

낙동강 하구 인근 해저 표층 퇴적물의 지화학 조성: 화학적 풍화와 기원지

주 영 지*

부경대학교 환경지질과학전공, 48513, 부산광역시 남구 용소로 45

Geochemistry of Surface Sediments near the Nakdong River Estuary: Chemical Weathering and Source Rock Composition

Young Ji Joo*

Major of Environmental Earth Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Abstract: Characteristics of riverine sediments entering the marine realm reflect the geology, geography, topography, and climate of the drainage basin. Chemical weathering in hinterland is known to play a significant role in regulating atmospheric CO₂ levels. This study examines the intensity of chemical weathering and the composition of source rocks of surface sediments near the Nakdong River estuary on the southern coast of the Korean Peninsula. The degree of chemical weathering of the study samples is relatively low to moderate (average Chemical Index of Alteration=68), and the weathering trend inferred in the A-CN-K diagram suggests that the source rock composition is close to the average upper continental crust. It indicate that the source rock composition represents a mixture of the Mesozoic granitoids and the Gyeongsang Supergroup distributed in the Nakdong River drainage basin. The surface sediments exhibit fractionated chondrite-normalized rare earth element patterns and negative Eu anomalies, again similar to the upper continental crust. Comparison of our result with data from global estuarine sediment and large rivers in Korea allow us to parse the potential impacts of geology and topography on chemical weathering in watersheds.

Keywords: Chemical Index of Alteration, CIA, Jinhae Bay, Nakdong watershed, Rare Earth Elements

요약: 강으로부터 해양으로 유입되는 퇴적물은 유역분지의 지질, 지리, 지형, 기후 등의 영향을 반영하며, 육상 유역분지에서 퇴적물 생성 과정에서 수반되는 화학적 풍화는 대기 중 이산화탄소 농도를 조절하는 데에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 한반도 남해안 낙동강 하구 인근 해저 표층 퇴적물의 지화학 조성을 이용하여 화학적 풍화의 강도와 퇴적물의 기원지에 분포하는 암석의 조성을 추정하였다. 연구 시료의 화학적 풍화 강도는 중간에 낮은 정도(평균 Chemical Index of Alteration=68)이며 A-CN-K 도표에서 추정한 풍화의 추세는 퇴적물의 기원지 성분이 평균적인 상부 대륙지각과 매우 유사한 것으로 보인다. 이는 낙동강 유역분지에 분포하는 중생대 화강암류와 경상누층군 퇴적암이 혼합된 성분을 반영하는 것으로 판단되기 때문에 연구 대상인 퇴적물이 낙동강 하구로부터 유입되는 퇴적물의 성분을 대표하는 것으로 해석한다. 표층 퇴적물의 희토류원소는 분화된 경희토류-중희토류의 비와 음의 Eu 이상을 나타내어 상부 대륙지각과 매우 유사하다. 본 연구의 결과를 전 세계 강 하구 퇴적물 자료 및 국내의 큰 강 자료와 비교하였으며, 이를 통하여 지질 및 지형의 잠재적인 영향을 고려할 수 있다.

주요어: Chemical Index of Alteration, CIA, 진해만, 낙동강 수계, 희토류원소

서론

*Corresponding author: yjoo@pknu.ac.kr
Tel: +82-51-629-6628

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대륙에 노출된 암석은 지역에 따라 다른 환경 요소(지질, 지리, 기후, 지형 등)에 의하여 조절되는 화학적 풍화 과정에 노출되며 그 결과 퇴적물을 생성한다. 표토 혹은 토양을 구성하는 풍화의 산물은 표면을 흐르는 수계에 유입되어 하천 시스템을 따라

해양으로 운반, 퇴적된다. 따라서 강의 하구로부터 연안 해역에 유입되는 퇴적물의 화학적 조성은 유역 분지의 평균적인 지질학적 특징뿐만 아니라 화학적 풍화 과정의 강도, 그리고 이에 수반되는 유역분지 내 이산화탄소 소비량을 추정하는 중요한 자료이다 (e.g., Berner et al., 1983; Raymo and Ruddiman, 1992; Suchet and Probst, 1993; Kump et al., 2000). 특히 한반도의 경우 표면의 많은 부분에 화학적 풍화에 취약한 장석을 포함하는 화강암 혹은 화강암질 편마암이 분포하므로, 유역분지 내 화학적 풍화 정도에 따라 대기 중 이산화탄소 소비량이 현저하게 변화할 수 있다.

