

한반도 서해안 금강하구 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계

지정만* · 장운호** · 오재경*** · 이연희*

Geochemical Relationship Between Shore Sediments and Land Geology in Keum River Area, West Coast of Korea

Jeong Mahn Chi*, Yoon Ho Jang**, Jae Kyung Oh*** and Yeon Hee Lee*

ABSTRACT: This study was carried out geochemically and mineralogically to define how Kusan shore sediments are related to their terrestrial source rocks in the region of Keum River Basin, western Korea. As a whole the chemical composition for major elements, trace elements and rare earth elements analysis from shore sediments and river bed sediments doesn't show the big difference, and especially rare earth elements chondrite normalized patterns are almost same. Heavy minerals of shore sediments are identified as hornblende, epidote, ilmenite, garnet, hematite, magnetite, sphene and rutile. Compared with Taean Area of Seo *et al.* (1998) and Byeonsan Area of Kwon *et al.* (1999), Kusan shore sediments of this study area were originated mostly from Keum River Basin.

Key words: shore sediments, riverbed sediments, rare earth elements, chondrite

주요어 : 연안퇴적물, 하상퇴적물, 희토류 원소, 콘드라이트 (석질 운석)

서론

최근 서해안과 남해안 갯벌에 대한 자연환경 및 자원보존 측면에서의 중요성이 크게 부각되고 있다. 그러나 주요 수계에서의 댐 및 하구언 건설로 인한 연안으로의 퇴적물 유입 감소, 과도한 해사채취, 해수면상승, 인공구조물 설치 등과 맞물려 해안침식 및 갯벌 유실 현상이 인정되고 있다. 이러한 문제에 대처하기 위해서는 연안 퇴적물의 기원 추적과 더불어 퇴적물의 이동과 인간간섭에 따른 연안에서의 침식과 퇴적현상에 대한 많은 선행 연구가 이뤄져야 할 것이다.

이러한 점에 착안하여 서경원 등 (1998)과 권종택 등 (1999)은 연안퇴적물의 기원지 추적을 목표로, 서해

연안의 해저 퇴적물과 서해로 유입되는 수계 유역의 육상 퇴적물 시료를 채취하여 지화학적으로 비교 분석한 연구 결과를 보고한 바 있다. 그리고 이 지역에 대하여 박용안 등 (1984)의 세립질퇴적물의 분포와 이동, 최진용 (1993)의 부유퇴적물에 관한 연구, 신동혁 등 (1993)의 점토광물 분포와 기원, 박용안 등 (1994)의 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용 등의 기존연구가 있다.

이번 연구대상 구간은 서경원 등 (1998)에 의한 태안반도 지역과 권종택 등 (1999)에 의한 변산반도 지역의 사이에 위치하는 구간으로 중부 이남 서해안에서는 유입수가 가장 많은 금강 하구지역이다 (Fig. 1). 이 논문에서는 육상퇴적물과 연안퇴적물의 지화학적 특징을 비교 분석함으로써 연안퇴적물의 기원을 추적하고, 그 결과를 태안반도와 변산반도지역 연구결과 (서경원 등, 1998; 권종택 등, 1999)와 비교 검토하고자 한다.

기조사 지역의 연구개요

서경원 등 (1998)은 금변 연구지역의 북부에 해당하는 태안지역을 연구대상으로 한 것이며 (Fig. 1), 연구

* 인하대학교 지구환경공학부 (School of Earth & Environmental Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

** 삼척대학교 자원공학과 (Department of Mineral and Petroleum Engineering, Samchock National University, Kangwondo 245-711, Korea)

*** 인하대학교 생물해양학부 (Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

결과를 요약하면 다음과 같다. 조사지역의 육상암석은 대부분 광역변성작용을 받은 선캠브리아기의 편마암, 편암, 규암 등과 중생대의 심성암 및 중생대의 퇴적암으로 이루어져 있다. 해저퇴적물 중 중광물은 대부분 일메나이트, 적철석 등의 철광물로 구성되며 소량의 모나자이트 (monazite), 저어콘 (zircon) 등도 포함되나, 위치에 따라 광물 조성비의 차이가 크게 나타난다. 점토광물의 분석 결과로 보면, 중국의 큰 수계에서 유입되는 퇴적물이 연안퇴적물에 끼치는 영향은 미미하며 상대적으로 주변 근원암들의 영향이 큰 것으로 나타났다. 쇄설물이 운반되는 과정에서 미량 금속을 포함한 상당량의 광물이 하상에 잔류되므로 하상시료에 비해 연안퇴적물에서의 미량 금속 함량이 감소하는 경향을 보인다. 해저퇴적물 중에 석영은 해록석, 철산화물 등으로 피복된 형태로 존재하는 경우가 많으며 해침성 퇴적잔류물과 육지에서 새로 운반된 퇴적물들이 서로 혼재한다. SiO₂에 대한 주 원소들의 분산 경향성은 각 수계유역의 암석시료의 것과 수계 퇴적물의 것이 대체로 일치한다. 해저 퇴적물의 희토류 함량은 육상암석에 비해 크게 감소하나 콘드라이트로 규격화한 분포양상

은 각 수계 유역의 육상암석과 거의 일치하므로 연안 퇴적물의 대부분은 육상암석에서 기원된다고 보았다.

권종백 등 (1999)은 금번 연구지역의 남부에 해당하는 전북 부안~전남 영광지역을 연구대상으로 하였다 (Fig. 1). 연안 유입 수계들의 퇴적물과 인접된 각각의 연안지역 퇴적물의 SiO₂에 대한 주 원소들의 분산 경향성은 유사성이 있으나, 해류 등의 영향으로 퇴적물이 재이동되어 부분적으로 차이가 있다. 연안퇴적물 중 중광물은 대부분 각섬석, 티탄철석 등으로 구성되고, 소량의 적철석·자철석, 석류석, 녹력석, 스피넬 (sphene), 금홍석과 극소량의 모나자이트, 저어콘, 중정석 등도 포함된다. 육상암석과 퇴적물에서 중광물 함량이 많은 시료에서는 희토류 성분의 함량도 상당히 높게 나타나고 Ce와 Eu의 부의 이상이 뚜렷이 나타나는데 희토류 성분을 콘드라이트로 규격화한 분포양상도 중광물의 함량에 따라 좌우된 것으로 추정된다. 연안퇴적물 중, 희토류 성분을 콘드라이트로 규격화한 분포양상은 유입되는 수계와 인접된 부분에서는 각 유입 수계 퇴적물의 것과 전반적으로 유사성을 보이거나 부분적으로 차이를 나타낸다. 이러한 연안퇴적물은 육상암석에 비해 대체로 희토류 성분 함량이 감소하고, Eu의 부의 이상도 약하게 나타난다. 이는 쇄설물 생성과정에서의 풍화작용, 조수와 해류에 의한 퇴적물의 이동과정에서의 유실에 의한 것으로 보인다. 희토류 성분의 콘드라이트로 규격화한 분포양상은 해안에서의 거리에 따라 차이를 보이는데, 거리가 짧은 곳에서는 넓은 범위의 분포를 보이다가 거리가 길어지면서 분포범위가 좁아진다. 이는 퇴적물의 유입량과 재혼합작용의 강도에 의한 것으로 보인다. 조사지역에서, 수계로부터 연안으로의 쇄설물 유입량이 비교적 적고 해류에 의한 재혼합작용이 약한 해안선 인접 부분에서는 퇴적상이 부분적으로 차이를 보이는 반면 해안선에서의 거리가 길어지면서 재혼합작용이 활발해지는 것으로 추정된다.

연구지역 지질개요

육상지질

연구지역의 육상지질은 북쪽에서부터 경기편마암 복합체, 주라기 대보화강암, 옥천층군 변성암류, 소백산 편마암 복합체가 넓게 분포하고, 백악기 불국사화강암, 경상누층군, 남포층군, 사동층군, 서산층군 등으로 이루어져 있다. 금강은, 대부분 변성암류로 구성되고 산악 지대인 장수읍 수분령을 발원지로 하여 무주, 영동을

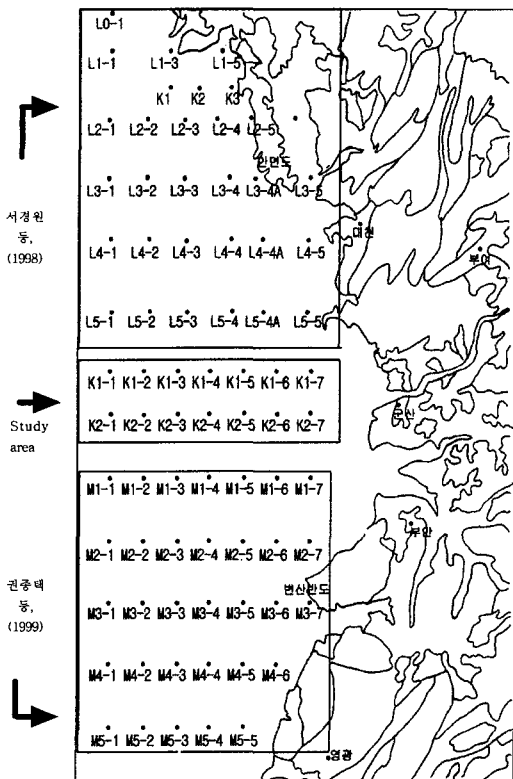


Fig. 1. Sampling sites in shore area.

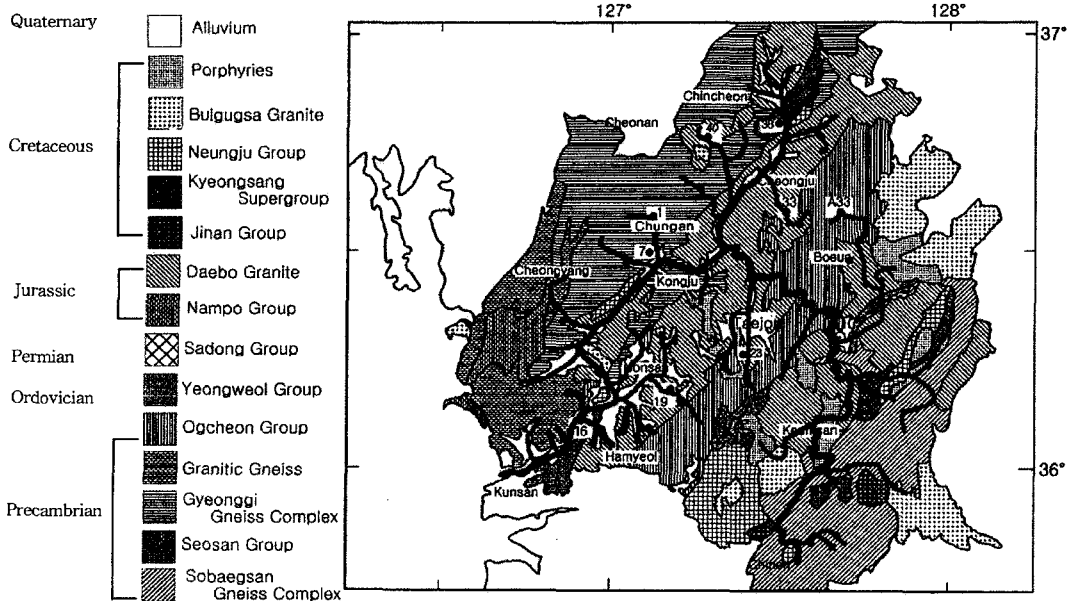


Fig. 2. Geological map and sampling site in the stream sediments study area. (referred from 1/50,000 quadrangles of Gwangjeong, Gongju, Hamyol, Ganggyeong, Nonsan, Daejeon, Miwon, Jeungpyeong, Yongdam, Muju etc.)

