

한반도 중서부 근·외해의 표층 퇴적물 특성과 퇴적환경

오재경^{1,*} · 금병철¹

¹인하대학교 해양학과, 402-751 인천 남구 용현동 253

Depositional Environments and Characteristics of Surface Sediments in the Nearshore and Offshore off the Mid-Western Coast of the Korean Peninsula

Jae-Kyung Oh^{1,*} · Byung-Chul Kum¹

¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract: In order to elucidate sedimentation processes and depositional environments in transitional area between continental shelf and coastal zone, sedimentologic study has been done with 84 surface sediments sampled in nearshore/offshore off the mid-western coast of the Korean Peninsula for 3 years (1996~1999). The surface sediment can be classified into 4 facies (gravelly sand, sand, silty sand and sandy silt). Mean grain size, sorting, skewness and kurtosis varies $-0.39 \sim 7.82\phi$, $0.36 \sim 4.68\phi$, $-0.38 \sim 0.86$, $-1.56 \sim 3.43$, respectively. The textural parameters show a finer-grained and poorly-sorted trend shoreward, northward and southward from the central part of the study area. The positively-skewed distribution and relationship of each textural parameters indicate a tide-dominated depositional environment. According to C/M diagram, there are 3 different domains (mode A, B, C) of sediment transport mode. The northern part is characterized by bedload transport (mode A) and represents co-influence of wave and tide, whereas domain C in the southern part is controlled by uniform suspension transport (mode C), correlating with sandy-silt area. In the broad middle area, transport processes are complex (the mixture of bedload, graded suspension and uniform suspension; mode B). Hence, the subdivision depositional environments of this study area may be classified by 3 depositional environments dependent on the interplay of sediment supplies from river, relict sediments and hydrologic conditions. In results, the nearshore and offshore areas are thus characterized as a mixing zone between coastal terrigenous sediments and relict sediments in the continental shelf by complex processes (tide, wave and river flow). These sedimentation processes play an important role in producing distinct sedimentologic features in the transitional zone linking coastal and shelfal areas.

Key words: nearshore, offshore, relict sediment, tide-dominated environment, sedimentary processes, transitional area

요약: 한반도 서해 중부지역의 대륙붕과 연안의 경계인 근·외해의 퇴적환경과 퇴적작용을 연구하기 위하여 1996년부터 1999년 사이에 연속적으로 84개의 표층퇴적물을 채취하여 분석하였다. 연구지역 표층퇴적물은 역질 사(gravelly Sand), 사(Sand), 실트질 사(silty Sand) 그리고 사질 실트(sandy Silt)의 퇴적상을 보이고 있다. 조직변수는 표준입도 $-0.39 \sim 7.82\phi$, 분급도 $0.36 \sim 4.68\phi$, 왜도 $-0.38 \sim 0.86$, 첨도 $-1.56 \sim 3.43$ 로서 다양한 분포를 보이며 중앙지역의 조립하고 분급도가 좋은 사질 퇴적물을 중심으로 연안, 북과 남쪽으로 갈수록 세립해지고 분급도가 나빠지는 경향을 나타내며, 조석우세환경을 나타내는 양의 왜도를 나타내고 있다. 퇴적기작은 3가지(밀집이동, 점이부유, 지속적 부유) 양상에 의하여 3지역으로 구분된다. 파랑, 조류의 영향으로 밀집이동(mode A)으로 운반, 재분포된 북부지역, 상대적으로 지속적 부유(mode C)에 의한 이동, 운반, 퇴적된 남부지역 그리고 3가지 양상이 복합(mode B)되어 나타나는 중앙지역으로 구분된다. 따라서, 연구지역인 근·외해지역 퇴적환경은 강의 공급, 잔류퇴적물 그리고 수리학적 작용에 의해서 중앙, 남, 북부 지역으로 구별된다. 결론적으로 서해 중부 근·외해지역은 복잡한 수리학적 작용에 의한 다양한 퇴적기작으로 재배치된 연안의 육성기원퇴적물과 대륙붕의 잔류퇴적물이 특징적이며, 이런 퇴적작용으로 인해 연안에서 대륙붕으로 연결시켜주는 전이지역으로서의 퇴적환경을 보여주고 있다.

주요어: 근해, 외해, 잔류성 퇴적물, 조석우세환경, 퇴적기작, 전이지역

서론

황해는 홀로세 해침 동안 침수되었고 조석과 계절적으로 발생하는 폭풍 및 태풍 등 물리적인 조건이 매우 복잡한 전형적인 반폐쇄적 대륙연해(epicontinental sea)이며(Zheng and Klemas, 1982; Chough, 1983; Park *et al.*, 1986; Lee and Chough, 1989), 홀로세 이후 해수면이 상승함에 따라 조석이 우세한 퇴적환경으로 변화되어 왔다(Lee and Yoon, 1997). 한반도 서쪽지역은 북위 36°를 기준으로 두 개의 특징적인 사질 퇴적층이 형성되어있으며 주변 하천(한강, 금강, 만경강, 동진강)으로부터 니질 퇴적물이 유입되어서 니질 사 또는 사질 니의 퇴적상을 보이고 있다.

근·외해지역은 연안지역과 대륙붕 사이의 전이지역으로 해수면 변화와 수리적 작용(파랑, 조석, 해류)에 크게 영향을 받으며, 이런 작용에 의해서 육성기원의 퇴적물의 침식과 퇴적에 의한 재분포되고 더 깊은 곳으로 퇴적물을 운반시키는 지역이다. 일반적으로 근해(nearshore)는 저조선(low-tide line)에서 쇄파대(breaker zone)까지 지역을 이르며, 외해(offshore)는 쇄파대에서 대륙붕(continental shelf) 경계까지로 정의된다. 근해의 외해쪽 경계인 쇄파대는 수심이 10m 이내에 존재하며 10m 등수심 이후를 외해(offshore)로 볼 수가 있다. 따라서 근·외해지역은 연안퇴적환경과 대륙붕 퇴적환경에 직접적으로 영향을 받고 복잡한 수리적 요건에 의해서 표층퇴적물의 복잡한 퇴적상을 보이고 있어 퇴적학적으로 매우 중요하다.

연구지역은 해양지질학적 관점에서 많은 연구가 이루어져왔으며(공영세·김승우, 1991; 최동립 외, 1992; 방효기 외, 1994; 박용안 외, 1994; 오재경·김성은, 1999; 오재경·최규홍, 1999), 새만금 간척 사업에 따른 환경변화가 예상되고 있어, 이런 변화는 서해안 중서부 연안 및 대륙붕 지역에 영향을 미칠 수가 있다. 또한 연안(장진호 외, 1993; 최진용, 1993; 박병권 외, 1994; Woo *et al.*, 1995; 추용식 외, 1996; 장진호 외, 1996; 오재경·금병철, 1998)과 대륙붕(최진용·박용안, 1993; Suk *et al.*, 1994; 박용안 외, 1994)에 대해서는 많은 연구가 이루어져 있지만 이 두 지역을 이어주는 전이지역인 근·외해에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다. 따라서 이 논문의 목적은 서해 중부의 연속적인 해석을 위해서 근·외해 지역의 퇴적환경 검토를 위해 표층퇴적물을 채취, 분석하여 전반적인 퇴적환경을 파악하는데 있다.