한반도 동남부 지역에 중요한 수자원 공급원인 낙동강은 국내에서 가장 넓은 유역분지(23,000 km²)를 흘러 남해로 유입된다 (Kim and Kim, 1994). 낙동강 유역분지의 표면에는 중생대 백악기의 경상누층군 퇴적암과 중생대 화강암류(대보화강암, 불국사화강암)이 분포한다(Kim and Kim, 1994; KIGAM, 1995). 본 연구에서는 한반도 남동부 연안 해저에 분포하는 표층 퇴적물의 지화학 조성을 이용하여 해당 지역의 표층 퇴적물이 주로 낙동강 하구로 유입된 물질임을 확인하고, 이를 통하여 낙동강 유역분지 내 화학적 풍화의 강도와 이를 조절하는 요소, 특히 유역분지 내 분포하는 암석의 종류와 기후 등의 환경 인자의 영향을 탐색하고자 한다. 이를 위하여 다양한 화학적 풍화 지수를 적용하고 전 세계 강 하구 퇴적물로부터 수집된 자료와 비교하였다. 본 연구의 결과를 바

탕으로 한반도의 강 유역분지에서 생성되는 퇴적물의 특징뿐만 아니라 화학적 풍화 강도에 영향을 미치는 요소들에 대해서 고려할 수 있을 것으로 기대된다.

시료 채취 및 분석

2023년 4월 부경대학교 나라호에 장착된 그래프샘플러(grab sampler)를 이용하여 낙동강 하구 인근 남해 동남부의 10개 정점에서 해저 표층 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 채취한 퇴적물은 선상에서 지퍼백에 옮겨 담아 냉동 보관하여 부경대학교 환경지질과학전공 실험실로 운반하였다. 실험실에서 해동한 시료에 포함된 다량의 해수를 제거하기 위하여 40-50°C 오븐에서 부분적으로 건조하였으며, 습윤한 상태인 시료의 일부를 습식 체질하여 역질(>2 mm), 사질(63 μm-2 mm), 이질(<63 μm) 퇴적물을 분리하였다. 체질 후 분리된 이질 퇴적물을 동결건조하여 분쇄한 후 화학 분석에 이용하였다. 이질 퇴적물 시료의 주원소 및 희토류원소 조성은 캐나다 ALS Geochemistry Vancouver Laboratory에서 분석되었다.

결과 및 토의

화학적 풍화의 정량화

화학적 풍화의 강도를 정량화하기 위하여 다수의 화학적 풍화 지수가 개발되어 적용되고 있다. 남해 연안 표층 이질 퇴적물의 화학적 풍화 강도를 추정하기 위하여 Chemical Index of Alteration (CIA; Nesbitt



Fig. 1. Sampling points of the studied surface sediment off the southern coast of the Korean Peninsula