거치는 동안 좁고 가파른 계곡을 복류하여 대청호로 이어진다. 금강은 신탄전에서부터 계곡지형을 벗어나 퇴적평야 지대를 복서류하며 지질분포도 변성암류 대신 화강암류의 분포가 많아지고 가장 큰 지류인 미호천과 합류한다. 공주에서는 역암류와 안산암 등과 만나면서 유로가 남서류로 바뀌고 역암류와 화산암류 지역을 벗어나면서 화강암류와 화강암질 편마암류로 구성된 저구릉성 퇴적평야 지대를 흐르다가 부여 강경 지역을 거쳐 서해로 유입된다. 그 사이에 크고 작은 여러 지류와 합류되는데 이들 지류에서의 쇄설물의 유입량도 상당히 많은 것으로 보인다 (양동윤 등, 2000). 이 연구에서는 육상시료 채취지역을 위도 35° 45'~36° 55', 경도 126° 45'~127° 55'범위에 들어가는 금강 수계 유역을 대상으로 정하였으나, 금강유역 면적이 너무 광범위하므로, 지역별 평균 지화학적인 경향성을 얻기 위해서 주로 지류와 합류되는 지점에서 하상시료를 취하였다 (Fig. 2). 시료는 1 개소에서 40~50 kg씩 채취하고 이를 다시 4분법으로 나뉘어 약 10 kg을 취하였다. 하상퇴적물의 기원지인 지류유역의 지질은 기초사된 1/50,000 지질도를 기본으로 하여 기재하였다.

정안 지역

한국지질도 광정도폭 (강필중, 임주환, 1974)에 의하

면 이 일대는 경기편마암복합체가 중북방향으로 길게 분포한 지역이다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Chungang 1) 은 정안천의 상류지역으로 하상퇴적물은 주로 호상흑운모편마암에서 기원되는 것으로 생각된다. 호상흑운모편마암의 구성광물은 주로 석영, 장석, 흑운모이며 드물게 자류철석과 백운모, 장석의 반상변정이 산재되어 있다. 흑운모의 양이 많은 편으로 석영 장석대와 교호를 이루고 있다. 소규모의 규질석회암은 투각섬석, 석영, 녹염석, 투회석, 스피넬 및 방해석으로 구성되어 있다.

진천 지역

진천지역은 한국지질도 증평도폭 (이종혁, 김정환, 1971)에 의하면 북동방향으로 반상화강암이 넓게 분포하고 주변에 호상편마암과 중생대 지층이 분포한다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Chincheon 38)은 미호천과 백곡천이 합류하는 지점으로 반상화강암과 호상편마암이 시료채취 지점의 퇴적상에 많은 영향을 끼친 것으로 보인다. 시대미상의 화성암류인 반상화강암은 김제-청주-충주를 잇는 북동방향으로 발달하는 거대한 저반암체의 중앙부에 해당된다. 암상은 중립 내지 조립질이며 부분적으로는 반화강암질 조직을 보여주기도 하나 전체적으로는 반상조직을 보여준다. 호상편마암은 퇴적암류의 기반암이 되고 있으며, 화강암의

관입을 받았다. 일종의 퇴적기원의 준편마암이고, 변질분화로 인한 저변질대가 협재 내지 교호되어 암상은 편암상에 가깝다. 구성광물로 석영, 흑운모가 주를 이루고 방해석이 소량 있으나 심한 변질을 받았으며, 녹니석이 많아 암색에 영향을 주고 있다. 백악기 신라통에 해당하는 중생대 지층은 녹회색 셰일, 사암, 자색 셰일 및 응회암으로 구성된다. 암층은 일반적으로 자색을 띠고 있으며, 암상은 상부에서 하부로 내려 갈수록 화산재나 화산력이 거의 없으며, 견고 치밀한 암상을 보여주나 공동이 많이 발달하고 있어 응회암 또는 화산력응회암으로 구성되는 양상을 보여준다.

보은 지역

시료채취 지점 (Fig. 2; Boeun A33)은 금강 상류에서 합류하는 보청천의 상류부로, 한국지질도 미원도폭 (이종혁 등, 1980)에 의하면 시료채취 지역 주변은 북동방향으로 길게 분포한 캄브리아기 백봉리층군의 운교리층과 인접한 옥천누층군의 암석이 시료채취 지점에 영향을 끼친 것으로 보인다. 운교리층은 주로 사질암으로 되어 있고, 이의 구성광물은 석영, 흑운모, 백운모, 사장석, 저어콘, 인회석 (apatite), 기타 불투명 광물 (opaque mineral) 등 이다. 주 구성암과 구조를 파악하는데 있어서, 저변성 내지 열변성된 사질암, 층간에 협재하는 이질암, 결정질 판상석회암이 건축 (鍵層) 역할을 한다. 암저회색 내지 암갈색의 사질암은 세립질이며 흔히 자철석을 함유하기 때문에 자성을 띄고 조립질부의 호층이 발달하는 곳을 제외하고는 층리를 잘 보이지 않는다. 이질암류는 천매암화 했고 혼펠스와 유사한 암상이며, 사질암과 접하는 부분에서 뚜렷한 층리를 이룬다.

공주 지역

한국지질도 공주도폭 (김서운 등, 1976)에 의하면 이 일대의 지질은 주로 중생대 역암과 선캄브리아기 변성암류로 이뤄진다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Kongju 7)은 금강과 정안천이 합류하는 지점이다. 시료채취 지점의 퇴적상은 대부분 역암과 반상쇄설편마상화강암 그리고 선캄브리아기 변성암류인 혼성편마암, 운모편암의 영향을 받았고, 소량의 안산암질암의 영향도 있는 것으로 생각된다. 역암은 각력, 아각력, 원력 등의 다양한 역으로 구성되어 있고, 역의 종류는 호성편마암, 혼성편마암, 흑운모편마암, 규암, 석영편암, 반상쇄

설편마상화강암, 화강암, 자갈색응회암, 백색응회암 등으로 다양하다. 반상쇄설편마상화강암의 주구성광물은 사장석, 석영, 미사장석, 흑운모, 백운모이며, 자류철석, 자철석, 적철석 등도 소량 포함된다. 이는 기질이 담녹색 내지 흑색의 흑운모와 석영 및 사장석으로 일정방향으로 배열되어 전체적으로 편마상 조직을 이룬다.

혼성편마암은 회백색 내지 회흑색을 띠며 중립 내지 세립의 장석 및 석영과 흑운모 및 녹니석 등의 유색광물로 이루어져 있다. 반상쇄설편마상화강암, 편마상화강암, 흑운모화강암, 홍색장석화강암, 염기성 암맥, 반암맥의 관입을 받았고 운모편암, 규암, 흑연편암, 석회규산염암을 포획하고 있다. 운모편암은 규암, 결정질석회암, 흑연편암 등이 협재되어 있는데 이는 본 암류가 이(泥)질퇴적물의 변성암이라는 것을 암시한다. 흑운모, 백운모, 녹니석, 석영, 장석을 주성분으로 하고 이밖에 백운모, 인(鱗)상흑연, 규녹석, 홍주석, 남정석으로 구성되며, 편리면에 따라 인(鱗)상 흑연과 자류석을 갖기도 한다. 안산암질암은 주로 담녹색~녹회색을 띠며 부분적으로 자회색, 암회색, 암회갈색을 띠는 부분도 있다. 석기는 작은 막대기모양 (lath-like)의 사장석결정들이 조면암질 조직을 이루며 반정은 자형의 감람석, 휘석, 녹염석, 흑운모, 사장석 및 석영으로 구성되어 있다.

대전 지역

대둔산과 계룡산에서 각각 발원하는 벌곡천과 두계천이 대전 서구 용촌동에서 합류하여 갑천을 이룬다. 갑천은 금산에서 발원하여 시가지를 통과하는 유등천을 아울러 다시 연기군 합강리에서 금강 본류에 합류된다. 갑천에는 홍수 때마다 많은 퇴적물이 쌓여 골짜기채취가 빈번히 이뤄진다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Taejon 23)은 유등천의 상류 지점이다. 한국지질도 대전도폭 (이상만 등, 1980)에 의하면 시료를 채취한 주변지역은 옥천누층군의 변성 섬록암질암, 창리층 천매암질 편암, 주라기의 조립 및 중립질 흑운모 화강암, 백악기의 석영 반암 등이 분포하고 있다. 변성 섬록암질암은 대체로 괴상암체를 형성하나 주변 옥천층군과의 접촉부로 갈수록 편리가 잘 발달되며 때에 따라 옥천층군 암석의 구조가 보존된 경우도 볼 수 있다. 유색광물의 함량이 많아 전체적으로 검은 색을 가지나 지역에 따라 암색은 일정치 않다. 구성광물은 사장석이 대부분이고, 휘석류 및 각섬석류, 흑운모, 석영, 미사장석, 자류철석, 인회석, 저어콘 등이다. 창리층은 옥천층군의 변성퇴적층 중에서 가장 고기의 것이다. 창리층은 크게 상부와 하부

로 세분되는데, 창리층 상부는 녹색 또는 담녹색을 띠는 천매암, 편암 등으로 주로 구성되어 있으며 결정질 석회암의 박층이나 석탄층이 협재되어 있지 않고, 창리층 하부는 주로 흑색, 암회색 또는 암갈색을 띠는 편암, 천매암, 사질천매암 등으로 구성되는 부분과 천매암질 슬레이트, 슬레이트 등의 암석과 탄층, 결정질 석회암의 박층 등으로 구성되는 부분으로 나누어지는 점이 특징이다. 조립 및 중립질 흑운모 화강암은 주라기 화성암중 심성암류로 주로 석영, 사장석, 흑운모, 미사장석과 소량의 정장석, 백운모, 녹니석, 저어콘으로 구성되어 있다. 지역에 따라 거정화강암에 가까운 조립질을 보여주는 곳이 있다. 백악기 반심성암류 중 가장 넓게 분포한 석영반암은 주 구성광물이 석영, 정장석 및 미사장석, 사장석이고 그 외 흑운모와 기타 장석류암석으로 구성된 유백색 내지는 담홍색을 띤다. 암상은 지역에 따라 변화가 심하여 치밀 균질한 규장암에서 유상구조를 잘 나타내는 층상으로 변하기도 한다.

논산 지역

논산 지역은 주로 풍화에 약한 중생대 화성암류로 이뤄져 낮은 구릉과 평야지대로 이뤄져 있다. 논산평야 지대를 통과하는 하천은 북으로부터 석성천, 노성천, 논산천, 강경천 등이 있다. 이러한 하천들은 여러 작은 소하천이 합류되어 이뤄지며, 논산천은 논산 시가지에서 노성천을 합류하여 강경 쪽으로 흐르며, 강경에서 다시 강경천을 합류하여 금강 본류로 유입된다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Nonsan 19)은 논산천 상류 지점이다. 한국지질도 논산도폭 (장태우, 황재하, 1980)에 의하면 중생대 화성암류가 넓게 분포한 이 지역에서 하상시료 19는 주변의 반상화강섬록암, 화강섬록암의 영향을 많이 받았을 것으로 생각된다. 주라기 화강암류인 반상 화강섬록암은 부분적으로 미약한 편마상구조를 갖고 중립질이며 반상조질을 갖는 흑운모 반상 화강섬록암이다. 반상조질은 잘 발달되는 편이며 반정은 칼리장석 (대부분 미사장석)으로 이루어진다. 사장석과 석영을 주성분으로 소량의 미사장석, 흑운모와 각섬석, 휘석, 녹니석, 인회석, 저어콘, 자철석, 스피넬 등이 수반된다. 화강섬록암은 중립질의 암상이 곳에 따라 편마상구조를 발달시키는 주라기 화강암류이다. 전체적으로 볼 때 석영과 사장석이 약 70% 이상을 차지하고 10%내외의 칼리장석과 휘석, 인회석, 저어콘, 백운모, 자철석, 녹니석 등이 수반된다. 가끔 유색광물의 집합체인 슈리에렌 (schlieren)이 길고 렌즈 상으로 관찰되는데 이들의 방향성도 편마상

구조와 일치한다 할 수 있다.

