical} \times 100$	Sueoka, 1988
CIW	$CIW = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O} \times 100$	Harnois, 1988
PI	$PI = \frac{2NaO}{0.35} + \frac{MgO}{0.90} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.70}$	Parker, 1970
RR	$RR = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Ruxton, 1968
STI	$STI = \frac{SiO_2 / TiO_2}{(SiO_2 / TiO_2) + (SiO_3 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2)} \times 100$	Jayawardena and Izawa, 1994
ATI	$ATI = \frac{Al_2O_3 / TiO_2}{(SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2)} \times 100$	Jayawardena and Izawa, 1994
CIA	$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} \times 100$	Nesbitt and Young, 1982

CWI : Chemical Weathering Index, CIW : Chemical Index of Weathering, PI : Parker's Index, RR : Raxton's Ratio, STI : Silica-Titania Index, ATI : Alumina-Titania Index, CIA : Chemical Index of Alteration

Table 2 The location of study areas

기호	행정구역	X	Y	개수	비고
PH	경상북도 포항시	287,103.032	240,290.815	14개	퇴적층
KP	경기도 김포시	172,684.582	461,382.119	13개	풍화토층

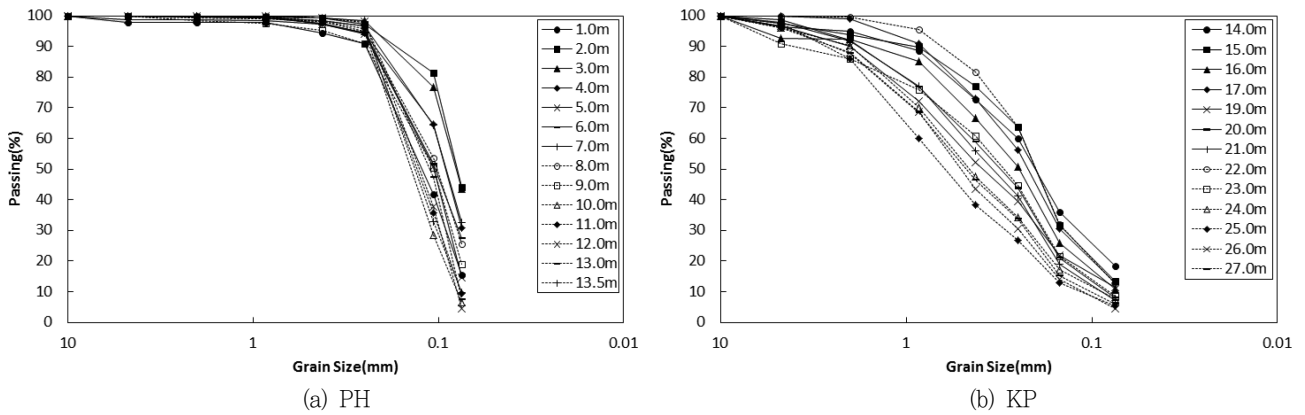


Fig. 1 Grain size distribution for each samples

도 시험 및 물리 시험용 시료 조제 방법 및 KS F 2302 흙의 입도 시험 방법을 따라 노건조 후 수세법으로 실시하였다.

대상 시료의 화학적 특성은 지화학 분석을 통하여 파악하였다. 지화학 분석은 분쇄된 시료를 X선 형광분석(XRF)을 통하여 실시하였다. XRF 분석은 시료의 산화물(Oxide) 함량 및 강열감량(Loss of ignition, L.O.I.)을 파악할 수 있다. 본 연구를 위하여 사용된 XRF 기기는 Bruker AXS사의 S4 PIONEER이다.

IV. 결과 및 고찰

1. 프랙탈 차원 산정

포항과 김포에서 채취한 시료에 대하여 실시한 입도분석 결과를 이용하여 체분석 입경구간 (0.075 ~ 4.75 mm)에 대하여 log

(입경) - log (중량 통과율)의 기울기를 통해 프랙탈 차원을 산정하였다. 대상시료에 대한 프랙탈 차원 산정 결과는 Table 3과 같다.

2. 프랙탈 차원과 산화물 함유량과의 상관성 분석

대상 시료의 화학적 특성을 파악하기 위하여 XRF 시험을 실시하였다. 이를 통하여 포항 및 김포 시료의 산화물 함유량과 강열감량을 파악하였으며 결과는 Table 4와 같다.

산화물 함량 분석 결과, 두 지역에서 채취한 시료들이 가장 많이 포함하고 있는 산화물은 산화규소(SiO₂)와 산화알루미늄(Al₂O₃)으로 나타났다. 풍화토는 암석이 풍화되어 생성되며 퇴적토는 여러 암석으로부터 생성된 흙이 모여 생성되기 때문에 일반적인 암석을 구성하고 있는 구성성분의 함유 경향과 일치한다.