and Young, 1982), Chemical Index of Weathering (CIW; Harnois, 1988), Plagioclase Index of Alteration (PIA; Fedo et al., 1995), Ruxton Ratio (R; Ruxton, 1968; Chittleborough, 1991), STI (Silica-Titania Index, de Jayawardena and Izawa, 1994), V (Vogt, 1927), Weathering Index of Parker (WIP; Parker, 1970)를 적용하였다. 각각의 풍화지수의 계산법은 Table 1에 요약하였으며, 그 특성에 대해서는 관련 선행 연구에서 구체적으로 논의되었다(see review by Price and Velbel, 2003). 상술한 화학적 풍화지수를 적용한 결과 남해 표층 이질 퇴적물의 화학적 풍화 강도는 Table 2와 같이 정량화되었다. CIA, CIW, PIA 모두 신선한 암석은 50 내외의 값, 풍화가 완결된 물질은 100에 가까운 값을 나타내는데, 연구 시료의 경우 중간 정도 수준의 풍화강도를 나타내는 것으로 보인다. 세 풍화 지수 값에서 약간의 차이가 있는데, 대체로 K₂O의 영향을 배제하여 계산하는 CIW와 PIA가 CIA에 비하여 높은 풍화 강도를 나타낸다. 풍화의 강도가 강할수록 0에 가까운 값에 근접하는 R, STI, WIP의 경우 각각 신선한 암석과 0의 중간

정도에 위치하는 값이 도출되어 중간 정도 강도의 풍화를 반영하는 결과로 보인다. V의 경우 신선한 암석에서는 1보다 작은 값이, 풍화 강도가 증가할수록 그 값이 기하급수적으로 증가하는데 연구 시료의 경우 그리 강하지 않은 수준의 풍화를 겪은 것으로 보인다. 다양한 원소를 이용하여 계산하는 화학적 풍화지수 모두 연구 시료에서 약간의 차이는 있으나 중간 정도에서 그보다 약한 수준의 풍화 강도를 지시한다.

기원지 암석의 조성

화학적 풍화에 민감하게 반응하여 거동하는 알칼리 및 알칼리 토금속과 알루미늄의 상대적인 비율을 바탕으로 풍화의 강도뿐만 아니라 풍화의 추세와 기원지 암석의 조성을 추적할 수 있는 A-CN-K 도표 (Al₂O₃-CaO*+Na₂O-K₂O, CaO*=규산염 광물 내 CaO; Nesbitt and Young, 1984)를 연구 시료에 적용하였다. 그 결과 연구지역의 표층 이질 퇴적물은 모두 일정한 하나의 화학적 풍화 추세를 나타내는 직선 위에 놓여 모두 동일한 성분을 갖는 기원지에서 공급되었

Table 1. Summary of chemical weathering indices selected for this study

Index	Formula	Change in the value with increase in weathering	Reference
CIA	$100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$	Increase	Nesbitt and Young (1982)
CIW	$100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O)]$	Increase	Harnois (1988)
PIA	$100 \times [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)]$	Increase	Fedo et al. (1995)
R	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Decrease	Ruxton (1968)
STI	$100 \times [(SiO_2 / TiO_2) / ((SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2))]$	Decrease	de Jayawardena and Izawa (1994)
V	$(Al_2O_3 + K_2O) / (MgO + CaO + Na_2O)$	Increase	Vogt (1927)
WIP	$100 \times [(2Na_2O / 0.35) + (MgO / 0.9) + (2K_2O / 0.25) + (CaO / 0.7)]$	Decrease	Parker (1970)

Table 2. Calculated values of chemical weathering indices using geochemistry of the mud fractions of the study sediments

	CIA	CIW	PIA	R	STI	V	WIP
JH-1 mud	66	76	72	5.17	80	1.66	50
JH-3 mud	69	80	76	5.51	81	1.90	45
JH-4 mud	65	75	70	6.21	82	1.81	50
JH-5 mud	60	68	63	7.24	82	1.63	53
JH-6 mud	71	80	77	5.13	80	2.04	47
JH-8 mud	70	79	76	5.50	81	2.04	46
JH-10 mud	70	79	76	5.17	80	1.94	48
JH-11 mud	68	78	74	5.59	81	1.90	48
JH-12 mud	73	83	80	4.97	80	2.11	45
JH-13 mud	68	81	78	5.12	80	1.98	47
average	68	78	74	5.56	81	1.90	48