함열 지역

이 지역도 논산평야의 연장부로서 부곡천이 흐른다. 부곡천은 함열읍 동지산리에서 함열천을 합류하여 용안면 상당리에서 금강에 합류된다. 시료채취 지점 (Fig. 2; Hamyeol 16)은 부곡천과 함열천 합류 지점이다. 한국지질도 함열도폭 (정창희, 고석진, 1963)에 의하면 이 지역 일대는 함열편마암과 편암류가 분포해 있다. 그 암질이 특이하고 분포가 대상으로서 한 지대에만 국한된 함열 편마암은 전체로 녹회색이나 담홍색의 장석으로 인하여 홍록의 잡색을 보여 주는 것과 풍화 표토에 조립의 장석입자가 많이 잔존하는 것이 특징이다. 각섬석화강편마암으로서 그 주성분은 반정모양의 담홍색 장석이고 소량의 석영과 각섬석, 흑운모로 되어있다. 무학산 부근의 편암류는 대부분이 담갈색의 견운모 석영편암과 석영편암으로 되어 있으며, 사암의 구조를 거의 그대로 보여 주는 곳과 규암의 박층을 협재하는 곳이 있다. 무학산 부근에서는 탄질물층이 발견되며, 이는 흑색 내지 회색세일 속에 들어있다.

해양지질

조사해역의 조류는 조석 (潮汐)과 마찬가지로 1일 2회의 창조류 (漲潮流)와 낙조류 (落潮流)가 왕복성을 나타내며 유향 (流向)은 북서 및 남서 방향이다. 외항에서의 창조류는 빠른 유속으로 북동류하여 연안으로 유입하면서 유속은 점차 감소된다. 낙조류는 이와 반대로 남서류하며 유속이 강해지면서 외해로 흐른다 (이동영 등, 1996).

오재경 (1994)에 의하면, 대한민국 연근해에 분포하는 표층퇴적물에 대한 특성을 퇴적물유형에 따라 분류해보면, 한반도 서해안의 동경 125° 이상, 북위 35° 이상인 지역은 모래가 우세하게 발달한다. 즉, 금강입구인 군산 앞 바다에서부터 사 (sand), 실트질사 (silty sand), 사질 실트 (sandy silt), 실트 (silt) 그리고 니 (mud) 로 변하여 가는 대상의 세립질 퇴적물대가 발달한다. 그러나 해안 쪽은 보다 조립질 퇴적물로 구성되어 실트질사 (silty sand), 니질사 (muddy sand), 사 (sand) 및 역 (gravel) 으로 구성되고, 연근해에는 다시 세립질 퇴적물인 니 (mud) 가 발달하는 분포양상을 보여준다. 이동영 등 (1996)에 의하면 군산북서부 연안역에서 사퇴 (砂堆)는 정부 (頂部)가 사질퇴적물로 구성되나 가끔 점토질 덩어

리 (mud lump)가 포함되기도 한다. 사퇴의 동서 끝은 전반적으로 점토질 퇴적물로 구성되며 대체로 엽리구조가 발달한다. 이러한 점으로 보아 현재 점토질 퇴적물이 활발히 퇴적되고 있다는 것을 알 수 있다.

조영길 등 (1993)에 의하면 금강하구 퇴적물의 평균 입도는 3.5~7.2 Φ 범위로 변화하고, 유속이 강한 왕복성 조류로 인해 주로 사질퇴적물이 우세하게 분포하고 세립질 퇴적물은 해안선 부근에서 비연속적으로 나타난다. 한반도 연안의 전반적인 세립질 퇴적물 분포는 금강하구를 중심으로 북쪽 방향의 태안반도에 이르는 해안을 따라 외해로 좁게 뻗어나가는 형태와 하구 남쪽의 연안을 약간 벗어나 남서방향의 외해로 다소 폭 넓게 확장되는 모양으로 특징지워진다. 조영길 (1994)에 의하면, 대륙붕 해역의 퇴적물 분포는 대체로 해안선에 평행하게 나타나며, 연안해저에는 니질 퇴적물이, 연안을 벗어난 외대륙붕 해저에는 사질퇴적물이 우세한 것으로 나타났다. 수심과 반비례해서 나타나는 조립퇴적물은 해수면이 현재보다 130 m 낮았던 지난 제 4빙하기 때의 고해안선에 인접한 환경에서 집적된 퇴적물로 해석이 된다.

본 연구에 이용한 연안퇴적물 시료는 위도 35° 57'~36° 03', 경도 126° 00'~126° 30' 지역에서 위도

6', 경도5간격으로 수심이 얇은 연안의 선상에서 grab을 이용하여 300~400 g 정도 채취하였다.

화학분석

화학분석방법

육상시료는 200 mesh 이하의 고운 분말상태로 만들어 주성분원소, 미량성분원소, 희토류성분원소의 정량 분석을 위해 XRF분석, ICP분석을 기초과학연구원 연구소에 의뢰하여 실시하였다. 세립의 육상시료는 분말로 하여 XRD분석을 통해 주 구성광물을 확인하였다. 중광물 분리는 시료의 입자들이 미세하여 완벽한 분리는 매우 어려웠으며 실제의 함량에 비해 적은 양만이 취해졌다. 테트라브로모에탄 (tetrabromoethane) 증액을 이용한 비중분리법으로 중광물을 분리하였고, 분리된 것을 연마편으로 제작하여 반사현미경하에서 가능한 감정을 실시하였다. 다양한 광물을 포함하고 있는 7개의 연마편을 선별하여, 각각에 대하여 36 point의 EPMA 분석을 실시하여 중광물 감정과 빈도를 조사하였다. 해양퇴적물시료가 염분과 유기물, 패각편 등을 함유하고 있으므로, 염분은 증류수로, 유기물은 H₂O₂로, 패각편

Table 1. Major element analysis.

(wt.%)

Sample No.	Component												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I	Total	
stream sediments	7	83.33	8.88	1.98	0.17	0.02	0.33	0.49	2.59	0.82	0.04	1.34	99.99
	16	66.17	16.53	4.74	0.54	0.05	0.96	1.01	3.30	1.84	0.11	4.87	100.12
	19	77.73	10.66	3.15	0.30	0.05	0.80	0.85	3.38	1.17	0.06	1.77	99.92
	23	78.84	9.97	3.10	0.24	0.08	1.15	0.66	3.43	1.23	0.07	1.25	100.02
	A33	80.43	9.46	3.22	0.33	0.17	0.68	0.78	2.76	0.55	0.05	1.58	100.01
	38	83.53	8.67	1.49	0.16	0.02	0.34	0.39	3.38	0.87	0.03	1.07	99.95
	40	79.55	10.93	1.45	0.10	0.06	0.29	0.22	5.55	1.16	0.04	0.65	100.00
shore sediments	K1-1	76.35	9.53	5.44	0.27	0.01	0.52	0.82	3.38	1.24	0.09	2.44	100.09
	K1-2	85.14	7.57	1.11	0.15	0	0.42	0.23	3.18	1.06	0.02	1.12	100.00
	K1-3	79.49	10.25	1.98	0.23	0.00	0.71	0.45	3.55	1.81	0.03	1.50	100.00
	K1-4	79.67	10.13	2.13	0.36	0.02	0.78	0.50	3.16	1.71	0.04	1.43	99.93
	K1-5	82.54	8.57	1.90	0.24	0.00	0.57	0.42	3.20	1.30	0.03	1.16	99.93
	K1-6	82.50	8.63	1.77	0.25	0.02	0.72	0.48	3.29	1.14	0.03	1.14	99.97
	K1-7	79.92	9.48	2.24	0.41	0.02	1.02	0.74	3.40	1.38	0.04	1.52	100.17
	K2-1	85.16	8.04	0.88	0.13	0.01	0.46	0.23	3.20	1.16	0.02	0.72	100.01
	K2-2	88.27	6.26	0.64	0.07	0.00	0.26	0.14	2.92	0.73	0.02	0.68	99.99
	K2-3	85.15	8.19	0.76	0.09	0.01	0.40	0.19	3.32	1.20	0.02	0.69	100.02
	K2-4	79.05	10.61	2.08	0.39	0.02	0.92	0.57	3.11	1.97	0.04	1.29	100.05
	K2-6	79.15	10.04	2.62	0.31	0.02	0.74	0.57	3.34	1.65	0.04	1.55	100.03
	K2-7	76.25	11.50	2.76	0.68	0.04	1.12	0.82	2.86	1.93	0.06	1.92	99.94

Table 2. Trace element analysis. (ppm)

Sample No.	Component	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Nb	Cs	Ba	Hf	Pb	Th	U
7		8.35	27.82	73.57	5.24	25.91	18.44	39.70	9.32	73.61	103.72	7.35	6.40	1.23	305.00	1.37	25.13	12.36	1.71
16		26.13	57.95	52.20	13.60	12.72	18.65	87.53	21.94	117.70	211.34	12.09	13.66	6.48	307.33	2.52	27.32	15.24	4.13
19		16.73	37.42	51.23	6.67	17.17	19.21	56.20	11.76	108.43	71.73	15.67	14.60	2.47	227.87	3.53	18.36	13.21	2.62
23	stream	12.08	34.62	51.25	5.80	15.92	25.47	57.32	10.60	90.10	146.83	9.27	9.15	2.39	700.95	1.95	27.54	10.65	1.89
A33	sediments	20.23	33.57	45.75	8.67	16.36	18.64	50.10	10.29	100.55	92.73	34.29	10.52	3.57	196.13	2.02	33.55	6.34	1.80
38		7.57	15.99	48.79	4.60	15.15	12.77	30.70	8.24	92.36	126.94	7.03	6.37	1.28	369.58	1.14	26.88	12.24	1.88
40		10.31	35.03	37.22	2.73	6.83	17.02	20.13	10.37	202.70	92.07	5.22	8.37	1.13	297.00	1.38	48.60	13.51	1.50
K1-1		20.73	23.26	25.44	7.44	6.56	15.57	46.34	10.13	97.81	124.25	6.99	9.21	3.13	274.49	2.79	29.48	8.09	1.30
K1-2		8.30	8.618	13.40	3.14	2.81	39.29	28.49	7.34	88.93	132.23	4.20	6.29	1.40	316.95	2.23	47.53	4.59	1.02
K1-3		12.22	21.36	190.30	4.78	7.68	19.75	33.50	10.70	98.28	177.64	6.71	9.15	1.87	340.05	2.89	37.64	9.66	1.21
K1-4		16.28	32.11	22.35	5.26	6.48	12.61	29.06	9.31	92.79	152.14	10.36	11.88	2.02	322.38	4.76	32.00	15.41	2.45
K1-5		10.31	23.06	15.65	3.87	5.66	10.93	23.54	8.32	87.56	138.40	7.30	7.53	1.58	317.68	2.72	35.50	11.01	1.53
K1-6		11.68	23.99	24.99	4.35	7.37	9.24	23.74	7.84	93.18	162.52	7.49	9.56	1.64	359.11	2.88	28.02	8.42	1.46
K1-7		12.62	30.95	33.39	6.77	8.60	2.23	25.22	10.39	94.50	202.00	11.41	11.83	1.83	358.76	4.44	20.20	16.43	2.41
K2-1	shore	9.01	20.82	9.69	2.46	3.20	1.05	12.53	7.89	96.09	152.55	5.13	7.67	1.35	373.08	3.21	20.48	4.67	1.08
K2-2	sediments	7.59	15.28	5.73	1.54	2.27	0.89	10.52	4.94	83.80	130.91	3.66	3.25	1.06	350.91	3.55	51.49	3.81	0.97
K2-3		8.50	18.15	8.13	1.71	2.59	0.74	11.72	5.86	97.69	154.08	3.99	4.69	1.32	391.18	3.41	20.41	4.11	0.91
K2-4		10.63	23.36	30.49	6.83	6.98	1.33	27.90	10.87	93.11	187.79	12.19	15.94	1.95	311.91	5.87	19.69	18.33	2.33
K2-6		13.08	30.97	24.39	6.27	7.50	0.91	28.09	10.82	97.40	178.99	9.55	9.40	1.97	351.11	4.52	19.22	13.24	1.78
K2-7		18.54	43.87	57.77	9.71	11.36	21.21	57.88	12.05	90.23	181.11	20.30	17.77	2.45	302.01	9.50	45.54	37.65	4.44

Table 3. Rare Earth element analysis.