Table 3 Fractal dimension for each samples

PH		KP	
Depth (m)	Fractal dimension	Depth (m)	Fractal dimension
1.0	2.6507	14.0	2.7001
2.0	2.8653	15.0	2.6607
3.0	2.8559	16.0	2.6107
4.0	2.7878	17.0	2.6390
5.0	2.6639	19.0	2.5813
6.0	2.7460	20.0	2.5439
7.0	2.7978	21.0	2.5167
8.0	2.7425	22.0	2.6503
9.0	2.6942	23.0	2.5636
10.0	2.4835	24.0	2.5082
11.0	2.5620	25.0	2.4264
12.0	2.4684	26.0	2.4230
13.0	2.5625	27.0	2.4688
13.5	2.5576		

Table 4 Oxide content and loss of ignition for each samples (Unit : %)

Sample	Depth (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	L.O.I
PH	1.0	52.54	13.01	0.43	2.84	1.16	3.70	3.68	4.02	0.03	0.00	15.60
	2.0	49.19	12.05	0.50	3.08	1.15	4.26	2.48	2.85	0.03	0.09	21.42
	3.0	53.92	11.36	0.43	2.38	0.92	3.61	2.41	3.18	0.03	0.09	19.41
	4.0	51.19	13.39	0.58	3.86	1.26	5.18	2.49	2.87	0.04	0.12	15.39
	5.0	49.08	12.45	0.45	3.04	1.27	3.90	4.07	3.57	0.03	0.00	18.12
	6.0	51.78	11.64	0.44	2.62	0.97	2.83	2.56	3.05	0.03	0.11	21.18
	7.0	50.61	11.42	0.42	2.54	1.01	2.46	3.07	2.99	0.03	0.08	22.38
	8.0	51.26	11.73	0.47	2.58	0.92	3.10	2.51	3.17	0.03	0.08	21.69
	9.0	50.91	12.61	0.51	3.38	1.35	5.21	4.06	3.76	0.04	0.06	13.74
	10.0	54.26	13.06	0.44	2.88	1.10	4.06	4.75	4.77	0.03	0.00	10.35
	11.0	62.95	11.20	0.49	2.42	0.74	3.04	4.02	5.25	0.03	0.00	6.54
	12.0	62.41	10.20	0.51	2.56	0.82	2.73	5.11	5.33	0.03	0.00	4.59
	13.0	55.00	12.60	0.55	3.26	1.10	5.46	3.68	4.38	0.04	0.00	10.83
13.5	54.10	12.36	0.58	3.35	1.19	5.13	3.33	3.94	0.04	0.08	12.57	
KP	14.0	59.22	18.01	1.30	8.96	2.45	0.39	0.39	2.81	0.06	0.05	6.10
	15.0	54.41	14.23	0.69	19.05	1.28	0.28	0.32	1.74	0.08	0.48	6.97
	16.0	61.73	18.63	1.09	6.70	2.12	0.77	0.98	2.49	0.05	0.05	5.27
	17.0	60.62	16.64	0.85	9.00	2.61	0.82	1.51	3.89	0.11	0.09	3.60
	19.0	70.08	15.18	0.79	4.74	0.79	0.37	1.08	2.96	0.04	0.07	3.72
	20.0	66.49	15.66	0.59	5.40	1.68	1.42	2.63	3.59	0.07	0.08	2.20
	21.0	68.14	14.34	0.55	5.80	1.83	0.97	2.10	4.24	0.06	0.06	2.00
	22.0	56.25	17.81	1.36	8.25	2.87	3.10	2.95	2.73	0.07	0.85	3.76
	23.0	60.03	17.39	1.27	7.70	2.36	1.96	1.64	2.36	0.06	0.41	4.71
	24.0	69.48	15.05	0.45	4.25	1.40	1.51	2.83	3.09	0.04	0.04	1.93
	25.0	73.37	14.75	0.21	1.77	0.65	1.45	2.88	3.73	0.02	0.03	1.23
	26.0	66.02	15.83	0.60	6.54	2.03	1.44	2.53	4.12	0.07	0.08	0.52
	27.0	64.64	16.96	0.53	5.76	1.68	1.11	1.96	3.53	0.06	0.07	3.44

포항 시료는 김포 시료에 비하여 상대적으로 강열감량이 크게 나타났으며 이는 포항 시료가 해저 퇴적으로 유기물과 패각이 많기 때문인 것으로 판단된다.