연구지역 개관

지형 및 수리학적 특성

한반도 중서부에 위치하는 본 연구지역은 북위 36° 45' ~ 35° 20', 동경 126° 00' ~ 126° 50' 사이에 위치하는 태안반도부터 변산반도 근·외해 지역이다(Fig. 1). 지형적으로 리아스식 해안이며 해안 주변에 수많은 섬들이 존재하고 있고 수로(channel), 사퇴(sand ridge)와 모래파(sand wave)가 형성되어 있어 심한 해저지형의 변화를 나타낸다. 연구지역의 최대수심은 50m에 이르며, 평균수심은 약 20m이다. 변산반도 근·외해는 수심이 연안에서 약 10km까지 10m 미만의 비교적 얇은 수심 분포를 보이며, 북서쪽으로 갈수록 수심이 깊어지는 경향을 나타내고 있다(Fig. 1).

겨울철에는 대륙성 고기압에 의한 강한 북서계절풍이 우세하며 여름철에는 적도부근에서 발생하는 해양성 저기압의 영향을 주로 받아 남남서풍이 분다. 겨울철 발생빈도가 가장 많은 풍향은 북서풍으로서 20~30의 빈도를 나타내며, 파랑은 겨울철에 대부분

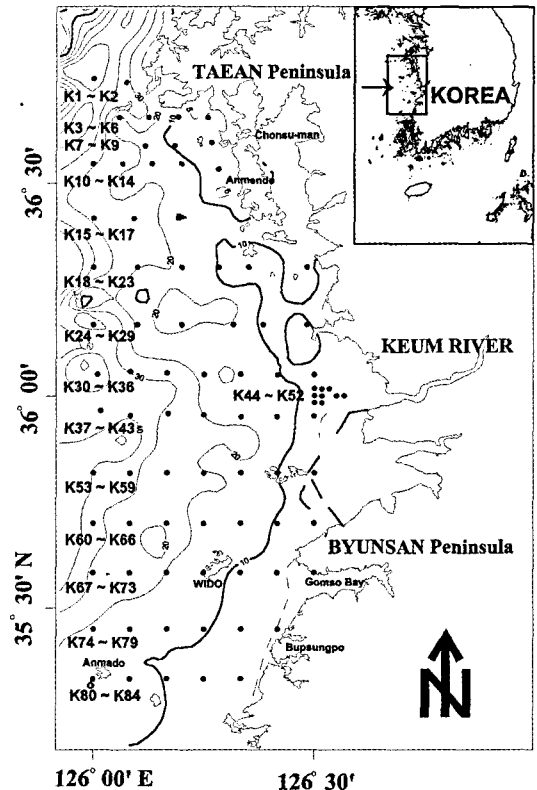


Fig. 1. Map showing study area, sampling locations and bathymetry. The scale on bathymetry is meters.

Table 1. Tidal ranges of study area, unit in cm.

Station	Anghung	Waeyoehndo	Wido	Out-port of Kunsan
Approx. H.H.W.	709.4	636.3	662.9	724.6
H.W.O.S.T.	646.8	578.2	603.8	664.0
H.W.O.M.T.	565.8	509.1	531.1	582.4
H.W.O.N.T.	484.8	440.1	458.5	500.8
M.S.L.	354.7	318.2	331.5	362.6
L.M.O.N.T.	224.6	196.3	204.4	223.8
L.W.O.M.T.	143.6	127.2	131.8	142.2
L.W.O.S.T.	62.6	58.2	59.2	60.6
Neap Ragne	260.2	243.8	254.0	277.0
Mean Ragne	422.2	381.9	399.3	440.2
Spring Range	584.2	520.0	544.6	603.4

바람에 의해 직접 생성, 전달, 전파되어 오는 풍파의 특성을 나타낸다(해양연구소, 1982).

연구지역은 조석현상이 현저하게 나타나는 대조차 지역이며 지역에 따라 조류가 다양하게 분포한다. 평균 조석차(mean tidal range)는 안흥 4.22m, 외연도 3.82m, 외도 3.99m, 군산외항에서 4.40m를 보이고 있다(Table 1). 연구지역 북쪽해역의 창조류는 지형을 따라 북, 북서, 북동쪽으로 흐르고 낙조류는 남, 남동, 남서쪽으로 흐른다. 최강 창조류는 연간 평균 대조기 때 62~148cm/sec이고, 최강 낙조류는 102~157cm/sec을 나타낸다(Hydrographic office, 1990). 남쪽해역은 외해로부터 북동류하는 창조류가 격포항 남서해역에서 북류하고 일부는 남동류하여 곰소항으로 유입되며, 낙조류는 이와 반대로 흐르는 경향을 보인다. 대체로 창조류가 강하나 곰소항 부근에서 부분적으로 낙조류가 강하게 나타나기도 한다. 최강 창조류는 대조기때 46~118cm/sec이며 낙조류는 41~175cm/sec의 범위를 갖는다.

서해중부지역은 금강, 만경강, 동진강에서 육성기원의 세립 퇴적물이 유입되고 있으며, 특히 금강은 하계동안 집중적으로 공급되는 퇴적물의 대부분을 직접 외해로 방출하지 못하고, 금강하구 및 인근 연안역에 집적되는 것으로 여겨지는(최진용, 1993) 반면에, 건기인 동계에는 금강으로부터의 퇴적물 공급은 거의 없지만, 강한 북서계절풍의 영향으로 세립한 해저퇴적물이 재부유되어, 한반도 서해연안을 따라 남쪽방향으로 재 이동된다(Chough, 1985; Park and Choi, 1989; Wells, 1988; Park and Khim, 1990).

시료 및 연구방법

1996~1999년 동안 북위 35° 57'~36° 45', 동경

126° 00'~126° 30' 사이에 표층 퇴적물 84개 시료를 채취하였다(Fig. 1). 얻어진 표층 퇴적물은 순수한 퇴적물만을 얻기 위해 시료 15~50g을 취하여 1000ml 비이커에 담아 침전시킨 후 용해성 염분을 제거한 후, 10% 염산과 10% 과산화수소를 첨가하여 50~90°C에서 가열하여 시료의 탄산염과 유기물을 제거하였다. 진처리된 시료는 습식체질(wet sieving)을 통해 4Φ 이하의 조립질 시료는 건조시킨 후 기계식 체질기(Ro-tap shaker)에 의한 체분석 방법(dry sieving)을 이용하여 1Φ 간격으로 분석하였으며, 5Φ 이상의 세립질 시료 중 K1~K29는 pipetting method을 사용하였고 K30~K84의 시료는 X-선 자동입도분석기(SediGraph-5100)를 이용하여 1Φ 간격으로 입도를 분석하였다. 얻어진 입도별 중량백분비를 확률누적곡선 위에 옮겨 Folk and Ward(1957)의 graphic method를 이용하여 퇴적물의 조직변수(textural parameters)를 구하였다.