Sample No.	Component														(ppm)			
	La	Ce	Pr	Nd	Eu	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		Σ LaREE	Σ HREE	Σ REE
7	28.17	50.89	6.91	21.68	0.78	4.11	4.14	0.74	2.11	0.61	0.97	0.41	0.87	0.44	112.52	10.27	122.79	6.57
16	43.09	72.93	10.27	32.47	1.39	5.82	6.04	0.99	3.44	0.85	1.61	0.50	1.39	0.52	165.97	15.33	181.29	8.50
19	23.30	44.23	6.10	19.43	0.78	3.97	4.26	0.90	3.46	0.99	2.10	0.62	2.12	0.65	97.81	15.12	112.91	3.67
23	40.03	71.31	9.43	27.86	1.15	4.52	4.43	0.78	2.54	0.71	1.30	0.46	1.19	0.51	154.30	11.92	166.22	8.17
A33	12.70	39.59	3.60	11.43	0.63	2.46	3.00	0.79	4.24	1.69	5.55	1.44	7.99	1.67	70.40	26.37	96.77	0.78
38	22.38	40.38	5.76	18.51	0.73	3.72	3.60	0.70	2.00	0.59	0.91	0.40	0.79	0.43	91.49	9.42	100.91	5.37
40	23.32	42.39	6.11	18.64	0.59	3.39	3.14	0.63	1.59	0.51	0.68	0.37	0.56	0.40	94.44	7.88	102.32	6.02
K1-1	19.58	38.10	5.03	16.07	0.76	3.10	3.07	0.66	1.93	0.62	0.98	0.42	0.96	0.46	82.65	9.09	91.74	4.41
K1-2	9.16	17.47	2.44	7.33	0.54	1.62	1.51	0.46	1.03	0.45	0.58	0.36	0.60	0.40	38.57	5.38	43.95	2.39
K1-3	18.30	35.13	4.67	14.85	0.81	2.94	2.88	0.63	1.79	0.58	0.88	0.40	0.84	0.43	76.70	8.43	85.13	4.35
K1-4	37.35	70.31	10.70	35.10	0.98	6.38	6.23	1.00	3.34	0.81	1.45	0.48	1.27	0.51	160.82	15.09	175.91	7.51
K1-5	22.67	45.55	5.97	19.03	0.76	3.65	3.71	0.72	2.07	0.62	0.97	0.42	0.87	0.44	97.61	9.81	107.42	5.23
K1-6	20.04	37.67	5.17	16.48	0.78	3.23	3.20	0.67	1.98	0.62	0.97	0.42	0.92	0.45	83.38	9.23	92.61	4.62
K1-7	34.96	70.43	9.60	31.08	1.02	5.73	5.75	0.95	3.20	0.80	1.48	0.48	1.30	0.51	152.81	14.47	167.28	7.01
K2-1	10.77	21.01	3.00	9.33	0.65	2.05	1.93	0.54	1.30	0.51	0.68	0.38	0.66	0.41	46.81	6.40	53.21	2.72
K2-2	8.12	16.26	2.27	6.76	0.51	1.53	1.64	0.45	0.92	0.43	0.50	0.35	0.53	0.39	35.44	5.20	40.64	2.16
K2-3	9.23	16.87	2.55	7.68	0.59	1.72	1.54	0.47	1.03	0.45	0.54	0.35	0.57	0.39	38.63	5.34	43.97	2.45
K2-4	39.68	82.91	10.83	35.31	1.09	6.37	6.46	1.03	3.52	0.86	1.64	0.50	1.48	0.54	176.19	16.02	192.22	7.52
K2-6	29.80	55.43	7.71	25.10	0.89	4.73	4.71	0.84	2.65	0.72	1.25	0.46	1.14	0.49	123.66	12.27	135.92	6.25
K2-7	77.19	152.49	20.72	86.36	1.28	11.36	11.57	1.58	5.85	1.20	2.51	0.62	2.20	0.66	349.39	26.19	375.58	12.04

Table 4. EPMA analysis for heavy mineral parts separated from stream sediments.

Point	Oxide%										Mineral
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	
7-1	38.320	22.030	0.070	30.090	6.700	0.640	1.120	0.030	1.010	100	garnet (almandine)
7-2	1.720	0.210	-0.060	96.490	0.280	0.170	1.060	0.100	0.030	100	hematite+magnetite
7-3	47.110	10.980	1.650	16.280	10.080	0.240	2.060	0.770	10.830	100	common hornblende
7-4	2.920	1.370	-0.110	92.440	0.940	0.130	1.760	0.200	0.350	100	hematite+magnetite
7-5	41.470	22.050	-0.090	30.430	3.110	1.600	0.260	-0.050	1.220	100	garnet (almandine)
7-6	10.260	6.590	0.190	74.580	0.940	2.410	1.930	0.770	2.320	100	hematite+magnetite
16-1	8.780	3.980	83.180	1.710	0.440	0.120	0.400	1.160	0.240	100	rutile
16-2	0.630	0.360	0.290	97.550	0.120	0.120	0.930	-0.050	0.060	100	hematite+magnetite
19-1	3.960	0.670	-0.230	93.060	0.600	-0.110	1.790	-0.030	0.290	100	hematite+magnetite
19-2	5.580	4.980	-0.010	87.490	0.180	-0.050	1.830	-0.080	0.090	100	hematite+magnetite
19-3	6.790	7.620	0.140	79.110	0.850	1.830	3.370	0.070	0.220	100	hematite+magnetite
23-1	45.040	11.420	1.660	16.280	10.930	0.340	2.310	0.740	11.280	100	common hornblende
23-2	45.000	10.900	1.910	19.660	7.620	0.570	1.500	1.000	11.820	100	common hornblende
A33-1	28.740	17.410	0.450	22.000	4.470	7.070	18.230	0.120	1.510	100	aegirine augite
A33-2	31.940	17.490	0.370	20.640	3.510	5.020	16.250	-0.260	5.030	100	aegirine augite
A33-3	48.100	12.320	-0.130	14.160	2.960	5.460	15.430	0.290	1.410	100	aegirine augite
A33-4	30.220	18.750	-0.170	19.250	3.650	8.340	17.790	-0.230	2.400	100	aegirine augite
A33-5	30.160	18.390	-0.150	20.530	5.620	3.680	18.820	-0.160	3.120	100	aegirine augite
A33-6	29.390	17.680	0.030	20.410	4.600	5.560	20.010	0.050	2.260	100	aegirine augite
38-1	55.440	10.220	-0.080	14.330	8.800	0.700	-4.120	1.530	13.170	100	common hornblende
38-2	52.650	25.510	0.170	4.710	3.540	0.150	0.570	0.490	12.220	100	common hornblende
38-3	50.040	8.460	0.830	16.730	10.630	0.480	-0.510	0.580	12.770	100	common hornblende
38-4	46.790	15.160	0.310	21.380	5.230	0.830	-2.230	0.900	11.650	100	common hornblende
38-5	61.680	6.230	3.090	13.380	5.510	0.910	-17.480	1.280	25.400	100	common hornblende
40-1	47.260	11.390	0.940	16.370	9.350	0.230	2.110	0.790	11.560	100	common hornblende
40-2	0.090	0.060	52.450	44.100	0.100	2.770	0.460	-0.030	0.000	100	ilmenite
40-3	0.250	0.160	53.190	44.060	0.050	1.730	0.550	-0.080	0.080	100	ilmenite
40-4	0.170	0.070	53.540	43.010	-0.150	3.070	0.280	0.040	-0.040	100	ilmenite

Table 5. EPMA analysis for heavy mineral parts separated from shore sediments.

Point	Oxide%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	Mineral
(K1-1)1		58.262	1.039			1.610	24.027				13.244	98.182	tremolite
(K1-1)2		43.409	9.794	0.815		19.837	9.715		1.424	1.099	11.639	97.731	common hornblende
(K1-1)3		0.249		53.038		46.428		0.507	0.264			100.487	ilmenite
(K1-1)4		38.400	30.235			3.472					24.129	96.237	epidote
(K1-1)5		54.501	2.554		0.322	6.638	20.256		0.424	0.151	12.044	96.89	common hornblende
(K1-1)6		37.199	23.359			11.485					22.540	94.582	epidote
(K1-1)7		40.907	8.534	2.092		27.712	3.625		2.420	1.738	10.241	97.935	common hornblende
(K1-2)1				52.226		44.074		2.812	0.357			99.808	ilmenite
(K1-2)2		36.807	20.150			15.575		0.623			21.895	95.05	epidote
(K1-2)3		53.515	1.059			14.757	14.462		0.333		23.299	96.426	augite
(K1-2)4		36.867	24.750	0.457		9.502					23.168	94.744	epidote
(K1-2)5		5.308	2.701	86.482		0.679				0.720	0.150	96.997	rutile
(K1-3)1		48.612	6.847	0.711		14.835	12.981		1.092	0.502	11.821	97.773	common hornblende
(K1-3)2		0.307		52.811		42.181		4.529				100.322	ilmenite
(K1-3)3		1.621	0.604	93.291		0.647				0.200		97.063	rutile
(K1-3)4		44.767	12.793	0.729		0.338	15.171		1.845	0.428	11.448	97.275	common hornblende
(K1-3)5		37.302	28.842			3.638					23.204	93.558	epidote
(K1-4)1				52.006		45.107		2.132	0.471			99.716	ilmenite
(K1-4)2		30.231	2.676	35.577		0.454					27.386	96.711	sphene
(K1-4)3		37.643	21.262		0.387	31.413	6.176	1.038	0.323		1.103	98.959	garnet (almandine)
(K1-4)4		38.271	17.074			6.358	0.282	0.588			35.290	97.862	garnet (grossular)
(K1-4)5		10.473	0.610	78.260		2.528					0.170	92.554	rutile
(K1-4)6			0.641	18.256		71.640			0.679			91.217	hematite+magnetite
(K1-5)1				51.374		43.871		3.935	0.378			99.559	ilmenite
(K1-5)2		42.661	4.316	1.427		31.948	1.373	1.374	1.942	0.913	9.170	95.124	common hornblende
(K1-5)3						93.105			0.533			93.638	hematite+magnetite
(K1-5)4		29.470	1.323	37.373		0.844			0.256		26.689	95.955	sphene
(K1-5)5		33.719	8.495	1.005		16.596					34.003	93.818	garnet
(K1-5)6		42.425	8.399	1.899		22.269	7.088		1.131		10.498	96.086	common hornblende
(K1-6)1		37.175	21.185			14.780					22.664	95.805	epidote
(K1-6)2		50.977	7.877	0.791		11.209	14.925	0.409	0.939	0.320	11.941	99.399	common hornblende
(K1-6)3		50.441	7.934	0.810		11.604	14.790	0.634	0.816	0.518	11.898	99.444	common hornblende
(K1-6)4				89.915		2.082						92.503	rutile
(K1-6)5		38.087	25.078		0.507	10.393					23.316	96.875	epidote
(K1-6)6		50.541	6.600	0.945		11.433	15.021	0.362	0.668	0.286	11.344	97.201	common hornblende
(K1-7)1		55.008	2.923			4.043	20.163		0.329	0.237	13.074	95.777	tremolite
(K1-7)2		45.413	7.966	0.791		15.511	11.156		0.970	0.579	11.825	94.212	common hornblende
(K1-7)3				53.136		45.825		1.407	0.244			100.613	ilmenite

Table 5. Continued.