풍화가 진행됨에 따른 입도와 화학적 특성 변화의 상관관계를 분석하기 위하여 시료의 프랙탈 차원과 산화물 함유량을 비교하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다.

입도분포 특성과 각 시료에 함유된 산화물의 양을 비교한 결과, 김포와 포항 시료 모두 프랙탈 차원과 SiO₂, Na₂O, K₂O 함유량은 반비례 관계이며 강열감량 (L.O.I.)와는 비례관계인 것으로 나타났다. 암석은 풍화가 진행됨에 따라 SiO₂, Na₂O, K₂O 등의 함유량이 감소하며 강열감량이 증가한다 (Duzgoren-Aydin et al., 2002). 풍화의 진행에 따른 산화물의 증감 경향은 프랙탈 차원이 증가하면서 나타나는 경향과 일치한다. 따라서 입도의 전체적 경향을 정량적으로 표현하는 프랙탈 차원을 통해 풍화의 진행에 따른 화학적 성분의 변화를 예측할 수 있을 것이라 판단

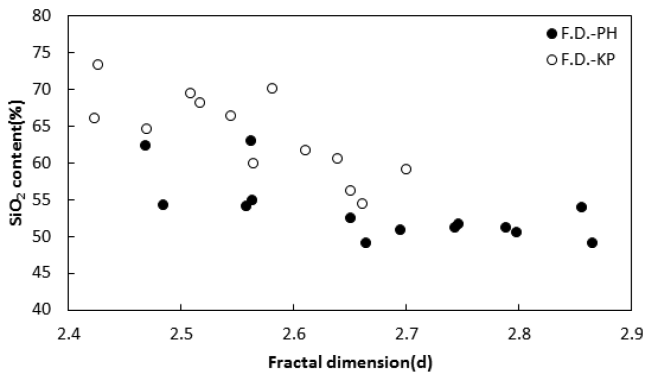
된다.

3. 프랙탈 차원과 화학적 풍화지수와의 상관성 분석

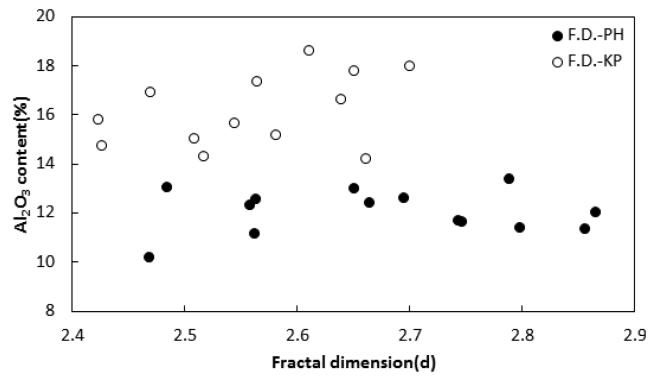
프랙탈 차원과 화학적 풍화지수와의 관계를 살펴보기 위하여 각 시료에 대한 화학적 풍화지수를 산출하였다. XRF의 분석 결과를 이용하여 각 연구자가 제안한 식 (Table 1)을 이용하여 여러 가지 화학적 풍화지수를 산출하였으며 결과는 Table 5와 같다.

프랙탈 차원과 화학적 풍화지수의 상관성을 확인하기 위하여 그림으로 도시하였으며 결과는 Fig. 3과 같다.

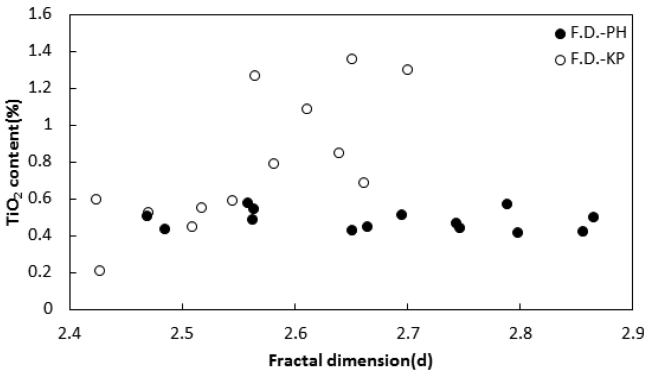
프랙탈 차원과 화학적 풍화지수와의 비교 결과, 프랙탈 차원이 커질수록 CWI, CIW, CIA가 증가하는 경향인 반면 PI는 감소하는 경향을 보였다. STI, ATI, RR은 KP 시료에서는 감소 경향이 나타났으나 PH 시료에서는 큰 상관성을 보이지 않았다. 두 변수 간의 정확한 상관관계를 분석하기 위하여 프랙탈 차원과 화학적 풍화지수의 회귀분석을 실시하였으며 프랙탈 차원과 화학적 풍