결과 및 토의

표층퇴적물의 조성분포

연구지역에서 얻어진 표층퇴적물의 조성을 삼각 다이아그램에 나타내었다(Fig. 2). 한반도 중서부 근·외해의 총 표층퇴적물의 조성은 자갈이 0.00~53.48%의 분포를 보이고 있다. 특히, 북서지역(K1, K2, K7, K10, K11), 가위도 주변(K24, K30) 그리고 1.17% 이하의 연안지역(K23, K28, K35, K36)에 위치한 시료에서 나타나고 있다. 모래는 2.20~99.95%의 분포를 보인다. 연구지역 중앙부분은 모래함량이 높은 퇴적물(>80%)이 존재하고 있으며, 이를 중심으로 남-북쪽, 연안으로 갈수록 모래함량이 감소하고 있다.

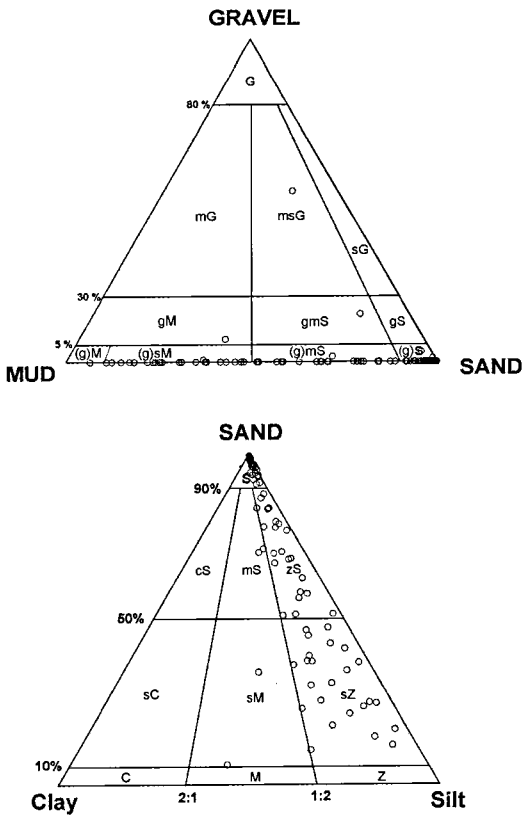


Fig. 2. Ternary diagrams of total surface sediments off the mid-western coast of Korea.

서경원 외(1998)의 EPMA 분석에 의하면 K27에서 철산화물로 피복된 석영이 존재하고 K28의 표층퇴적물은 주로 암녹색이며 표면에 많은 균열이 백색 혹은 노란색으로 충전되어 있는 해록석(glaucanite)이 존재함을 제시하였다. 이 해록석은 한반도 서해 연안 내대륙붕 해역에서 후기 현세(late Holocene) 퇴적물과 초기 현세(early Holocene)의 잔류 퇴적물을 구분하며, 해침과정의 퇴적물 이동 및 혼합역사를 해석하는 중요한 지시광물로서, 이 모래들은 지난 빙하기(LGM) 이후 해수면 상승과정동안 집적된 잔류 퇴적물로 해석된다(Lee *et al.*, 1988; Lee and Chough, 1989). 실트 함량은 전체적으로 0.05 ~ 81.40%의 분포를 보이며, 모래함량 분포와 달리 연구지역 북쪽인 태안반도와 남동쪽인 변산반도 연안을 따라서 높은 함량을 나타내고 있고, 또한 금강 남수로 외해쪽에서도 40% 이상의 높은 함량분포를 보이고 있다. 특히, 위도를 중심으로 60% 이상의 실트가 크게 분포하고 있는데 이것은 금강, 만경강 및 동진강에서 유입되고 재부유된 세립질 퇴적물에 영향을 받은 것으로 사료된다. 니질함량 또한 실트함량의 공간적 분포와 같이 북쪽지역과 남쪽지역이 높은 함량을 보이는 경향성을 보이고 있다(Fig. 3). 전체적으로 연구지역 북쪽 지역보다 남쪽 지역이 세립퇴적물을 많이 포함하고 있다. 이는 주변강에서 유입된 세립질 퇴적물과 육상기원퇴

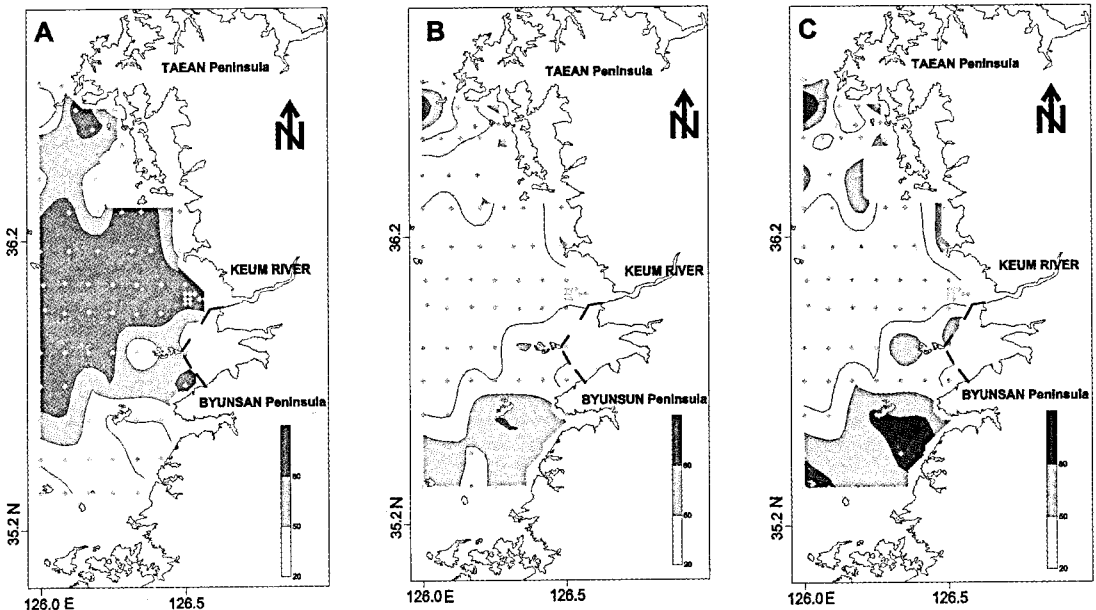


Fig. 3. Distribution of compositions of surface sediments off the mid-western coast of Korea. A: sand content (%), B: silt content (%), C: mud (silt + clay) content (%).