Point	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Total	Mineral
(K1-74)	39.880	32.813			0.345					23.794	96.832	epidote
(K1-75)	36.706	20.662			37.478	2.576	2.179	0.331		0.899	100.833	garnet (almandine)
(K1-76)	38.701	28.948			5.557			0.225		24.010	97.442	epidote
(K2-11)	37.298	21.352	0.321		14.809					22.651	96.431	epidote
(K2-12)	57.661	1.297			1.257	23.007				13.302	96.523	tremolite
(K2-13)	37.990	20.936			33.179	6.388	0.606	0.493		0.869	100.461	garnet (almandine)
(K2-14)	38.010	24.160			11.306					23.128	96.603	epidote
(K2-15)			49.669		46.100	0.348	2.801	0.293		13.125	99.211	ilmenite
(K2-16)	51.270	6.784	0.661		3.272	19.995		1.396	0.298	13.125	96.8	tremolite
(K2-17)	49.581	5.709	0.551		14.321	13.155	0.355	0.713	0.506	11.767	96.659	common hornblende
(K2-21)	48.843	5.823	1.283		14.628	13.554	0.545	1.255	0.555	11.669	98.153	common hornblende
(K2-22)		1.366	37.619		1.737					26.632	97.724	sphene
(K2-23)	52.116	4.508	0.642		11.090	17.106		0.903	0.461	11.208	98.034	tremolite
(K2-24)	39.903	28.879			6.088					23.914	98.785	epidote
(K2-31)	37.655	21.373			14.989		2.213			23.032	97.049	epidote
(K2-32)			53.640	0.457	45.039			0.464		22.202	101.813	ilmenite
(K2-33)	37.256	18.768	0.336		16.606	17.718				12.601	100.057	epidote
(K2-34)	56.131	3.082		0.434	9.681	10.164	0.410	0.411	0.805	11.534	97.332	common hornblende
(K2-35)	43.517	10.443	2.322		16.958	12.777		1.179	0.472	11.837	96.587	common hornblende
(K2-36)	48.895	6.697	0.811		14.312	10.255	0.433	0.786	1.022	11.434	97.005	common hornblende
(K2-37)	42.653	10.498	1.608		17.579	14.722		1.561	0.704	11.969	96.709	common hornblende
(K2-41)	46.334	8.994	2.002	0.549	9.875		1.840	1.572		10.892	101.597	ilmenite
(K2-42)			53.087		46.355			0.315		11.712	95.87	common hornblende
(K2-43)	40.754	12.463	1.075		21.867	6.210		1.572	1.037	11.172	97.196	common hornblende
(K2-44)	50.323	7.379	0.314	0.325	11.867	14.853	0.439	0.772	0.191	12.081	96.49	common hornblende
(K2-45)	52.941	2.328			12.538	15.309		0.544	0.311		97.959	rutile
(K2-46)		0.599	94.269	0.686	0.798					11.621	96.199	common hornblende
(K2-61)	40.970	13.594	1.142		17.180	8.392		1.625	1.675	11.237	101.256	ilmenite
(K2-62)	0.303		52.890		45.191		2.580	0.291		11.593	96.009	common hornblende
(K2-63)	44.745	7.013	1.628		20.111	8.951		1.557	0.767	24.223	97.207	epidote
(K2-64)	50.710	4.250	0.506		18.035	11.707		1.003	0.383	11.711	97.109	common hornblende
(K2-65)	39.594	32.203			0.921			0.265	0.183	11.955	97.695	common hornblende
(K2-66)	47.671	9.159	0.571		13.793	12.597	0.428	0.996	0.318	11.128	96.53	common hornblende
(K2-67)	48.236	7.165	0.338		17.657	10.465	0.395	1.166	0.798	11.492	97.362	common hornblende
(K2-71)	45.004	8.927	1.696		17.289	10.294		1.394		11.887	97.057	common hornblende
(K2-72)			1.518		86.457			0.659		12.466	98.764	hematite+magnetite
(K2-73)	43.562	11.057	1.287		17.965	9.710	0.428	1.346	0.943	27.651	99.162	sphene
(K2-74)	52.268	4.087	0.438		10.220	16.743		0.687	0.299			
(K2-75)	52.424	4.313	0.333		13.067	14.779	0.529	0.569	0.283			
(K2-76)	30.328	1.179	38.915	0.359	0.728							

Table 6. Average composition of major elements of stream sediments and shore sediments.

(%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Stream sediments	78.51	10.73	2.73	0.26	0.06	0.65	0.63	3.48	1.09	0.06
Shore sediments	81.43	9.14	2.02	0.28	0.01	0.66	0.47	3.22	1.41	0.04

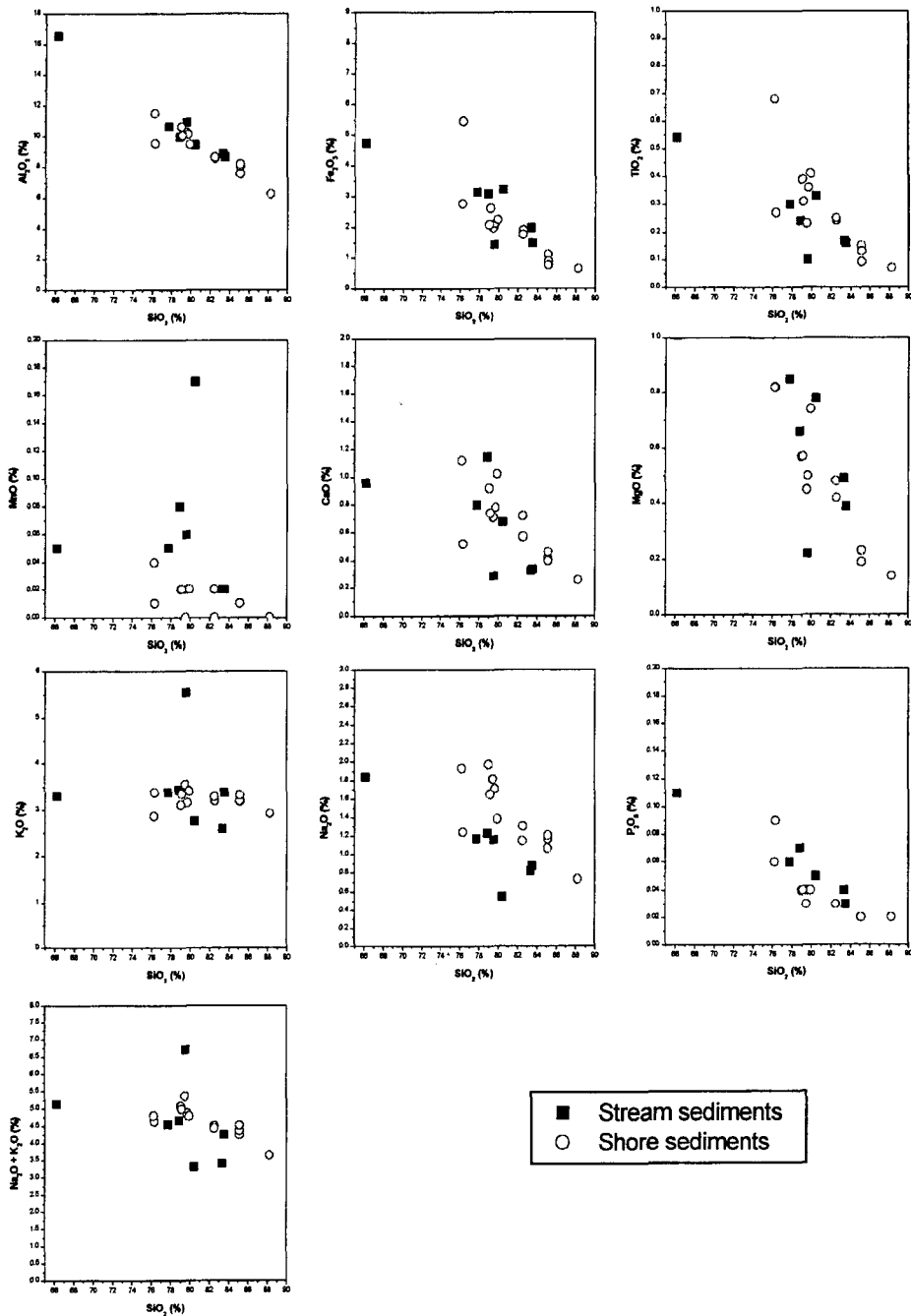


Fig. 3. Chemical variations of major elements against SiO₂ for stream sediments and shore sediments.

은 10% HCl을 이용하여 제거하였다. 약품 처리한 시료는 육상시료와 동일하게 XRF분석, ICP분석을 실시하였고, 점토는 별도로 분리하여 XRD분석을 실시하였다. 13개 연마편에 78 point의 EPMA 분석을 통하여 중광물을 동정하고 빈도를 조사하였다.

화학분석 결과

육상과 해양퇴적물 시료에 대한 분석치는 Table 1~Table 3에, 육상과 해양퇴적물 시료에서 분리한 중광물의 분석치는 Table 4~Table 5에 나타내었다.

Table 1은 육상과 해양퇴적물의 주성분원소 분석치, Table 2는 육상과 해양퇴적물의 미량성분원소 분석치, Table 3은 육상과 해양퇴적물의 회토류성분원소 분석치, Table 4는 육상 시료에서 분리한 중광물의 EPMA 분석치, Table 5는 해양퇴적물에서 분리한 중광물의 EPMA 분석치이다.

지구화학적 고찰

주성분 지구화학

육상과 해양퇴적물 시료의 주성분원소 평균값은 Table 6과 같다. 육상시료에 비해 해양퇴적물시료에서는

SiO₂, Na₂O 함량이 상대적으로 증가된 경향을 보인다. TiO₂, CaO는 큰 차이가 없으며 그 외의 성분은 모두 감소하는 경향을 보이고, 특히 해양퇴적물 시료에서는 Al₂O₃, Fe₂O₃가 크게 감소하는 경향을 볼 수 있다.

Fig. 3은 육상시료와 해양퇴적물시료의 주성분 원소의 분석치에서 SiO₂에 대한 주성분원소들의 경향성을 육상시료와 해양퇴적물시료를 함께 비교해 나타낸 것이다. 전체적으로 육상시료와 해양퇴적물시료는 거의 비슷한 경향을 보이나 해양퇴적물시료에서는 상대적으로 MnO 함량은 적게 Na₂O 함량은 크게 나타난다. 산화력이 강한 MnO는 MnO₂ 형태로 하상에 침전하기 때문에 해양퇴적물시료에서 상대적인 함량이 적은 것으로 추정된다. 육상시료는 SiO₂ 이외의 성분이 화학적 풍화에 의해 분해됨에 따라 대부분 주성분원소에서 SiO₂에 대해 반비례 관계를 나타낸다. MnO, K₂O, Na₂O+K₂O에서는 관계가 불분명하다. 해양퇴적물시료는 Na₂O+K₂O가 약한 반비례 관계를 나타내고 MnO, K₂O의 불분명한 관계를 제외한 그 외의 성분들은 모두 반비례관계를 나타낸다.

미량성분 지구화학

Table 7은 금번 조사지역의 연구결과와 기초조사지역의 연구결과 (서경원 등, 1998; 권종택 등, 1999) 중

Table 7. Average trace metal contents.