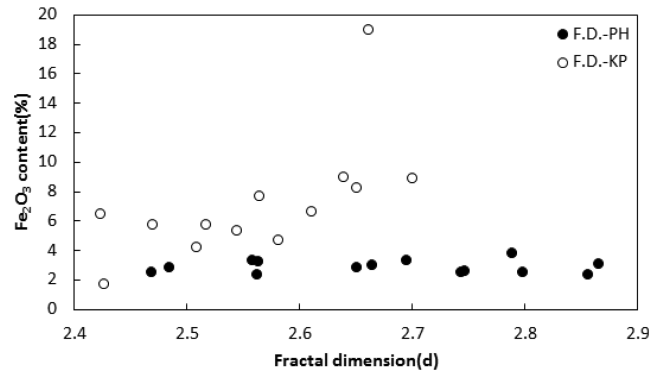
(a) SiO₂



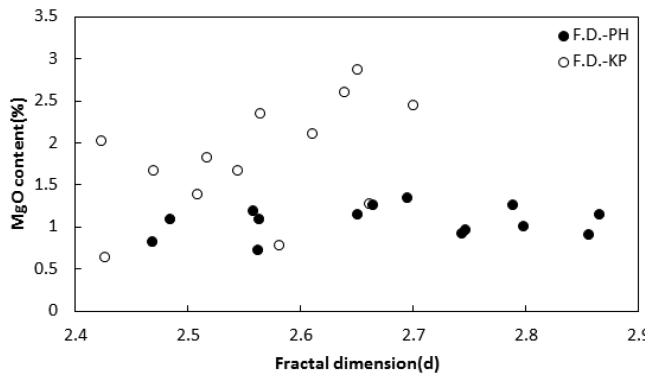
(b) Al₂O₃



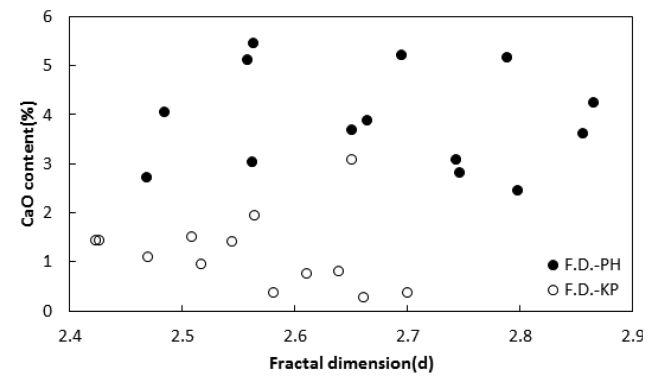
(c) TiO₂



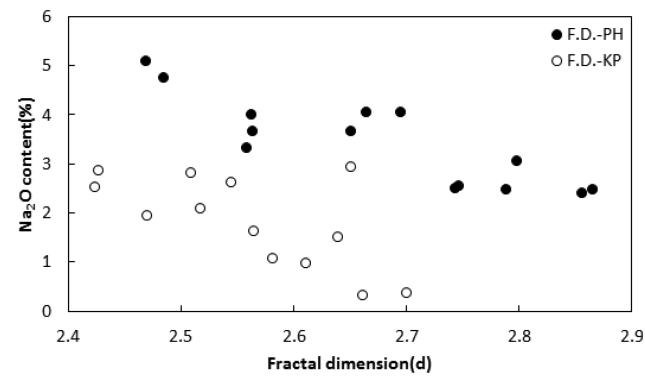
(d) Fe₂O₃