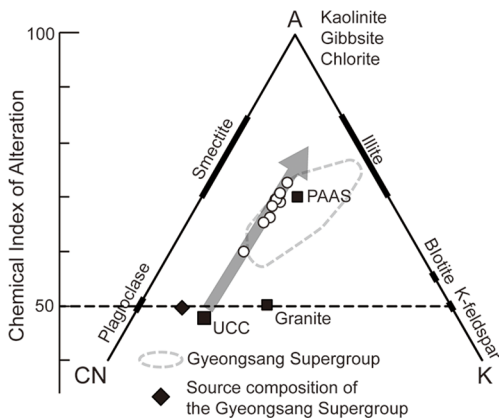


Fig. 2. Major element composition of the studied sediments plotted on the A-CN-K compositional space of Nesbitt and Young (1984), along with the Gyeongsang Supergroup sediment distributed in the drainage basin of the Nakdong River (Lee and Lee, 2003)

음을 시사한다(Fig. 2). 또한 풍화 추세로부터 역추적한 기원지 암석의 성분은 평균 상부대륙지각(Upper Continental Crust, UCC; Taylor and McLennan, 1985) 과 매우 유사한 것으로 보인다. A-CN-K 도표 상에서 이들의 풍화 강도는 평균적인 셰일을 대변하는 Post-Archean Average Shale (PAAS; Taylor and McLennan, 1985) 과 유사하거나 낮은 정도이다.

낙동강 유역분지 표면의 지질은 크게 경상누층군의 퇴적암과 중생대 화강암류로 구성되므로, 만일 연구 지역의 퇴적물이 대부분 낙동강 하구로부터 유입되었다면 퇴적물의 기원지 성분 또한 유역분지에 분포하는 두 가지 대표적인 암상의 혼합 성분에 가까울 것이다. 선행 연구에서 보고된 경상누층군 신동층군과 하양층군 이암의 주원소 조성을 A-CN-K 도표에 도시한 결과 CIA 값은 대체로 연구 시료와 유사하거나 더 높은 범위를 보이며, 속성작용 동안의 K-metamorphism 의 영향으로 이상적인 풍화의 추세에서 K 쪽짓점의 방향으로 이동한 추세를 나타낸다(Lee and Lee, 2003; Fig. 3). 이들은 평균적인 화강암 보다는 CaO와 Na₂O가 풍부한 조성의 암석에서 기원한 것으로 해석된 바 있다(Lee and Lee, 2003). 반면 본 연구 시료의 경우 선행 연구에서 추정된 신동층군 및 하양층군의 기원암에 비하여 평균적인 화강암의 조성에 가까운, K₂O의 함량이 높은 물질에서 기원한 것으로 추정되며, 이는 낙동강 수계에 분포하는 화강암류와 경상누층군의 퇴적암의 혼합 성분으로부터 연구

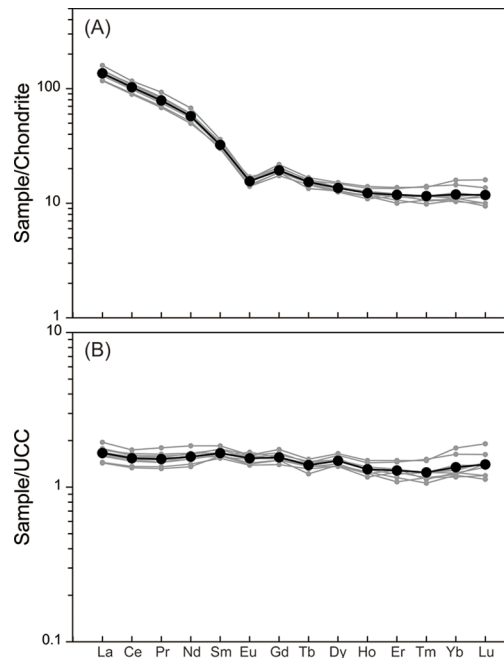


Fig. 3. REE patterns of the studied sediments normalized against (A) chondrite and (B) Upper Continental Crust. Gray-studied samples; Black-average composition of the studied samples.