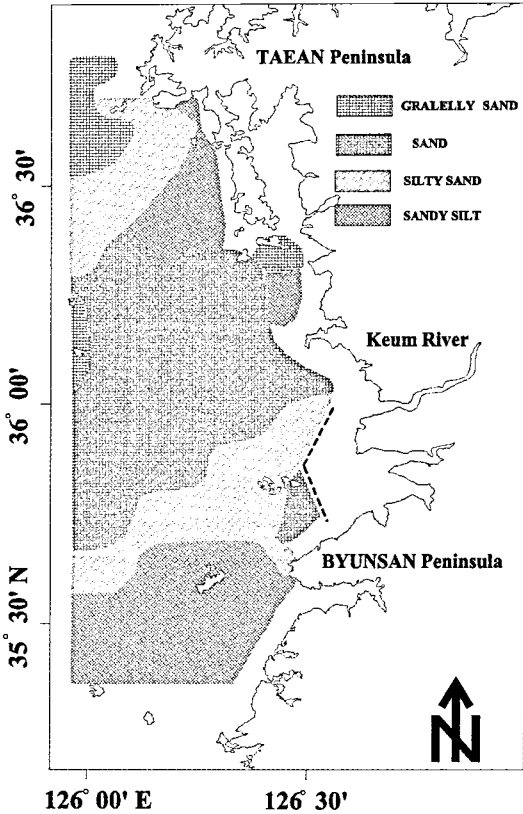


Fig. 4. Distribution map of surface sediment types classified according to the Folk's (1968) scheme.

적물들이 하절기동안 상대적으로 강한 조류에 남서쪽으로 이동되어 지며, 동계에는 강을 통한 퇴적물 공급은 거의 없는 대신, 북서계절풍이 주기적으로 작용하여, 해저퇴적물이 활발하게 재부유되며 남쪽 방향으로 운반되어 진 것으로 사료된다(Park and Choi, 1989).

근·외해 표층퇴적물의 퇴적상은 크게 역질 사(gravelly sand), 사(sand), 실트질 사(silty sand) 그리고 사질 실트(sandy silt)로 나눌 수 있다(Fig. 4). 분포는 중앙부분의 사질 퇴적물을 중심으로 북쪽에 역질 사, 실트질 사 그리고 사질 실트, 남쪽으로 실트질 사와 사질 실트를 나타낸다.

전체적으로 표층퇴적물의 모드(mode)는 단일모드(unimode)가 안면도 아래 지역부터 안마도 위쪽에 크게 나타나고 있는 반면, 복모드는 연구지역 북쪽지역과 남쪽지역에서 나타나고 있다. 모드값은 주로 3Φ를 나타내고 있지만 외해(70~80%)에서 연안, 남쪽과 남동쪽(50~30%)으로 갈수록 모드가 세립한 쪽으

로 이동하고 있다. 특히, 곰소만 외해지역인 K69, K71, K72, K78 지역에서 5Φ의 값을 보이고 있다. Curray(1960)는 혼합된 퇴적물내의 모드들은 각각 다른 에너지 수준에서 퇴적된 단모드 퇴적물들의 혼합이라고 제시하였다. 또한 육상지질과 연안퇴적물의 상관관계를 연구한 서경원 외(1998)와 권종택 외(1999)의 연구에 따르면 태안반도 외해 퇴적물은 육상암석에서 기원되고 변산반도 지역 외해퇴적물은 인근 육상암의 기원이 많으나 다른 지역의 유입도 상당히 많이 혼재되어 있음을 제시하였다. 이와 같은 결과에서 연구지역은 잔류퇴적물, 육상기원에서 기원된 퇴적물이 복잡한 수리적 작용에 의해 다양한 에너지 수준에서 퇴적된 것으로 사료된다.

표층퇴적물 조직변수의 특성 및 분포

연구지역 표층퇴적물의 조직변수의 결과는 다음과 같다.

평균입도: 서해 중부 근해 표층퇴적물은 -0.39 ~ 7.82Φ로 다양한 분포를 보이고 있다(Fig. 5A). 평균입도는 연구지역 중앙부분에서부터 남동쪽과 북서쪽으로 갈수록 세립해지는 경향을 나타내고 있다. 현재 새만금 방파제가 건설되어 있는 지역의 평균입도가 상대적으로 조립하게 나타나고 있다. 또한 금강, 만경강 및 동진강을 중심으로 양쪽 연안을 따라서 세립해지는 경향은 이 지역의 조류방향과 계절풍에 따른 퇴적물 이동과 일치하고 있다(Ahn, 1989; Choi, 1993; Chough, 1984; Park *et al.*, 1986; Yoo, 1986).

분급도: 근·외해 표층퇴적물 분급도는 0.26 ~ 4.68Φ로 very well sorted에서 extremely poorly sorted의 범위를 가진다(Fig. 5B). 공간적인 분포는 평균입도의 분포와 같은 양상으로 연구지역 중앙부분에서 분급도가 매우 좋으며 북서, 남동, 남서쪽으로 갈수록 분급이 나빠지고 있는 패턴을 보인다. 특히 안면도 아래쪽에서 높은 분급도를 보이고 있으며 연구지역 북서쪽, 범성포연안, 그리고 남동쪽에서 매우 불량한 분급도의 분포를 보이고 있다. 북서지역은 한강에서 유입된 부유퇴적물이 하계동안 조류를 통해서 태안반도 아래까지 운반되고 수로가 형성되어 수로 내 강한 조류에 의해서 다양한 퇴적상을 보이고 있다(최진용·박용안, 1998). 남동지역은 주조류 방향(북동-남서)과 일치하여 형성되어 있는데 이것은 금강, 만경강