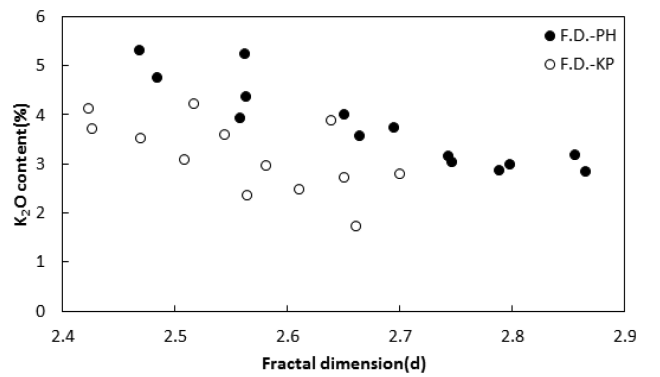
(e) MgO



(f) CaO



(g) Na₂O



(h) K₂O

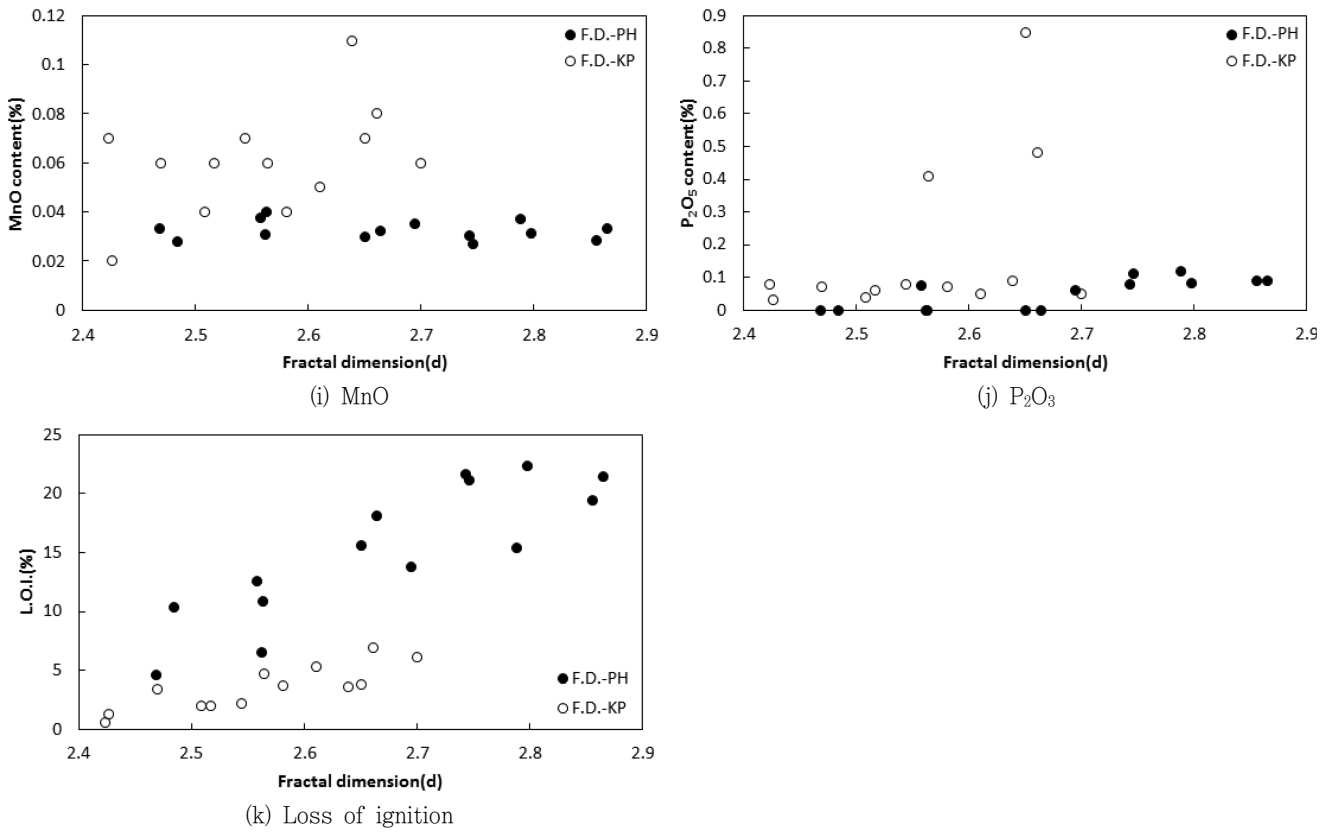


Fig. 2 Relationship between oxide content and grain size distribution characteristic