(ppm)

		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	
Study Area (Kunsan)	Stream sediments	51	7	16	19	49	30	
	Shore sediments	36	5	6	10	28	31	
Taeon Area ^a	Taeon Pen.-Anmyon Is.	28	6	18	30	61	31	
	Mt. Sungju area	38	4	22	40	140	31	
	Hongsung-Haemi igneous rocks	43	10	32	46	75	34	
	Shore sediments	28	4	10	85	70	35	
Byeonsan Pen ^b	Hwasan	54	8	29	61	78	12	
	Gosan-Dongsang	24	2	9	25	67	20	
	Source rocks	Gooi-Sindeok	27	3	7	12	53	18
	Jeongeub	43	7	28	18	49	15	
	Byeonsan Pen.	20	4	6	14	74	24	
Shore sediments	Gyeokpo	14	3	7	15	64	25	
	A area	38	2	6	7	16	15	
	B area	38	2	5	6	23	14	
	C area	36	3	7	7	19	12	
	D area	36	2	7	6	21	15	
Yellow sea ^c		37	7	17	9	40	22	

a : Seo et al. (1998), b : Kwon et al. (1999) (A area; Nearby Dongjin-Mankyong river, B area; Nearby Byeonsan Pen., C area; Nearby Gyeokpo, D area; Open sea), c : Cho. (1994).

미량 금속성분의 평균 함유량을 비교하여 나타낸 것이다. 우선 금번 연구결과인 군산연안 시료 분석치는 금강 하상시료 분석치보다 대체로 감소하는 경향을 보이거나, Pb를 제외하면 구성비는 유사하다. 이는 중광물들이 금강 수계에서 운반되는 동안 다른 광물과의 비중 차에 의해서 하상에 침강하였을 가능성을 시사한다. 그러나 군산 연안시료의 분석치와 태안 연안시료의 분석치를 비교하면 차이가 많으나, 군산연안 시료의 분석치와 변산연안 시료의 분석치를 비교하면 부분적으로 유사하게 나타난다. 따라서 조사해역에서 낙조류가 빠른 유속으로 남서류하며 외해로 흐르기 때문에 (이동영 등, 1996), 금강에서 유입되는 퇴적물의 일부는 변산 연안까지 영향을 미쳤을 가능성도 생각해 볼 수 있으나, 다음 항에서 기재하는 희토류성분 분석치에서는 양자가 상당한 차이를 보인다. 조영길 (1994)의 조사지역은 금번 조사지역보다는 약간 원해에 해당되는데, 해저 퇴적물에 대한 미량금속성분 분석치 중 Ni, Cu, Zn의 함량이 군산연안의 것보다 높은 값을 나타낸다. 연안에서도 조류 등의 해양에너지에 의해 퇴적물의 이동이 활발하게 발생하는 것으로 보인다.

희토류성분 지구화학

Table 8은 희토류 성분의 함량을 기 조사지역의 경우와 비교한 것으로, 본 연구에서는 육상암석과 중광

물의 분석을 실시하지 않았으므로 해양퇴적물과 하상 퇴적물만 비교하여 나타났다. 희토류 성분의 전체적인 경사인 $(La/Lu)_{CN}$ 는 하상퇴적물이 0.78~8.50 (평균 5.58), 해양퇴적물이 2.16~12.04 (평균 5.28)을 나타내고 전체적으로 경희토류가 중희토류에 비해 큰 경사를 나타낸다. 본 연구지역은 변산지역에 비해 REE 함량이 많은데 이는 금강의 쇄설물 운반력이 강하여 해양 퇴적물 중에 중광물의 함량이 많았을 것으로 사료된다.

Fig. 4와 Fig. 5는 육상시료와 해양퇴적물시료의 희토류성분 분석치를 Nakamura (1974)에 의한 콘드라이트로 표준화된 형태를 각각 도시한 것이다. 하상시료는 희토류 성분을 콘드라이트로 규격화한 분포양상이 대체로 Eu에서 부의 이상을 뚜렷하게 나타내고 있으나 대전 유등천 상류에서 채취한 23 시료에서는 Eu 부의 이상이 미약하게 나타난다. 보정천 최상류 지점에서 채취한 A33 시료는 주위 기반암인 퇴적기원의 변성암에 영향을 상대적으로 많이 받았기 때문에 다른 하상퇴적물과 다른 경향성을 나타내는 것으로 보인다. 해양퇴적물에서는 해안에 가까운 지역일수록 Eu 부의 이상이 뚜렷하게 나타나고, 원해 일수록 Eu 부의 이상이 미약하게 나타난다. K2-7은 금강하구에 근접한 지역으로 특히 화성암 기원 퇴적물이 주 구성물질로 나타난다. 본 연구지역에서는 하상시료와 해양퇴적물의 희토류 성분의 전체적인 경향성이 거의 일치함을 보이는데, 이는 해양퇴적

Table 8. Concentrations of rare earth elements.

		Σ LREE	Σ HREE	Σ REE
Study area	Stream sediments	112.42	13.76	126.18
	Shore sediments	112.51	10.99	123.50
Taean Area ^a	Sediments	138.4	10.7	149.1
	Taean Pen.-Anmyon Is.	197.0	10.6	206.5
	Mt. sungju sedimentary rocks	178.6	14.1	192.7
	Hongsung-Haemi igneous rocks	217.6	14.4	235.6
Byeonsan Pen. ^b	Hwasan	98.27	11.60	109.87
	Gosan-Dongsang	209.99	21.03	231.02
	Gooi-Sindeok	198.30	14.10	212.40
	Jeongeub	129.77	7.23	137.00
	Byeonsan Pen.	161.65	14.31	175.96
Shore sediments	Gyeokpo	170.58	18.37	188.95
	A area	57.96	6.04	64.00
	B area	59.22	5.99	65.21
	C area	22.17	3.96	26.13
	D area	52.10	5.35	57.45

a : Seo *et al.* (1998), b : Kwon *et al.* (1999) (A area; Nearby Dongjin-Mankyong river, B area; Nearby Byeonsan Pen., C area; Nearby Gyeokpo, D area; Open sea).

물이 주로 금강수계를 따라 운반되어온 육상의 주변암 으로부터 기원되었음을 유추할 수 있다. 또한 기초사 지역의 북부 (서경원 등, 1998), 남부 (권종택 등, 1999)지역과 비교해 볼 때 본 연구지역의 퇴적물은 다른 근원 퇴적물의 혼입이 비교적 적었음을 의미한다.

중광물 성분

Table 9는 하상시료와 해양퇴적물 시료에 대해 비중 선별법을 이용하여 중광물을 분리한 결과표이다. Table 10은 주성분 분석치로부터 CIPW 계산에 의해 중광물

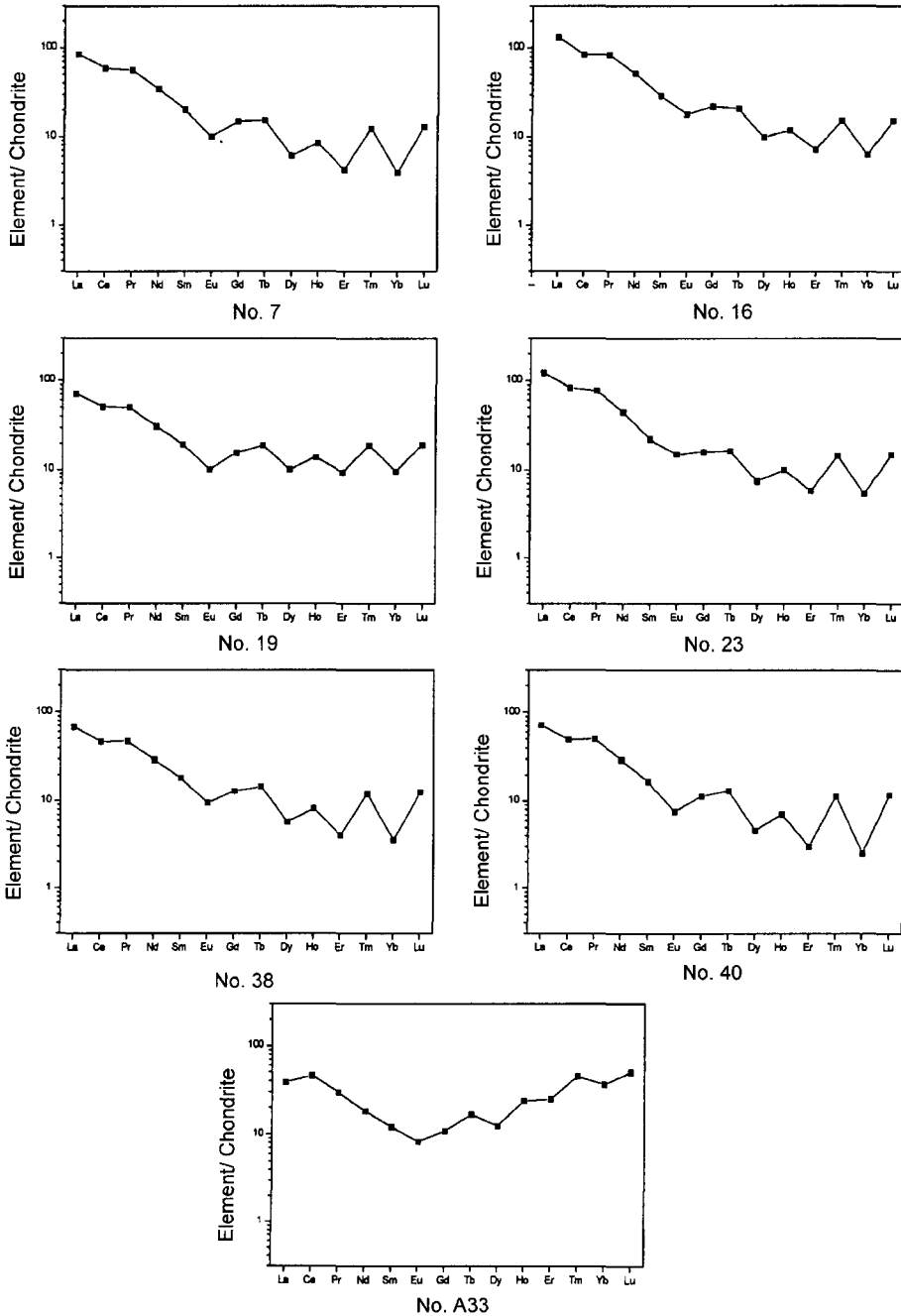


Fig. 4. Chondrite-normalized REE distribution patterns for stream sediments.