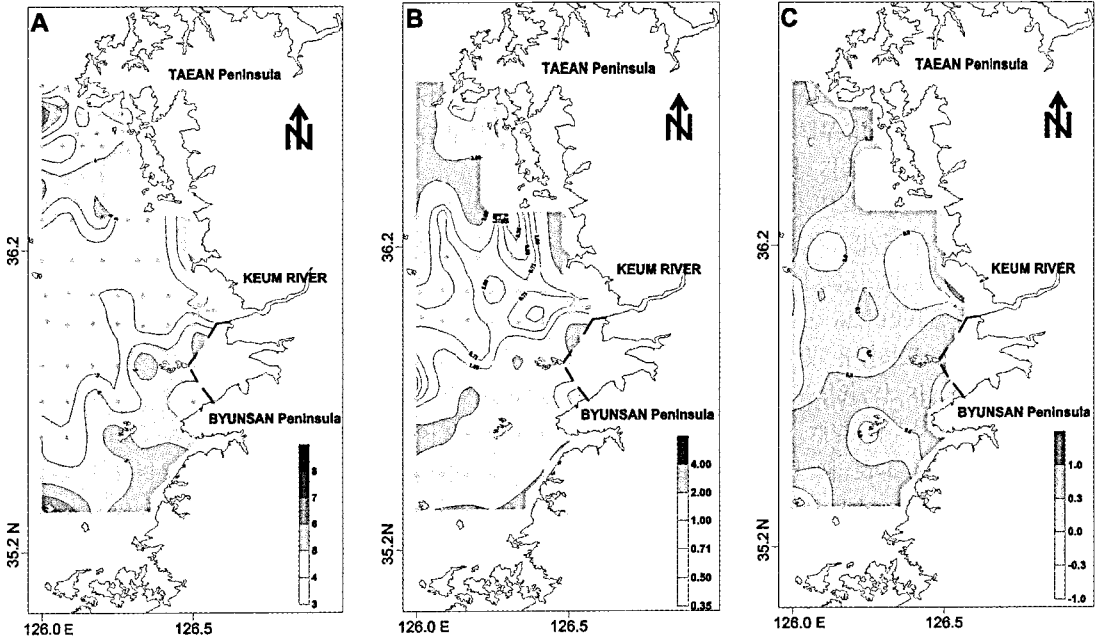


Fig. 5. The map showing the textural parameters (A: mean (ϕ) values; B: sorting (ϕ) values; C: skewness values) of the surface sediments off the mid-western coast of Korea.

및 동진강에서 유입되어 퇴적된 퇴적물이 겨울동안 재부유을 통해서 이동되어 퇴적된 것으로 사료된다.

왜도: 표층퇴적물의 왜도는 $-0.38 \sim 0.86$ 으로 strongly coarse-skewed에서 fine-skewed의 분포를 보인다 (Fig. 5C). 전체적으로 조석 우세한 환경에서 나타나는 양의 왜도값을 가지고 있으며 안면도 남쪽지역과 외해지역 그리고 위도 남동지역에서 음의 왜도값을 가지고 있다. 안면도 남쪽부분은 분급도와 마찬가지로 음의 왜도값을 보이고 있는데 이것은 얕은 수심지역에서 강한 조류 및 겨울에 북서계절풍에 의해서 직접적으로 영향을 받음으로 해서 퇴적된 퇴적물이 재부유되어 외해 쪽으로 이동되어진 것으로 사료된다.

첨도: 연근해 표층퇴적물의 첨도는 어느 특정한 경향성을 가지고 않고 $-1.56 \sim 3.43$ 으로 very platykurtic에서 extremely leptokurtic의 다양한 범위를 가진다.

조직변수의 상관관계

연구지역의 표층퇴적물 조직변수간의 상관관계를 나타내었다(Fig. 6).

평균입도와 분급도의 상관관계를 보면 $2 \sim 4\phi$ 사이에 분급도가 낮은 시료들은 한반도 서쪽에 존재하는 잔류 퇴적물의 일부로서 이를 중심으로 남, 북 그리고 연안쪽으로 갈수록 상대적으로 세립해지면서 분급이 나빠지고 있는데, 이것은 복합적인 기원의 퇴적물이 조류에 의해 재 분포되었기 때문이다. 연구지역 북서지역에 자갈을 포함하는 표층퇴적물은 해저곡에 흐르는 강한 조류(평균 대조시 100cm/sec 이상)의 영향으로 침식되어 형성된 것으로 사료된다(오재경 · 김성은, 1999). 평균입도와 왜도의 상관관계에서 넓게 분산되어 분포하고 있다. 이것은 다양한 퇴적 환경에서 복합적인 영향을 받은 것으로 사료된다. 상대적으로 양의 왜도를 가지는 정점이 우세하고 조석우세환경에서 나타나는 결과와 일치한다. 분급도와 왜도의 상관관계는 양의 관계를 가지고 있다. 이런 결과는 세립해질수록 왜도가 양의 왜도를 가짐을 의미하고 중앙 사질퇴적상을 중심으로 북, 남쪽 그리고 연안쪽으로 갈수록 양의 왜도, 분급도가 나빠짐을 의미한다. 하천에서 유입되는 세립퇴적물 및 조석작용에 의한 에너지 분산작용에 의해서 분급이 나빠지고 유입된 부유퇴적물이 조류에 의해서 형성된 사퇴와 모래파가 이동되면서 위에 퇴적된 것으로 사료된다.

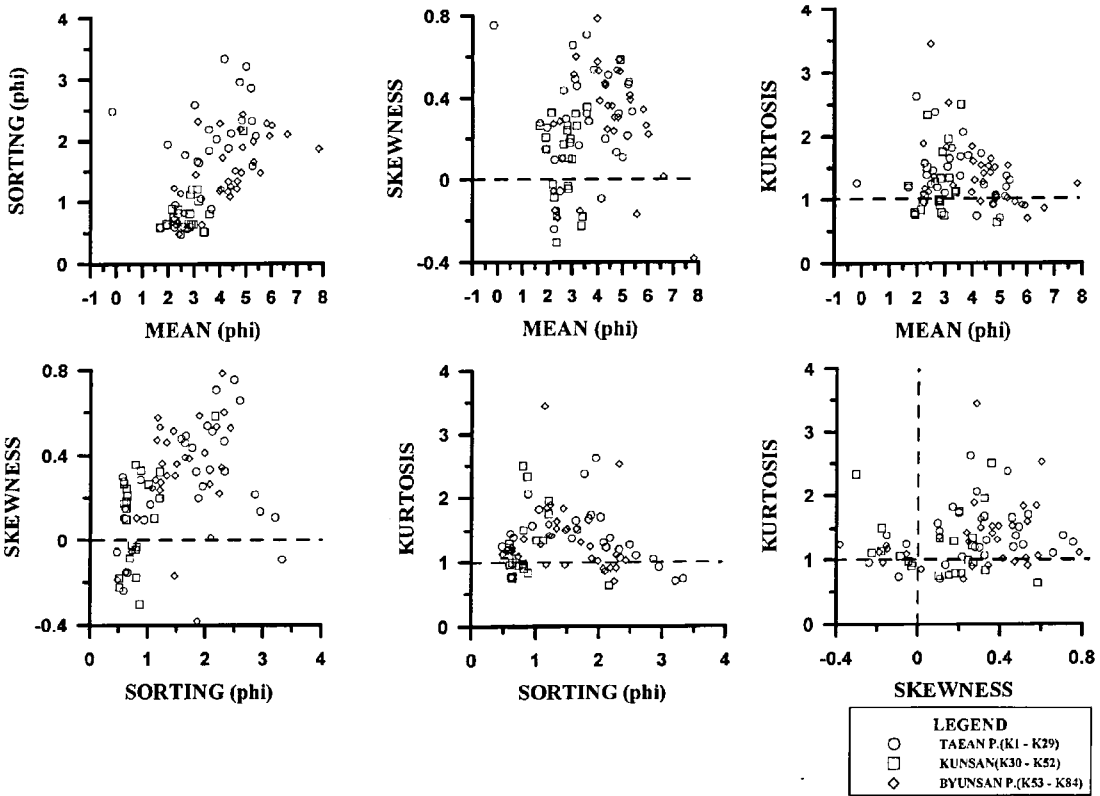


Fig. 6. Bivariate scatterplots of textural parameters of total surface sediments.