지역의 표층 퇴적물이 공급되었음을 추정할 수 있는 근거로 보인다. 또한 경상누층군의 퇴적암과 유사하거나 더 낮은 CIA 값은 경상누층군 퇴적암이 윤회(recycling)된 물질뿐만 아니라 상대적으로 풍화를 덜 겪은, 장석을 포함한 불안정한 물질들이 포함되어 있음을 시사하며, 이는 중생대 화강암류로부터의 퇴적물 유입을 나타내는 증거로 판단된다. 따라서 연구 지역의 표층 퇴적물을 낙동강 하구에서 해양으로 유입되는 퇴적물의 조성을 대변하는 것으로 추정하는 데에 무리가 없는 것으로 보인다.

연구지역 표층 퇴적물의 기원지 성분을 보다 구체적으로 확인하기 위하여 콘드라이트로 정규화한 희토류원소 분포를 확인하였다(Fig. 3A). 연구 시료의 경우 희토류원소 패턴의 기울기((La/Yb)_n, n=콘드라이트 정규화)는 평균 11.5 (9.92-13.2)로 마그마 과정에서 크게 분화된 희토류원소 조성을 갖는 암석으로부터 기원하였음을 반영한다. 또한 음의 Eu 이상(Eu/Eu*, Eu*=[(Sm)_n×(Gd)_n]^{0.5})이 뚜렷하게 관찰되며 그 범위는 0.58-0.69 (평균 0.62)이다. A-CN-K 도표 상에서 기원지 암석의 성분에 가까운 것으로 추정된 UCC

의 경우($La/Yb)_n$ 은 9.21, Eu 이상은 0.65 수준이다. 따라서 연구지역의 표층 이질 퇴적물의 희토류원소 조성 역시 UCC 와 유사한 것으로 판단되며, 희토류원소 패턴의 기울기가 조금 더 가파르다. 이는 UCC 와 비교할 때 경희토류원소에 비하여 중희토류원소가 결핍된 결과로 보이며(Fig. 3B), 아마도 퇴적과정에서 분급작용을 거치며 중희토류원소를 주로 포함하는 저어콘 등의 중광물이 이질 퇴적물로부터 제거된 결과일 가능성이 있다.

연구지역의 퇴적물의 주된 공급원인 낙동강 유역 분지에 분포하는 두 가지 대표적인 암상의 희토류원소 패턴은 각각 명백한 특징을 갖는다. 낙동강 수계에 분포하는 중생대 화강암류는 모두 크게 분화된 정규화한 희토류원소 패턴을 나타내지만($(La/Yb)_n \approx 10$), 그 중 대보화강암은 매우 미약한 Eu 이상(0.9)을, 불국사화강암은 강한 음의 Eu 이상(0.2-0.6)을 보인다(Kim, 1992). 또한 이들의 총 REE 함량은 각각 100-180 ppm (대보화강암), 100-240 ppm (불국사화강암) 범위이다(Kim, 1992). 경상누층군 신동층군과 하양층군의 경우 유사한 수준으로 분화된 희토류원소 패턴을($(La/Yb)_n \approx 10$) 보이나, UCC와 유사한 수준의 Eu 이상(0.66)을 나타내며 총 희토류원소 함량은 200 ppm 내외이다(Lee and Lee, 2003). 경상누층군 퇴적암에 비하여 연구 시료에서 다소 강한 음의 Eu 이상은 강한 음의 Eu 이상을 갖는 물질, 예를 들어 유역 분지 내 분포하는 화강암류로부터의 퇴적물 유입을 반영하는 것으로 보인다. 또한 잠재적 두 가지 기원암에 비하여 더 높은 연구지역 퇴적물의 총 REE 함량은 세립한 이질 퇴적물 내 점토광물이 집적된 결과로 추정한다.