함량을 나타낸 표이다. Table 9와 Table 10을 비교해 보면, 비중선별법에 의해 분리해낸 중광물의 함량이 상

대적으로 매우 낮은 수치를 나타냄을 알 수 있는데 이는 입자가 미세한 중광물을 비중선별하는 과정에서의

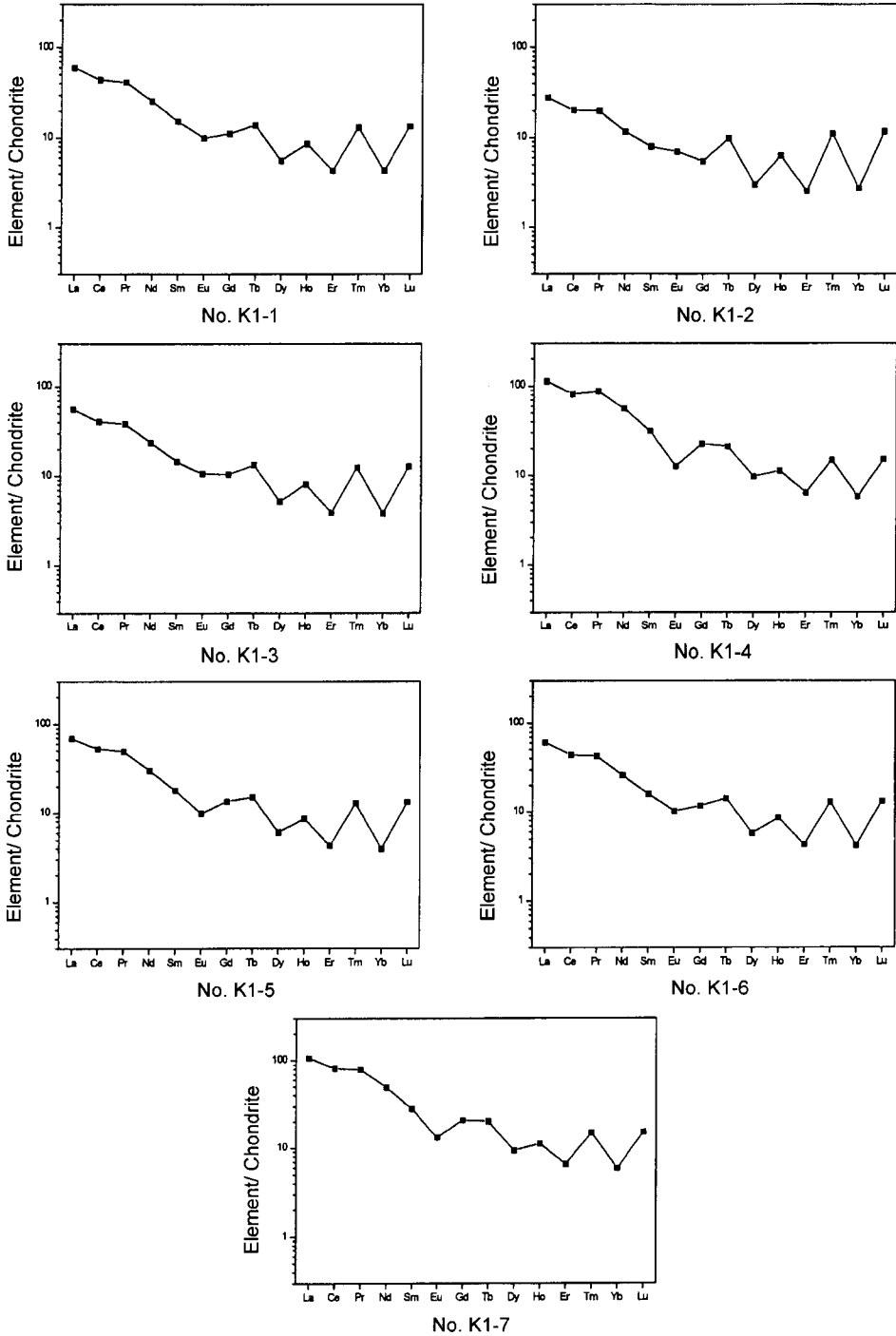


Fig. 5. Chondrite-normalized REE distribution patterns for shore sediments.

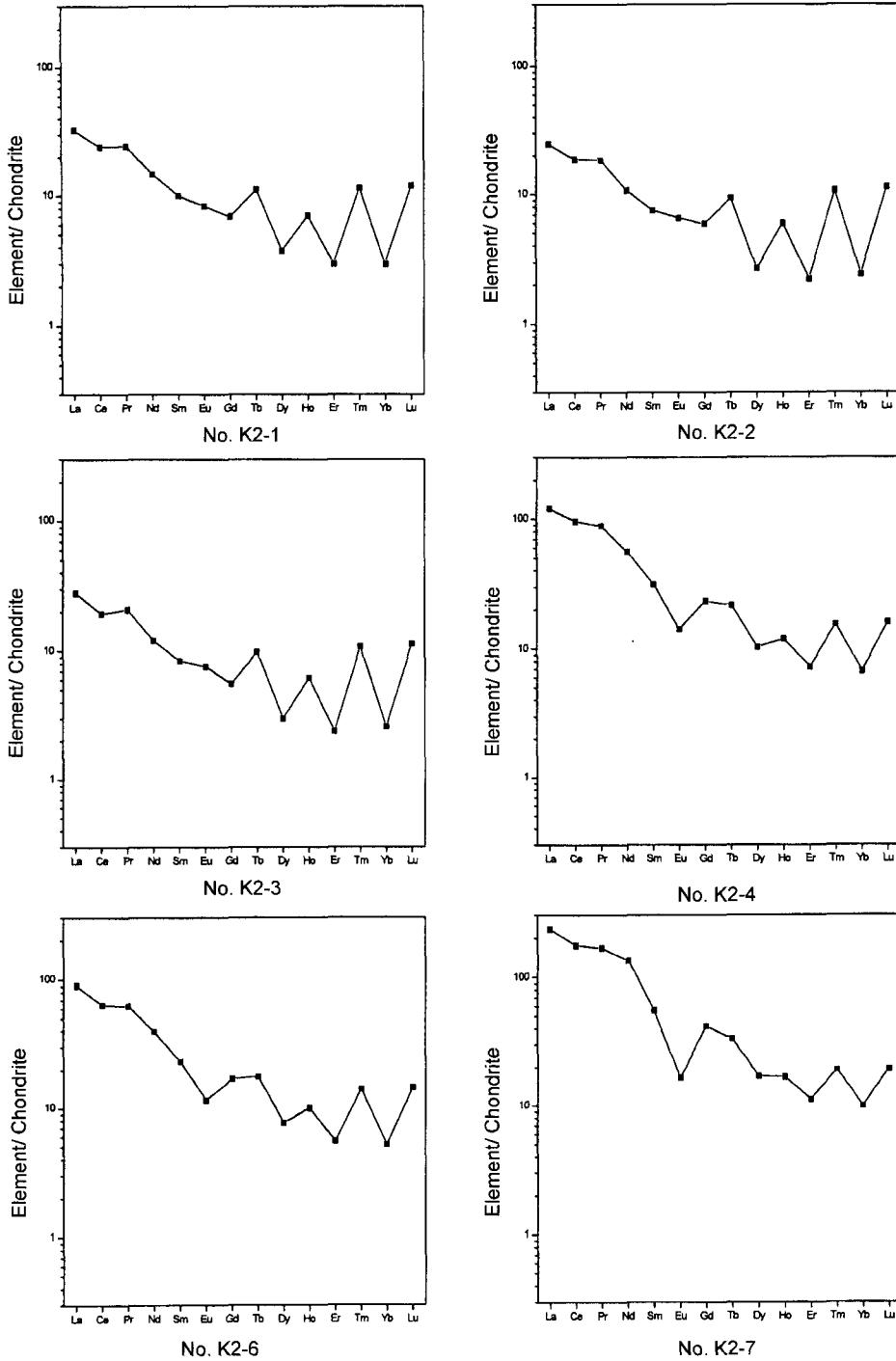


Fig. 5. Continued.

오차 발생과 화학적 풍화에 의해 이온화된 금속성분이 연안퇴적물의 점토에 흡착되거나 용존상태로 존재하기

때문인 것으로 생각된다.

Table 11은 EPMA 분석결과 중광물의 출현 빈도

Table 9. Heavy mineral parts separated from sediments.

		Sediments (g)	Heavy mineral parts (g)	Weight Percent (%)
Stream sediments	7	197.25	0.62	0.31
	16	131.14	0.55	0.42
	19	111.91	3.69	3.30
	23	115.92	4.57	3.94
	A33	108.39	3.67	3.39
	38	130.83	0.56	0.43
	40	151.73	0.48	0.32
	Avg.			1.73
Shore sediments	K1-1	123.75	0.86	0.70
	K1-2	154.38	1.25	0.81
	K1-3	159.10	3.23	2.03
	K1-4	165.86	2.57	1.55
	K1-5	184.16	2.85	1.55
	K1-6	152.39	3.01	1.98
	K1-7	146.01	6.09	4.17
	K2-1	161.65	1.88	1.16
	K2-2	175.14	1.16	0.66
	K2-3	140.40	1.09	0.78
	K2-4	141.19	3.31	2.34
	K2-6	141.32	3.16	2.24
	K2-7	120.72	5.52	4.57
	Avg.			1.89

Table 10. Heavy mineral parts for stream sediments. (by CIPW Norms)

	Stream sediments	Shore sediments
Average Content (%)	9.22	5.99

를 나타낸 것이다. 중광물 분석에서 간혹 석영이 발견되기도 하는 것은 상대적으로 큰 석영입자가 제거되지 못한 것으로 추정되고, 육상시료에서 총 100 wt%로 획일화된 분석치로는 광물감정 시 수분 포함 여부에 대해 알 수 없었으며, FeO 함량 분석치로는 Fe²⁺, Fe³⁺의 구성범위를 알 수 없어 자철석·적철석으로 분류하였다. 육상시료에서 자철석을 함유한 사질암을 기반암으로 하는 보청천 상류 시료 A33의 경우 이지린회석이 나타난 점은 특징적이다. 해양퇴적물의 중광물 빈도를 보면, 주로 화성암 혹은 변성암들에서 기원된 중광물들인 호온브렌드, 녹렴석, 석류석, 일메나이트 등이 상대적으로 많은 빈도를 나타낸다.

XRD 분석

미세분말상의 육상시료와 해양퇴적물 중 점토에 대

Table 11. Average heavy mineral composition in heavy mineral fractions for sediments. (***** : Very abundant, **** : abundant, *** : intermediate, ** : poor, * : rare).

	hornblende	ilmenite	hematite · magnetite	garnet	epidote	sphene	rutile	tremolite	aegirine- augite
7	*		***	**					
16			*				*		
19			***						
23	**								
A33									*****
38	*****								
40	*	***							
K1-1	***	*			**			*	
K1-3	**	*			*		*		
K1-4		*	*	**		*	*		
K1-5	**	*	*	*		*			
K1-6	***				**		*		
K1-7	*	*		*	**			*	
K2-1	*	*		*	**			**	
K2-2	*				*	*		*	
K2-3	*****	*			**				
K2-4	*****	*					*		
K2-6	*****	*			*				
K2-7	*****		*			*			

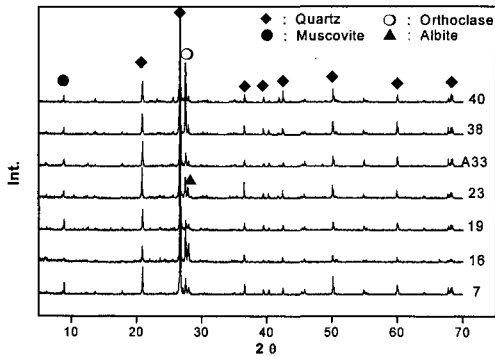


Fig. 6. X-ray diffractometer patterns for powdered stream sediments.

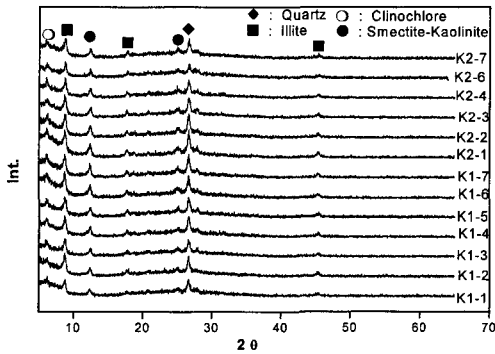


Fig. 7. X-ray diffractometer patterns for clay mineral parts separated from shore sediments.

해 X-선 회절분석을 실시하였다. 분석조건은 전압 40 KV, 전류 25 mA, Cu target, 주사속도 0.1°/sec로 하였다. Fig. 6은 육상지료, Fig. 7은 점토에 대한 XRD 분석 결과이다.

Fig. 6에서 XRD분석 결과 하상퇴적물에는 석영, 백운모, 알칼리장석류가 높은 회절 피크를 나타내어 우세함을 보이고, Fig. 7에서 해양퇴적물 중 점토는 일라이트, 스멕타이트, 고령석, 녹니석류 등으로 구성되어 있음을 알 수 있다. Chough와 Kim (1981)에 의하면 황해남동부의 점토광물 중 고령석과 녹니석의 주 공급원은 한반도이고, 일라이트와 스멕타이트는 중국대륙으로부터의 기원을 가진다 했는데, Fig. 7에서는 점토의 구성이 주 공급원을 유추할 정도로 우세하게 관찰되지 않고, XRD분석의 회절 피크만으로는 스멕타이트와 고령석의 구별이 정확하지 않았다. 그러나 점토광물 중 녹니석류의 존재는 해양퇴적물이 인근 육상암의 영향을 받았음을 유추할 수 있다.