Table 5 Results of chemical weathering index for each samples

Sample	Depth (m)	CWI	CIW	PI	RR	STI	ATI	CIA	Sample	Depth (m)	CWI	CIW	PI	RR	STI	ATI	CIA
PH	1.0	48.68	50.44	0.81	6.85	84.17	20.70	43.16	KP	14.0	35.01	93.02	0.35	5.58	78.66	11.41	80.39
	2.0	57.27	50.47	0.61	6.93	83.50	17.19	44.70		15.0	40.27	93.22	0.22	6.49	82.24	15.40	82.98
	3.0	53.33	51.88	0.61	8.05	85.32	18.28	44.83		16.0	31.83	86.08	0.38	5.62	79.84	13.54	76.55
	4.0	49.26	49.75	0.64	6.49	82.72	16.98	44.61		17.0	27.11	80.72	0.56	6.18	81.50	14.88	67.03
	5.0	53.00	47.45	0.81	6.69	83.66	19.45	41.36		19.0	24.11	86.11	0.38	7.83	83.75	14.12	72.86
	6.0	56.47	55.44	0.59	7.55	84.69	18.34	47.91		20.0	20.15	69.39	0.63	7.21	84.25	18.52	59.20
	7.0	58.06	54.53	0.63	7.52	84.77	18.82	47.23		21.0	18.75	73.32	0.63	8.06	85.25	17.96	59.38
	8.0	57.13	54.57	0.60	7.42	84.33	17.63	47.07		22.0	28.29	62.93	0.66	5.36	77.88	10.97	56.98
	9.0	45.83	43.83	0.86	6.85	83.47	17.54	38.41		23.0	30.18	73.53	0.47	5.86	79.12	11.21	66.36
	10.0	39.11	46.22	0.98	7.05	84.41	20.34	39.08		24.0	18.10	67.03	0.60	7.83	85.78	21.87	58.34
	11.0	28.48	47.98	0.91	9.54	86.15	15.73	38.60		25.0	14.39	66.67	0.64	8.44	87.98	36.33	56.38
	12.0	23.22	43.28	1.02	10.38	86.24	14.07	34.77		26.0	15.56	70.01	0.68	7.08	84.06	18.48	58.48
	13.0	39.61	44.08	0.88	7.41	83.99	16.44	37.81		27.0	24.89	76.39	0.56	6.47	83.72	21.75	65.17
	13.5	43.11	45.51	0.81	7.43	83.74	15.54	39.33									

회귀수와의 관계는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Chemical Weathering Index} \\ & = a \cdot \text{Fractal Dimension} + b \end{aligned} \quad (1)$$

각각의 화학적 풍화지수와 프랙탈 차원에 대한 회귀식의 상수 a, b 및 R²값 산정 결과는 Table 6과 같다.

회귀식 산정 결과, 화학적 풍화지수 중 CWI는 다른 지수에 비하여 PH와 KP시료 모두에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타