국내의 강 하구역 퇴적물 조성과의 비교

연구지역의 표층 이질 퇴적물의 화학조성을 고려하면 이들이 낙동강 하구에서 해양으로 유출되는 퇴적물을 대표하는 것으로 추정되므로, 이들을 전 세계에 분포하는 다수의 강 하구에서 획득한 자료와 함께 비교하여 낙동강 퇴적물의 지화학 조성, 풍화의 강도, 그리고 이들을 조절하는 기후, 지리, 지형 등의 영향을 파악하는 데에 이용할 수 있을 것이다. 전 세계 대규모의 강 하구 퇴적물의 화학적 풍화의 강도(CIA)와 유역분지의 기후, 지리, 지형 특징, 즉 기온, 강수량, 위도, 사면경사, 표면수 유출량, 토양 깊이 간의 상관관계에 대한 선행 연구에서 CIA와 위도,

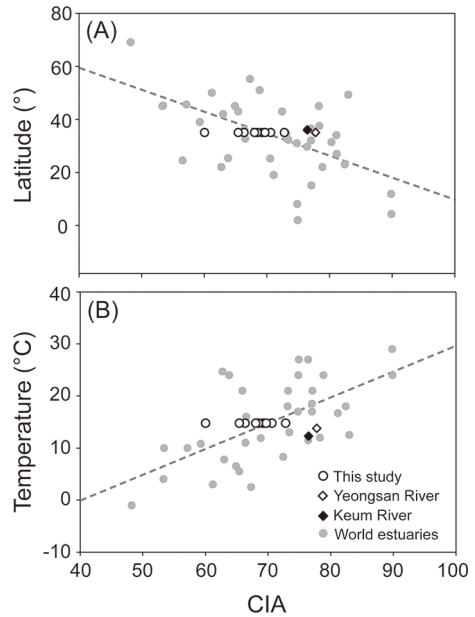


Fig. 4. Correlation of the CIA values with (A) latitude and (B) temperature from global rivers and the studied sediments.

기온(연평균기온)이 가장 뚜렷한 양의 상관관계($R > 0.5$)를 나타내는 것으로 보고되었다(Li and Yang, 2010). 본 연구에서 얻은 낙동강 퇴적물의 화학적 풍화 강도 및 경남 해안지역의 위도(약 35°)와 연평균 기온(약 15°C)을 선행 연구에서 보고된 전 세계 강 자료와 비교하였다(Fig. 4). 그 결과 낙동강 퇴적물의 자료는 전 세계 강에서 도출된 추세에서 크게 벗어나지 않는 것으로 확인된다. 이는 낙동강 유역 분지에 분포하는 암석의 평균적인 조성이 평균 상부대륙지와 유사하며 특이한 성분의 암체가 대규모로 노출되어 있지 않기 때문에 지리적인 위치와 이에 의하여 주로 조절되는 기후(연평균기온)가 화학적 풍화의 강도를 결정하는 주요한 역할을 한 결과로 보인다. 즉, 전 세계 큰 강의 유역 분지에 분포하는 암석은 지질학적으로 평균적인 상부대륙지대에 근사할 것이며, 개별 강의 유역분지의 지질이 평균적인 상부 대륙지와 크게 다르지 않다면 강으로 유입되어 운반되는 퇴적물의 화학조성은 일차적으로 유역분지 내 기반암에 발달한 풍화대에서의 화학적 풍화에 의하여 결정될 것이다. 또한 판 내부의 환경에 위치하는 한반도의 조구조 환경을 고려하면 활발한 조구조 운동, 혹은 빈번한 산사태 등의 특수한 환경 요소의 영향 역시 배제되어 선행 연구에서 도출한 추세선과 대체로

일치하는 결과를 나타내는 것으로 추정된다. 실제 폭우와 조구조 운동의 영향으로 산사태가 빈번하게 발생하는 하천에는 온난습윤한 기후에도 불구하고 낮은 풍화강도를 나타내는 퇴적물이 유입되는 현상이 보고된 바 있다(Joo et al., 2018).