고찰

금강은 전국 5대 수계 중에서 한강, 낙동강 다음으로 넓은 유역면적을 가지며 유역면적이 9,810 km², 본류의 연장길이가 400여km에 달하는 큰 수계이다. 양동윤 등 (2000)은 금강유역 산사면의 침식량 산정 결과, 금강유역의 지질분포 중 풍화에 약한 화강암질암 및 화강암질 편마암이 차지하는 면적이 매우 넓기 때문에 이로부터 수계에 유입되는 쇄설물의 양이 상당히 많은 것으로 추정된 바 있다. 그리고 1994년 완공된 하구언의 영향으로 금강하류 구간에 현저한 퇴적현상이 나타나고 있어서 하구언 건설 이전과 이후에 하상 쇄설물이 서해에 유입되는 정도는 상당히 차이가 있을 것으로 생각된다. 그러나 금강하구언 운영체계를 보면, 평수기에는 매일 1~2 시간 정도 수문을 개방하고, 홍수기에는 종일 개방하는 체계로 되어 있다. 따라서 평수기에도 퇴적물의 이동이 어느 정도는 이뤄질 것으로 보이며, 특히 홍수기에는 퇴적물의 이동이 매우 활발하기 때문에 연구대상 구간의 연안퇴적물은 대부분 금강 수계를 따라 운반된 것으로 볼 수 있다.

연안퇴적물의 기원을 지화학적으로 추적하기 위한 화학분석 결과를 Table 1~Table 11, Fig. 1~Fig. 7에 나타내었다.

Table 6과 Fig. 3, Table 7에서 보듯이 주성분과 미량 금속성분은 금강 유역과 근산연안 퇴적물에서 유사성을 보이고 있다. 유기물과 화산성 쇄설물을 제외한 하상퇴적물이나 연안퇴적물은 암석의 풍화과정에서 생성되는 풍화쇄설물이다. 일반적으로 풍화속도는 암석 구성광물의 종류, 입도, 조성비 등과 기후의 영향을 받는다. 암석을 구성하는 조암광물 중에서 장석류는 풍화되어 점토광물을, 휘석, 각섬석 그리고 운모류는 점토광물과 철산화물을 생성시킨다. 또한 그 밖의 부성분 광물들은 석영과 함께 풍화에 대하여 매우 안정적이다. Goldish (1938)에 의하면 장석류는 CaO, Na₂O, K₂O의 함량에 따라 풍화속도가 회장석, 알칼리장석, 정장석, 미사장석의 순으로 정해진다. 이러한 장석들이 풍화되면 점토광물의 형태로 수계의 하류 또는 연안에 퇴적된다. 또한 암석에서 모래형태로 풍화 분리된 쇄설물은 주로 중류에 많이 퇴적되고 홍수기에는 연안까지 운반될 수도 있다. 따라서 모래 중의 장석 함유량은 풍화속도에 영향을 받을 것이다. 육상지질에서 기재하였듯이 금강 유역은 다양한 암석으로 구성되어 있으나 편마암류와 중생대 화성암류가 주를 이루고, 이들 암석 중의 장석류는 사장석, 미사장석, 정장석 순으

로 양이 많다. 따라서 하상 시료와 연안 시료에서 K_2O 성분이 Na_2O 성분보다 많은 것은 당연하다고 할 수 있다. CaO 성분이 낮은 값을 보이는데, 이는 풍화 과정에서 많이 용탈된 것으로 볼 수 있다. 연안퇴적물과 하상퇴적물을 주성분으로 비교할 때, SiO_2 와 Na_2O 성분이 연안 쪽에서 증가하는 것을 제외한다면, 대체로 서로 유사하거나 연안 쪽에서 약간 감소하는 경향을 보인다. SiO_2 성분은 다른 성분이 감소할 때 상대적으로 증가하는 것으로 보이므로, 연안환경에서 점토광물이 양이온 교환 반응 등으로 Na_2O 성분에 부화되었다고 한다면, 하상퇴적물과 연안퇴적물은 기원암이 유사한 것으로 볼 수 있다. 이는 기 연구지역인 태안반도 지역과 변산반도 지역에서의 육상퇴적물과 연안퇴적물의 주성분 및 미량 금속성분 화학분석치가 상이한 양상을 보이는 것과는 대조적이다.

이러한 경향은 REE 성분 분석 결과 (Table 8, Fig. 4, Fig. 5)에서도 같은 양상이다. 즉, 희토류 성분을 콘드라이트로 규격화한 분포양상이 기 연구지역에서 다양한 분포를 보이는데 비해 본 연구지역에서는 대부분의 시료가 유사성을 보인다. 이는 기 조사지역의 해양퇴적물이 육상에서의 유입물 외에 해류에 의해 타 지역 퇴적물이 다량 혼입된 결과를 보였으나, 본 연구지역은 금강의 유량과 유속을 감안할 때, 금강으로부터의 유입수 및 쇄설물의 양이 타 지역에 비해 절대적으로 우세함에 기인된 것으로 금강 수계에서 유입된 퇴적물이 연안퇴적물의 대부분을 점유하고 있는 것으로 보인다.

해양퇴적물의 중광물 빈도 (Table 11)를 보면, 주로 화성암 혹은 변성암들에서 기원된 중광물들인 호운브렌드, 녹렴석, 석류석, 일메나이트 등이 상대적으로 많은 빈도를 나타낸다. 이는 육상시료 주변지질이 대체로 변성암류와 화성암류가 주를 이루는 점으로 볼 때 조화적이며, 이들이 비교적 화학적 풍화에 대해 불안정함에도 불구하고 연안퇴적물에 많이 나타나는 점 등으로 미루어 보아 연구지역 대부분의 해양퇴적물은 인근의 육상암에서 기원되었고, 비교적 신선한 쇄설물임을 추정할 수 있다.

Chough와 Kim (1981)에 의하면 황해남동부의 점토광물 중 고령석과 녹니석의 주 공급원은 한반도이고, 일라이트와 스멕타이트는 중국대륙으로부터의 기원을 가진다고 보고한 바 있다. 그러나 XRD분석 결과 (Fig. 7), 본 연구지역인 근산 연안의 퇴적물에는 녹니석류의 존재가 뚜렷하게 확인되었고 이로부터 연안퇴적물이 인근 육상암의 영향을 받았음을 유추할 수 있다.

결 론

1. 본 연구지역의 하상시료와 인접 연안 퇴적물의 SiO_2 에 대한 주성분들의 분산경향성은 대체로 유사성이 있으나, Na_2O 성분에서 상대적으로 연안퇴적물이 증가하는 경향을 보이는 것이 특징이다.

2. 본 연구지역의 연안퇴적물 중 중광물은 각섬석이 대부분이고, 소량의 녹렴석, 티탄철석, 석류석, 적철석·자철석, 스피넬, 금홍석과 극소량의 투각섬석이 관찰된다.

3. XRD분석 결과 육상시료 중 하상퇴적물에서 알칼리 장석류가 상대적으로 높은 함량을 나타내고, 연안퇴적물의 점토광물에서는 일라이트, 녹니석, 고령석 등의 함량이 상대적으로 높게 나타난다. 점토광물에서 녹니석의 함량이 높게 나타나는 것은 해양퇴적물이 인근 육상암의 영향을 많이 받았음을 의미한다.

4. 하상퇴적물과 연안퇴적물의 희토류성분을 콘드라이트로 규격화한 분포양상은 유사함을 보이므로 본 연구지역의 연안퇴적물은 대부분 금강수계 유역의 육상암에서 기원되었음을 추정할 수 있다.

5. 본 연구지역의 북부 (서경원 등, 1998)와 남부 (권종택 등, 1999)의 경우 연안퇴적물 중에 타 지역 기원의 퇴적물이 많은데 비해, 본 연구지역의 연안퇴적물은 대부분 금강 수계를 따라 유입된 육상근원의 퇴적물임을 밝혀내었다.

사 사

본 연구는 1998년도 교육부 학술연구조성비 (기초과학 BSRI-98-5424)에 의해 수행되었으며 이에 사의를 표한다.

참고문헌

- 강필중, 임주환 (1974) 한국지질도 광정도록 설명서, 국립지질광물연구소.
- 권종택, 지정만, 장운호 (1999) 한반도 서해안 변산지역의 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 한국자원공학회, 36권, p. 42-66.
- 김서운, 유환수, 우영근 (1976) 한국지질도 공주도록 설명서, 자원개발연구소.
- 박용안, 김승찬, 최진혁 (1984) 한국 서해 금강하구와 인접 내대륙붕에서의 세립질퇴적물의 분포와 이동. 지질학회지, 20권, p. 154-168.
- 박용안, 최진용, 이창복, 김대철, 최강원 (1994) 한국 서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용. 한국해양학회지, 29권, p. 357-365.
- 서경원, 지정만, 장운호 (1998) 한반도 서해안 변산-태안 지역 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계.

- 자원환경지질, 31권, p. 69-84.
- 신동혁, 윤호일, 한상준, 오재경 (1993) 서해안 조간대 퇴적물의 점토광물 분포와 기원. 해양 연구, 15권, p. 123-136.
- 양동윤, 김주용, 이창범, 이호영, 김석중, 김복철, 민건홍, 지광훈, 이진영, 정혜경 (2000) 주요 수계유역 침식, 퇴적 및 미지형 연구를 통한 홍수재해 평가 (N2-03-01-A-03). 한국자원 연구소, p. 8-32.
- 오재경 (1994) 황해에서의 표층퇴적물의 조직과 특성. 황해연구, 6권, p. 33-39.
- 이동영, 김주용, 김정택, 이윤오 외 22인 (1996) 골재자원 부존조사 (경기 및 수도권 하천, 산림 및 군산해역 바다골재; KR-95 (C)-38). 한국자원연구소, p. 507-509.
- 이상만, 김형식, 나기창 (1980) 한국지질도 대전도폭 설명서, 자원개발연구소.
- 이중혁, 김정환 (1971) 한국지질도 증평도폭 설명서, 국립지질조사소.
- 이중혁, 이민성, 박봉순 (1980) 한국지질도 미원도폭 설명서, 자원개발연구소.
- 장태우, 황재하 (1980) 한국지질도 논산도폭 설명서, 자원개발연구소.
- 정창희, 고석진 (1963) 한국지질도 함열도폭 설명서, 국립지질조사소.
- 조영길 (1994) 한반도 주변해역 퇴적물 중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 서울대학교 해양학과 박사학위논문, p. 204-209.
- 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진 (1993) 황해 동부 대륙붕과 한반도 서해안표층퇴적물의 지구화학적 특성. 제4기학회지, 7권, p. 69-92.
- 최진용 (1993) 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구. 한국해양 학회지, 28권, p. 272-280.
- 小笠原 正繼 (1989) シアア - ス の 地球化學. 鑛山地質, 39卷, p. 166-175.
- Goldish, S.S. (1938) A study on rock weathering. Jour. Geology, 46, p. 17-58.
- Henderson, P. (1984) Rare earth element Geochemistry. Elsevier Science Publishing Company INC., New York, p. 317-360.
- Lee, H.J., Jeong, K.S., Han, S.J. and Bahk, K.S. (1988) Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southern Yellow sea. Continental shelf research, v. 8, p. 255-266.
- Nakamura, N. (1970) Determination of REE, Ba, Fe, mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 44, p. 757-775.

2000년 6월 16일 원고접수, 2000년 12월 1일 게재승인.