근해 표층 퇴적물의 퇴적기작

퇴적물의 침식, 퇴적, 운반은 그 지역의 수리 물리적 요인에 의해 지배된다. 조석우세환경에서는 지형적 영향에 의해 복잡한 퇴적기작을 나타낼 수 있다. 이에 표층 퇴적물의 이동과 퇴적기작을 알아보기 위하여 Passega(1957)의 C-M 도를 이용하였다(Fig. 7). 그 결과, 연구지역에서는 3가지의 퇴적모드가 나타난다. Mode A는 강한 조류에 의한 영향을 받은 지역으로 주로 밀집이동(bedload)으로 운반되고 자갈이 포함하는 복서 지역에서 나타나고 있다. Mode B는 밀집이동, 점이부유(graded suspension), 지속적 부유(uniform suspension)의 혼합된 형태이며, 이는 연안의 계속적인 조석의 승강작용과 파랑의 체질 작용(winnowing)을 통한 세립질 퇴적물이 외해로 운반되어진 것으로 사료된다. 또한, 왕복성 조류에 의해서 재동작용을 받음으로 해서 형성된 사질, 실트질 사가 분포하는 지역과 매우 밀접한 관계를 보인다. Mode C는 주로 지속적 부유가 주요 퇴적기작이며 연구지

역 남쪽에 사질 실트가 분포하는 지역에서 나타난다. 이는 금강 및 동진강과 만경강에서 유입된 세립질 퇴적물이 조류와 파랑에 의한 지속적 부유를 통해서 운반되어 퇴적된 것으로 사료된다.

연구지역의 다양한 이동 양상은 조직변수 상관관계에서도 평균입도가 증가함에 따라 분급도 불량해지는 것과 같이 지역적인 에너지 차이에 따른 결과이다. 연구지역은 조석우세환경이지만 겨울철에 강한 복서풍에 직접적으로 영향을 받고 있으므로 바람에 의한 파랑 또한 크게 영향을 미치고 있어 조류와 파랑의 복합적인 작용에 의해서 이런 다양한 이동양상을 보이고 있다.

근·해 표층퇴적물의 퇴적환경

연구지역은 지금까지의 결과를 통해 크게 세 가지 퇴적환경 지역으로 나눌 수가 있다. 첫째, 역질 사를 나타내고 주로 밀집이동으로 운반되어 퇴적된 복서 지역, 둘째, 퇴적물의 주기원인 금강, 동진강 그리고

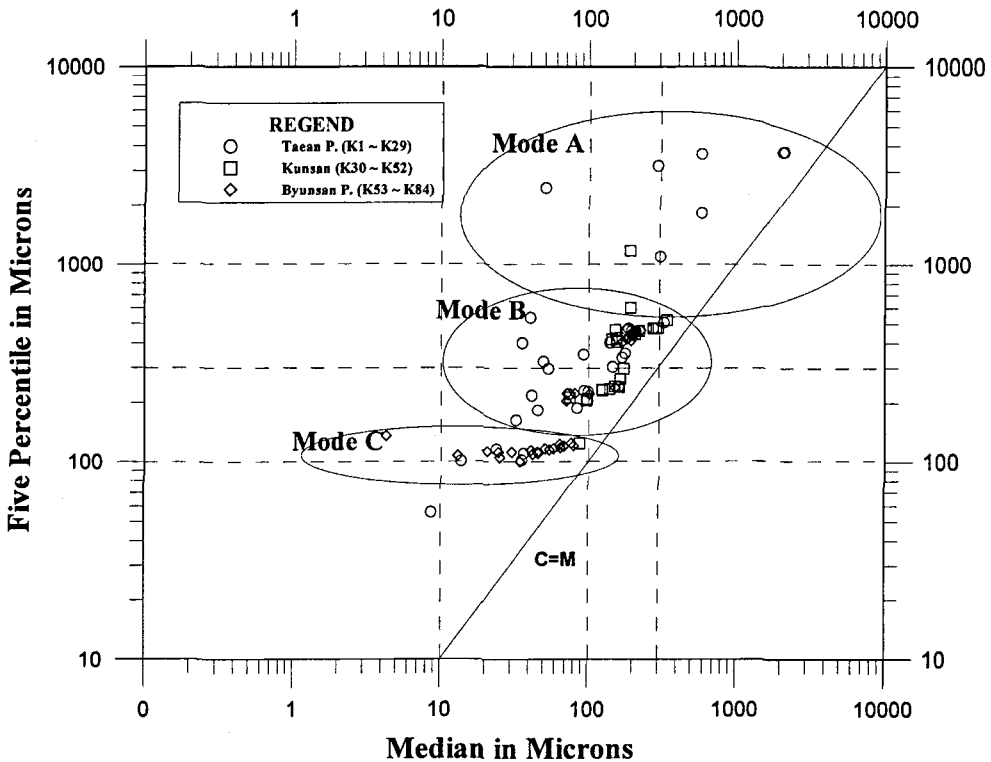


Fig. 7. C-M (coarset five percentile vs. median) diagram showing three patterns of sediment transport mode. Mode A: bedload; mode B: the mixture of bedload, graded suspension and uniform suspension; mode C: uniform suspension.

만경강에서 지속적인 부유로 운반, 퇴적되고 사질 실트로 구성되어 있는 남부지역 그리고 셋째, 사질과 실트질 사의 분포를 보이며 하천의 영향과 수리학적 작용을 받아 밀집이동, 점이부유 그리고 지속적 부유의 복합적인 운반작용으로 퇴적되어지는 중앙지역이다(Fig. 8).

북서지역은 최진용·박용안(1998)에 따르면 수로환경에 포함되며 금강기원수와 한강 기원수가 황해해수와 혼합되는 복합적인 특징을 나타내고, 강한 조류에 의한 지층 재부유 현상이 우세하며 세립물질의 지속적인 집적이 제한됨을 제시하였다. 따라서 수로를 통한 강한 조류에 의해 밀집이동되며 자갈을 포함하고 있다. 또한 표층퇴적물의 모드는 북모드의 형태를 보이고 있어 여러 기원의 세립퇴적물이 섞여 있음을 알 수가 있다.