국내에 분포하는 영산강과 금강의 강 하구 퇴적물의 화학적 풍화 강도는 각각 평균 CIA=78, 76으로 (Cho, 1984; Choi and Cho, 2001), 본 연구의 낙동강 퇴적물의 풍화 강도(평균 CIA=68)와 비교할 때 더 강한 풍화를 겪은 것으로 나타난다. 이는 영산강과 금강 유역의 연평균 기온이 근소한 수준이지만 경남 해안에 비하여 낮으며, 위도 역시 다소 북쪽에 위치한다는 것을 고려할 때 흥미로운 결과이다. 보다 낮은 위도의 연평균 기온이 높은 낙동강 하구 퇴적물에서 관찰되는 보다 약한 화학적 풍화의 강도를 설명하기 위하여 세 하천 시스템 유역 분지의 지형을 고려할 수 있을 것이다. 낙동강 유역은 한반도 동부의 고도가 높으며 지형 기복이 큰 산지를 넓게 포함하는 반면에 영산강과 금강은 한반도의 중앙과 서부를 흐르며 그 유역분지의 지형은 상대적으로 평탄한 수준이다. 이와 같은 지형의 차이를 감안하면 보다 경사가 급한 낙동강 유역의 상류에서는 기반암에 발달한 풍화대 혹은 표토에서 풍화 생성물이 오랜 시간 풍화 과정을 겪기보다는 하천으로 유입되어 운반되기에 용이하며, 그 결과 풍화보다는 운반이 우세한 환경이 발달할 것이라는 가설을 세울 수 있다. 반대로 상대적으로 평탄한 지형에 발달한 유역분지에서는 운반보다는 풍화가 우세한 환경에서 보다 강한 화학적 풍화를 겪은 퇴적물이 강으로 유입될 수 있을 것이다. 추가로 영산강과 금강의 유역분지가 분포하는 한반도 중부의 경우 옥천누층군의 (변성)퇴적암류와 신생대 고진기와 신진기의 퇴적암이 넓게 분포하므로 이들 퇴적암의 윤회에 의하여 강한 풍화 강도가 기록되었을 가능성 역시 배제할 수 없다. 다만 퇴적암의 윤회는 낙동강 유역분지의 경상누층군의 풍화과정에서도 가능하므로 낙동강과 나머지 두 강의 화학적 풍화강도 차이를 설명하기 위해서는 유역분지 내 지질과 지형에 대한 보다 상세한 연구가 필요하다.

결 론

본 연구에서는 낙동강 하구에 인접한 한반도 남동부 해역의 해저 표층 퇴적물의 지화학 조성을 이용

하여 퇴적물의 화학적 풍화 정도를 정량적으로 추정하고 기원지의 평균적인 조성을 추적하였다. 지화학 조성을 고려할 때 퇴적물은 대부분 낙동강 유역분지에 분포하는 암석에서 기원하였으며, 유역분지의 평균적인 조성은 상부대륙지각과 유사한 것으로 보인다. 이와 같은 결과를 바탕으로 연구지역의 해저 표층 퇴적물을 낙동강 수계로부터 해양으로 유입되는 물질을 대변하는 것으로 상정할 수 있다. 이 낙동강 퇴적물의 화학적 풍화 정도와 낙동강 수계의 기후 및 위도 간의 관계는 전세계에 분포하는 다수의 강으로부터 얻은 대규모의 자료에서 도출된 추세를 따르는 것으로 보이며, 화학적 풍화의 정도를 조절하는 기반암의 지질과 기후, 조구조 환경 등에서 특이점이 없는 것으로 판단된다. 다만 국내의 섬진강 및 금강과 비교하면 낙동강에서는 다소 낮은 강도의 풍화 정도가 관찰되는데 이는 낙동강 수계 내에 산지가 주로 분포하는 한반도 동부의 비중이 높아 풍화보다는 운반이 우세한 환경이 발달하기 때문으로 볼 수 있다. 향후 한반도 내 서로 다른 지형에 분포하는 하천 유역분지에서의 화학적 풍화의 강도에 대한 보다 구체적인 연구를 통하여 퇴적물의 특성뿐만 아니라 한반도 내 기반암의 화학적 풍화가 대기 중 이산화탄소 농도에 미치는 잠재적인 영향에 대하여 탐색할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2022년)에 의하여 연구되었다. 또한 시료 채취 및 준비 과정에서 부경대학교 퇴적지질학 실험실의 전/현 구성원들(김경태, 이현정, 양희선)의 노고에 감사드린다.