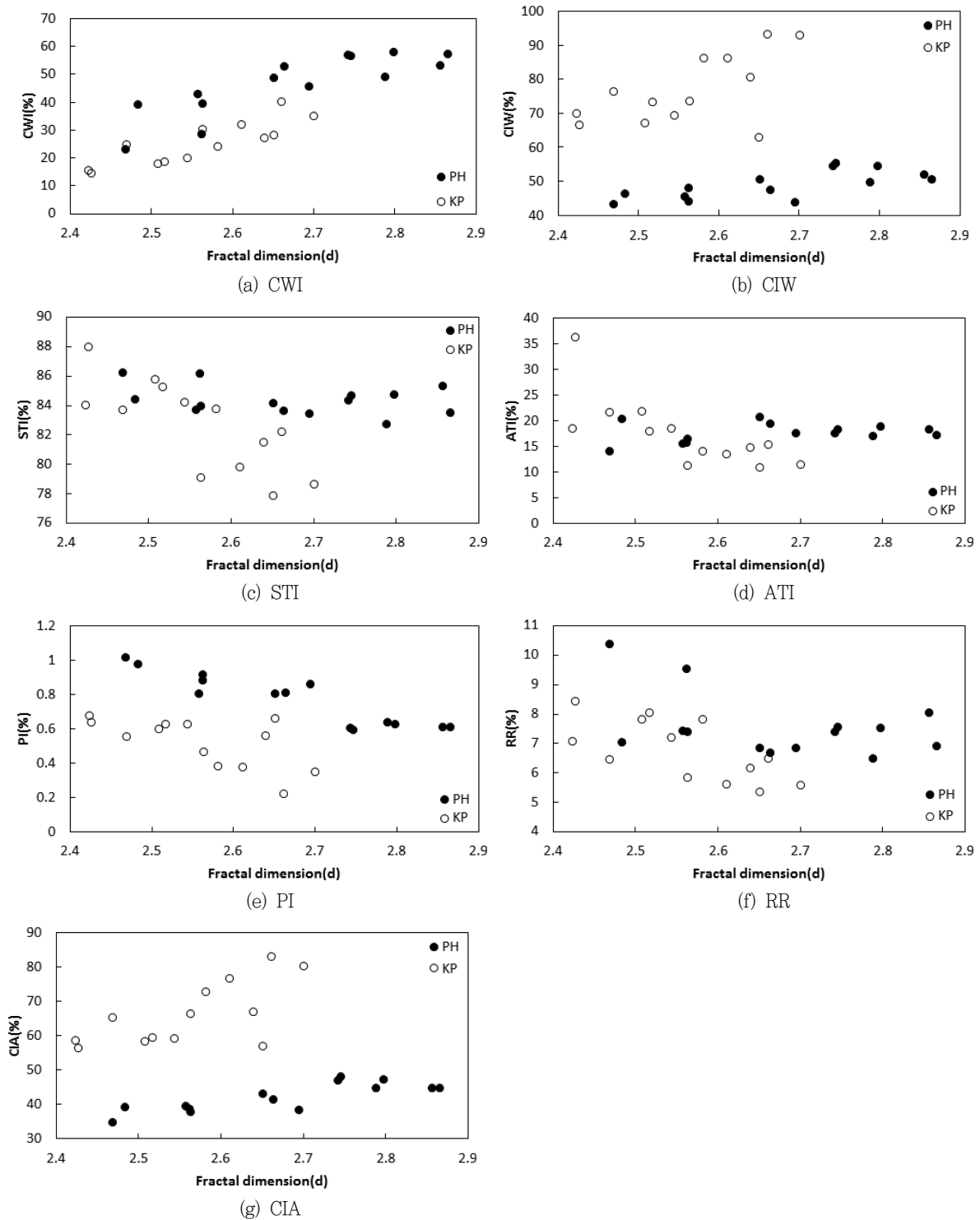


Fig. 3 Relationship between fractal dimension and chemical weathering indices

났다. STI, ATI, RR은 PH 시료에 비하여 KP 시료에서 상대적으로 높은 상관성을 보였으며 CIW, PI, CIA는 PH 시료 회귀식의 결정계수가 상대적으로 높게 나타났다.

프랙탈 차원과 높은 상관성을 보이는 CWI는 화강암의 풍화에 좋은 경향성을 보이며 물리적 풍화가 진행되는 것을 잘 나타낸다 (Duzgoren-Aydin et al., 2002). 따라서 물리적 풍화에 따라

Table 6 Constants of the regression equation

Sample	Constant	CWI	CIW	PI	RR	STI	ATI	CIA
PH	a	69.64	22.45	- 1.05	- 3.67	- 2.63	- 85.15	25.92
	b	- 139.63	- 11.0812	3.59	17.41	91.40	272.86	- 27.26
	R ²	0.7099	0.5106	0.8466	0.1936	0.1182	0.0254	0.6846
KP	a	74.00	69.504	- 1.02	- 7.88	- 26.37	- 72.25	70.74
	b	- 164.23	- 101.19	3.13	26.94	150.16	225.01	- 115.00
	R ²	0.7234	0.3791	0.3994	0.4597	0.5998	0.7100	0.4689
Total	a	95.75	- 23.04	- 0.36	- 2.38	- 4.43	- 10.78	- 13.86
	b	- 214.48	122.71	1.59	13.43	95.14	45.77	89.97
	R ²	0.7019	0.0325	0.0542	0.0697	0.0549	0.0797	0.0152

Table 7 Classification of the extent of weathering by fractal dimension

Classification	Extent of weathering	CWI (%)	Fractal dimension
I	Fresh rock	13 ~ 15	2.3758 ~ 2.3967
II	Slightly weathered	15 ~ 20	2.3967 ~ 2.4489
III	Moderately weathered		
IV	Highly weathered		
V	Completely weathered	20 ~ 40	2.4489 ~ 2.6578
VI	Residual soil	40 ~ 60	2.6578 ~ 2.8666
VII	Weathered hard pan (as completed)	60 ~ 90	2.8666 ~ 3

변화하는 입도특성인 프랙탈 차원과 높은 상관성을 보이는 것으로 판단된다. PI는 산성, 중성, 염기성 암석 모두에 적용가능하기 때문에 해수의 화학적 영향을 받으며 여러 성향을 가진 흙이 모여서 형성되는 퇴적토와 높은 상관성을 가지는 것으로 판단된다. CIW는 모암이 화강암일 경우 낮은 경향성을 보인다고 평가된다 (Duzgoren-Aydin et al., 2002). 따라서 CIW는 모암의 종류에 따라 다른 경향성을 보일 수 있으며 한가지 모암에서 형성된 풍화도 보다는 여러 모암을 기반으로 형성된 퇴적토가 상대적으로 높은 상관성을 보이는 것으로 판단된다.

두 시료 모두를 고려하였을 때 가장 높은 상관성을 보이는 CWI와의 회귀식을 이용하여 프랙탈 차원을 통해 풍화도를 추정하였다. 프랙탈 차원을 이용한 풍화도 구분결과는 Table 7과 같다.