Lee et al.(1988)은 한반도에 연한 황해 동부퇴적물인 사질 퇴적물은 중광물 분석을 통해 현재 해수면 상승 과정에서 형성된 것으로 주장하였으며, 또한 박용안 외(1994)도 태안반도 연근해역 사질 퇴적물은 외대륙붕 잔류퇴적물과 유사하며, 지난 빙하기 이후

해수면 상승 과정동안 집적된 잔류 퇴적물로 해석하였다. 따라서 중앙지역의 사질 퇴적물 또한 잔류 퇴적물의 일부로 사료되며, 조류에 의한 사퇴(sand ridge)와 모래파(sand wave)가 형성되고 연안쪽으로 이동되고 있다(방효기 외, 1994; 최동림 외, 1992). 실트질 사와 사질 실트는 연안 및 인접 하천에서 유입된 세립질 퇴적물이 운반, 퇴적되어 나타난 것으로 사료되고 특히, 실트질 사는 연구지역 북과 남서지역에 띠형태로 발달해 있다. 북부지역은 수로를 통해서 경기만 남부에서 유입된 퇴적물(최진용·박용안, 1998), 연안지역에서 조석의 승강작용과 파랑의 체질작용에 의해 세립질 퇴적물이 외해로 운반되고(오재경·금병철, 1998), 육상에서 기원한 퇴적물(서경원 외, 1998) 그리고 외해에서 유입된 잔류퇴적물에 의해서 나타난 것으로 보인다. 사질 실트는 연구지역 북동 연안 지역과 남동 연안 지역에 나타나고 있는데, 이는 각각 연안에서 유입된 세립질 퇴적물과 금강, 만경강과 동진강에서 유입된 세립질 퇴적물이 계절적 이동, 퇴적된 것으로 사료된다. 중앙지역은 하천의 영향과 대조차 환경의 강한 조류와 바람에 의한 강한 파랑으로

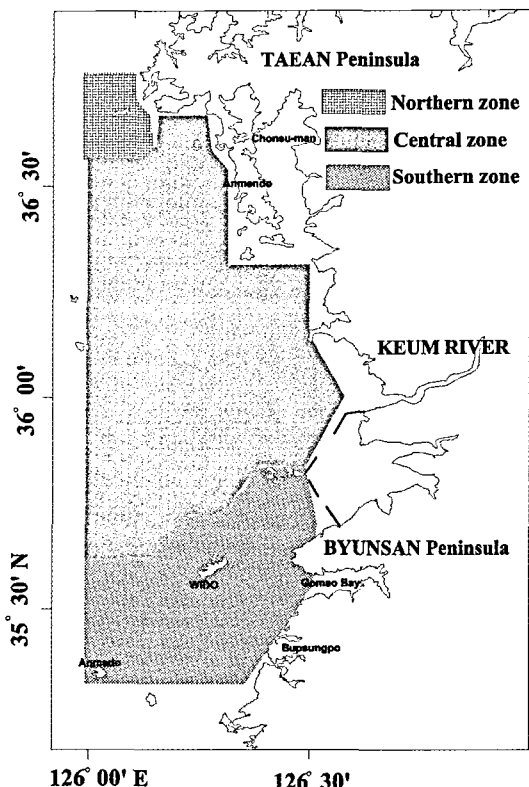


Fig. 8. Map showing three depositional environments based on textural parameters, facies and transport modes of surface sediments.

밀집이동, 점이부유 그리고 지속적 부유의 다양한 퇴적기작을 통해서 다양한 퇴적환경을 보이고 있다.

남부지역은 사질 실트상과 실트질 모래상이 나타나고 있는데 이 지역은 연구지역의 기원인 금강, 만경강 그리고 동진강에서 유입된 세립질 퇴적물이 강한 조류와 북서계절풍에 의한 파랑에 의해서 지속적인 부유상태로 와서 퇴적된 것으로 사료된다.

결론적으로 북부지역은 중요한 퇴적물 유입원이 될 수 있는 하천이 없는 상태에서 주로 연안에서 복잡한 수리적 작용(조석, 파랑 등)을 통해 외해로 운반된 다양한 기원의 퇴적물이 유입됨에 따라서 다양한 퇴적상이 나타나는 반면에 남부는 사질 퇴적물과 금강, 만경강 및 동진강에서 유입된 세립 퇴적물이 조류와 북서계절풍에 의해 운반, 재분포하여 남서쪽으로 대상형태로 나타나는 퇴적상으로 보이고 있다. 또한 중앙지역 연안지역은 하천에 의한 세립질 퇴적물의 유입 및 강한 조류, 파랑에 의한 복잡한 퇴적기작을 통해서 다양한 퇴적환경을 보이고 있다. 따라서

연구지역은 연안과 대륙붕사이에 존재하는 근·외해지역으로 조석, 조류, 파랑의 복잡한 작용에 의한 다양한 퇴적기작을 통해 연안퇴적환경인 하구로부터 하천 퇴적물의 공급과 해수면 상승이전에 퇴적된 잔류퇴적물의 존재가 주변 근해 퇴적물의 특징을 좌우하고 연안에서 대륙붕으로 연결시켜주는 전이지역으로서의 퇴적환경을 보여주고 있다.

결론

1. 연구지역 표층퇴적물 조성은 자갈이 0.00 ~ 53.48%, 모래 2.20 ~ 99.50%, 실트 0.05 ~ 81.40% 분포하고 있다. 상대적으로 북쪽 지역 보다 남쪽 지역이 세립퇴적물을 많이 포함하고 있으며, 역질 사(gravelly Sand), 사(Sand), 실트질 사(silty Sand) 그리고 사질 실트(sandy Silt)의 퇴적상을 보이고 있다.

2. 표층퇴적물의 조직변수는 표준입도 $-0.39 \sim 7.82\Phi$, 분급도 $0.36 \sim 4.68\Phi$, 왜도 $-0.38 \sim 0.86$, 첨도 $-1.56 \sim 3.43$ 로서 다양한 분포를 보이고 있다. 중앙지역은 잔류퇴적물의 일부로 사료되는 조립하고 분급도가 좋은 사질퇴적물이 분포하고 연안, 북과 남쪽으로 갈수록 세립해지고 분급도가 나빠지는 경향을 나타내며, 조석우세환경을 나타내는 양의 왜도를 나타내고 있다.

3. 퇴적기작별 분포는 3가지의 퇴적모드가 나타난다. Mode A(밀집이동)는 강한 조류에 의해서 영향을 받는 북서 지역에서 나타나고 있다. Mode B는 밀집이동, 점이부유(graded suspension), 지속적 부유(uniform suspension)의 혼합된 형태로서, 복잡한 수리학적 작용을 받음으로 해서 형성된 사질, 실트질 모래 퇴적물이 분포하는 지역에 일치한다. Mode C(지속적 부유)는 연구지역 남쪽에 사질 실트가 분포하는 지역에서 나타나며, 이는 금강 및 동진강과 만경강에서 유입된 세립질 퇴적물이 조류와 파랑에 의해서 지속적 부유를 통해서 운반되어 퇴적된 것으로 사료된다.

4. 퇴적물 기원에 따른 퇴적상으로 북부지역은 중요한 퇴적물 유입원이 될 수 있는 하천이 없는 상태에서 다양한 기원의 퇴적물에 유입에 의해서 다양한 퇴적상이 나타나는 반면에 남부는 잔류 퇴적물과 금강, 만경강 및 동진강에서 유입된 퇴적물이 조류와 북서계절풍에 의해서 남서쪽으로 운반되어 나타나는 퇴적상으로 보이고 있다. 또한 중앙 연안지역은 하천에 의한 세립질 퇴적물의 유입과 대조차에 의한 조

류, 파랑에 의한 복잡한 퇴적기작 통해 다양한 퇴적 환경을 보이고 있다.