References

- Berner, R.A., Lasaga, A.C., Garrels, R.M., 1983. Carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. *American Journal of Science* 283, 641-683.
- Chittleborough, D., 1991. Indices of weathering for soils and palaeosols formed on silicate rocks. *Australian Journal of Earth Sciences* 38, 115-120.
- Cho, Y. G., 1994. Distribution and origin of metallic elements in marine sediments around Korean Peninsula. Ph. D. thesis, Korea, Seoul National University, 262 p.
- Choi, M. S., and Cho, Y. G., 2001, Element geochemistry

- of suspended sediments in the Korean Rivers: the Han, the Keum, the Mangyeong, the Yeongsan, the Seomjin and the Nakdong River: Seoul, Inha University, Proceedings of The 5th International Symposium of Marine Science of the Yellow Sea (ISMY-V), p. 338-341.
- de Jayawardena, U.d.S., Izawa, E., 1994. A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions: A study from Sri Lanka. *Engineering Geology* 36, 303-310.
- Fedo, C.M., Wayne Nesbitt, H., Young, G.M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921-924.
- Harnois, L., 1988. The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology* 55, 319-322.
- Joo, Y.J., Elwood Madden, M.E., Soreghan, G.S., 2018. Anomalously low chemical weathering in fluvial sediment of a tropical watershed (Puerto Rico). *Geology* 46, 691-694.
- Kim, K.H., 1992. Geochemical Study of Some Mesozoic Granitic Rocks in South Korea. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology* 25, 435-446, Korean, with English Abstract.
- Kim, K.H., Kim, W.S., 1994. A Study on the Relationship between Stream Patterns and Geologic Structure in South Korea. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology* 27, 593-599, Korean, with English Abstract.
- Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1995. *Geology Map of Korea (1:1,000,000)*.
- Kump, L.R., Brantley, S.L., Arthur, M.A., 2000. Chemical weathering, atmospheric CO₂, and climate. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 28, 611-667.
- Lee, J.I., Lee, Y.I., 2003. Geochemistry and provenance of Lower Cretaceous Sindong and Hayang mudrocks, Gyeongsang Basin, southeastern Korea. *Geosciences Journal* 7, 107-122.
- Li, C., Yang, S., 2010. Is chemical index of alteration (CIA) a reliable proxy for chemical weathering in global drainage basins? *American Journal of Science* 310, 111-127.
- Nesbitt, H., Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.
- Parker, A., 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine* 107, 501-504.
- Price, J.R., Velbel, M.A., 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology* 202, 397-416.
- Raymo, M.E., Ruddiman, W.F., 1992. Tectonic forcing of late Cenozoic climate. *Nature* 359, 117-122.
- Ruxton, B.P., 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *The Journal of Geology* 76, 518-527.
- Suchet, P.A., Probst, J.-L., 1993. Modelling of atmospheric CO₂ consumption by chemical weathering of rocks: application to the Garonne, Congo and Amazon basins. *Chemical Geology* 107, 205-210.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312 p.
- Vogt, T., 1927. Sulitjelmefeltets geologi og petrografi. *Norges Geologiske Undersokelse*, 121, 1-560, Norwegian, with English Abstract.

Manuscript received: August 23, 2024

Revised manuscript received: August 29, 2024

Manuscript accepted: September 30, 2024