프랙탈 차원과 CWI의 회귀분석식을 통하여 풍화도를 산정한 결과, 프랙탈 차원으로 풍화도를 구분 할 수 있었다. 따라서 프랙탈 차원은 입도를 정량적으로 표현할 수 있을 뿐 아니라 풍화에 따른 화학적 변화의 예측과 풍화 정도를 표현하는데 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 프랙탈 차원을 이용하여 흙이 풍화됨에 따라 변화하는 입도 특성과 화학적 특성과의 상관성을 분석하고 풍화도를 추정하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

풍화에 따른 입도 특성과 화학적 특성 변화를 비교하기 위하여 프랙탈 차원을 산정하였으며 산화물 함유량과 비교 분석을 실시하였다. 그 결과, 두 시료 모두 프랙탈 차원과 SiO₂, Na₂O, K₂O 함유량은 반비례 관계로 나타났으며 강열감량 (L.O.I.)과는 비례 관계가 형성되었다. 프랙탈 차원의 증가에 따른 산화물 함유량의 변화는 풍화의 진행에 따른 산화물 함유량의 변화와 일치하였다. 그러므로 프랙탈 차원을 이용하여 풍화의 진행에 따른 이들의 화학 성분 변화를 예측하고 표현할 수 있을 것으로 판단된다.

프랙탈 차원과 각 화학적 풍화지수와의 상관성을 분석한 결과, 화학적 풍화지수 중 물리적 풍화를 잘 표현하는 CWI가 PH와 KP시료 모두와 높은 상관성을 나타냈다. STI, ATI은 풍화도 시료인 KP 시료와 높은 상관성을 보였으며 PI, CIA는 퇴적토 시료인 PH 시료에서 상대적으로 높은 상관도를 보였다.

물리적 풍화와 높은 상관관계를 보이는 CWI와 프랙탈 차원은 $CWI = a \cdot FD + b$ 의 관계식으로 표현할 수 있으며, 식을 이용하여 프랙탈 차원으로 풍화도를 구분하고 표현하였다. 따라서 입도시험 결과로 구해진 프랙탈 차원은 풍화에 따른 흙의 화학적 성질의 변화를 예측하고 풍화 정도를 표현할 수 있는 좋은 지수가 될 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Bittelli, M., G. S. Cambell, M. Flury, 1999,

- Characterization of particle-size distribution in soil with a fragmentation model, *SSSAJ*, 63: 782-788.
2. Bonala, Mohan V. S. and N. Reddi Lakshmi, 1999, Fractal representation of soil cohesion, *ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*: 901-904.
 3. Duzgoren-Aydin, N. S., A Aydin, J. Malpas, 2002, Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong, *Engineering Geology*, 63: 99-119.
 4. Gori, U. and 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.
 5. Harnois, L., 1988, The C. I. W. index : a new chemical index of weathering, *Sedim. Geol.* 55: 319-332.
 6. Jayawardena, Izawa Eiji, 1994, A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions : A study from Sri Lanka, *Engineering Geology*, 36: 303-310.
 7. Lim, J. H., 1993, A Study on the Indexes and Properties of Mechanical Weathering to Granite Distributed in Korea, *The Korean Geographical Society*, 28(2): 99-111.
 8. Min, T. K. and W. J. Lee, 2003, Fragmentation fractal analysis on particle-size distribution, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 19(2): 199-206.
 9. Nesbitt, H. W. and G. M. Young, 1982, Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature* 279: 715-717.
 10. 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.
 11. Park, C. S., 1996, Characteristic of weathered soil, Engineers, Seoul, South Korea, pp. 15-56 (in Korean).
 12. 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.
 13. Parker, A., 1970, An index of weathering for silicate rocks, *Geo Mag*, 10: 501-504.
 14. Ruxton, B. P., 1968, Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology*, 76: 518-527.
 15. Son, Y. H., P. W. Chang, S. P. Kim, 2007, Estimation of Degree of Weathering in Residual Soil Using Water Content from Fall Cone Test Result, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 23(12): 13-23.
 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. Son, Y. H., S. P. Kim, P. W. Chang, 2008, Estimation of Weathered Degree Using Fall cone in Weathered Soil ; Silty Sand, *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 50(1): 61-68.
 18. Sueoka, T., 1988, Identification and classification of granitic residual soils using chemical weathering index, Second Int. Conf. Geomech. Trop. Soil, Singapore 1: 55-61.
 19. Turcotte, D. L., 1986, Fractal and fragmentation, *Journal of Geophysics research*, 91: 1921-1926.
 20. Tyler, S. W. and S. W. Wheatcraft, 1992, Fractal scaling of soil particle-size distribution : analysis an limitation, *SSSAJ*, 56: 362-369.
 21. 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.