5. 종합적으로 근·외해 퇴적환경은 조석, 조류, 파랑의 복잡한 작용에 의한 다양한 퇴적기작으로 연안 퇴적환경인 하구로부터 하천 퇴적물의 공급과 잔류퇴적물의 존재가 주변 근해 퇴적물의 특징을 좌우한다. 이런 퇴적작용으로 인해 연구지역은 연안에서 대륙붕으로 연결시켜주는 전이지역으로서의 퇴적환경을 보여주고 있다.

사 사

본 연구는 1998년도 교육부 학술연구 조성비(기초과학 BSRI-98-5424)와 1998년 인하대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행되었다. 그리고 유규철, 김성은, 최규홍 대학원생들 협조에 감사드리며 본 논문의 자상한 심사를 해주신 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

공영세 · 김승우, 1991, 한국근해 퇴적물의 입도분포 특성. 한국해양학회지, 26(1), 38-46.
 권종택 · 지정만 · 장윤희, 1999, 한반도 서해안 변산지역의 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 한국지질학회지, 36, 42-66.
 박용안 · 최진용 · 이창복 · 김대철 · 최강원, 1994, 한국 서해 중부해역 대륙붕 퇴적물의 분포와 퇴적작용. 한국해양학회지, 29, 357-365.
 박병권 · 이광식, 1994, 서해안 곰소만 조간대 유공충이 안정동위원소 성분. 한국해양학회지, 29(2), 183-187.
 방효기 · 이치원 · 오재경, 1994, 한반도 서해대륙붕에 발달한 사퇴의 발생기원과 특성. 한국해양학회지, 29(3), 217-227.
 서경원 · 지정만 · 장윤희, 1998, 한반도 서해안 변산-태안 지역 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계. 자원환경지질학회지, 31(1), 69-84.
 오재경 · 금병철, 1998, 서해안 몽산포 대조차 해변의 퇴적학적 특성. 한국지구과학회지, 19(3), 310-317.
 오재경 · 김성은, 1999, 태안반도 연근해의 전이지대 퇴적물 분포 및 조직특성. 한국지구과학회지, 20(5), 476-485.
 오재경 · 최규홍, 1999, 변산반도 연근해 표층퇴적물의 특성과 퇴적환경. 한국해양학회지 '바다', 4(2), 107-116.
 장진호 · 전승수 · 권수재 · 신동혁 · 한상준 · 박용안, 1993, 황해 곰소만 조간대에 발달한 Chenier의 퇴적학적 특성과 진화. 한국해양학회지, 28(3), 212-228.
 장진호 · 박용안 · 한상준, 1996, 한국서해안 곰소만 조간대의 제 4기 층서와 해수면 변화. 한국해양학회지 「바다」, 1(2), 59-72.

최동립 · 김성렬 · 석봉출 · 한상준, 1992, 한반도 황해 중부 태안반도 근해 사질퇴적물의 이동. 한국해양학회지, 27(1), 66-77.
 최진용, 1993, 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구. 한국해양학회지, 28, 272-280.
 최진용 · 박용안, 1998, 하계동안 한국 서해 태안반도 연근해에서 부유퇴적물의 운반양상. 한국해양학회지, 3, 45-52.
 추용식 · 권수재 · 박장준 · 박용안, 1996, 한국 서해 중부 해빈에서의 퇴적작용의 계절적 변화. 해양연구, 18(1), 37-45.
 한국해양연구소, 1982, 만리포 해빈 변화 및 침식방지 대책에 관한 연구. 한국해양연구소 보고서 BSPE 00032-57-2, 200 p.
 Ahn, C.H., 1989, Distribution of tidal flats and suspended materials in Keum River estuary using LANDSAT data. M.S. thesis, Inha University., 97 p.
 Choi, J.Y., 1993, Seasonal variations of suspended matters in the Keum estuary and its adjacent coastal area. Journal of Oceanology Society of Korea, 28, 272-280.
 Chough, S.K., 1983, Marine geology of Korea sea. Int. Hum. Resour. Univ., 52 p.
 Chough, S.K., 1985, Further evidence of fine-grained sediment dispersal in the southeastern Yellow Sea. Sediment Geology, 41, 159-172.
 Curray, J.R., 1960, Tracing sediment masses by grain size modes. Internat. Geol. Cong., 21st, Norden, Rept., pt. 23, 119-130.
 Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-27.
 Hydrographic office, 1990, Chart of Tidal Currents near Kyungyolbiyoldo, pp. 1-2.
 Lee, H.J. and Chough, S.K., 1989, Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. Marine Geology, 87, 195-205.
 Lee, H.J. and Yoon, S.K., 1997, Development of stratigraphy and sediment distribution in the northeastern Yellow Sea during Holocene Sea-Level Rise. Journal of Sedimentary Research, 67(2), 341-349.
 Lee, H.J., Jeoung, K.S., Han, S.J., and Bahk, K.S., 1988, Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southeastern Yellow Sea. Continental Shelf Research, 8, 255-266.
 Park, Y.H., 1986, Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. Progress in Oceanography, 17, 243-254.
 Park, Y.A. and Choi, J.Y., 1989, Mechanisms and distribution patterns of the fine-grained suspended materials off the southeast coast of Korea. Acta Oceanography Taiwanica, 24, 52-64.
 Park, Y.A. and Khim, B.K., 1990, Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental

- shelves. *Continental Shelf Research*, 10, 1179-1191
- Park, Y.A., Kim, S.C. and Choi, J.H., 1986, The distribution and transportation of fine-grained sediments on the inner continental shelf off the Keum river estuary, Korea. *Continental Shelf Research*, 5, 499-519.
- Passega, R., 1957, Texture as characteristic of clastic deposition. *American Association Petroleum Geologists*, 41, 1952-1984.
- Suk, B.C., Kagami, H., and Taira, A., 1994, Bedform morphology of the Continental shelf sandy sediments around the Korea Peninsula. *The Journal of the Korea Society of Oceanography*, 29(3), 239-247.
- Wells, J.T., 1988, Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: Onset of winter monsoons. *Marine Geology*, 83, 273-284.
- Woo, H.J., Chang, J.H., and Han, S.J., 1995, Characteristics of recent foraminifera and surface sediments in Gomsu-Bay tidal flat, west coast of Korea: Potential for paleoenvironmental interpretations. *The Journal of the Korea Society of Oceanography*, 30(3), 184-196.
- Yoo, H.R., 1986, Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea. *Ocean Research*, 8, 49-55.
- Zheng, Q.A. and Klemas, V., 1982, Determination of winter temperature patterns, fronts, and surface currents in the Yellow Sea and East China Sea from satellite imagery. *Remote Sensing Environment*, 12, 201-208.

2001년 3월 7일 원고 접수
 2001년 8월 14일 수정원고 접수
 2001년 10월 12일 원고 채택