

## 낙동강 하구역 진우도 해변의 춘추계 표층퇴적물 조직변수의 변화 Variation of the textural parameters of surface sediments between spring and fall season on the Jinu-do beach, Nakdong River estuary

김부근\* · 김백운\*\* · 이상룡\*

Boo-Keun Khim\*, Baeck Oon Kim\*\* and Sang Ryong Lee\*

**요 지 :** 진우도 해변에서 2005년 11월과 2006년 5월의 2회에 걸쳐서 표층퇴적물을 채취하여 퇴적물의 조직변수를 분석하였다. 2005년 11월에 비하여 2006년 5월에는 진우도 서쪽 해변의 최빈값은  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)로 변화가 거의 없었으나, 동쪽 해변에서는 최빈값  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 함량이 대폭 감소하고  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)가 절대적으로 우세한 조립화 경향이 발생하였다. 마찬가지로 표층퇴적물 평균 입도는 서쪽 해변에서는 두 조사의 차이가 거의 미약하지만, 동쪽 해변의 평균입도는 증가되어 조립화된 특징을 반영한다. 이러한 조립화는 2006년 5월에 진우도의 동쪽 해변의 표층퇴적물에서 상대적으로 양의 값으로 변화된 왜도 경향과 일치한다. 결과적으로 2005년 겨울을 지나면서 진우도의 표층퇴적물은 서쪽 해변은 큰 변화를 보이지 않는 반면에 동쪽 해변은  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 세립 사질퇴적물이 제거되는 현저한 조립화 경향이 나타난 것이다. 이와 같은 변화는 낙동강 하구역에 하계동안 증가된 강수량과 낙동강 방출량 그리고 동계동안 우세한 파랑 그리고 조석의 영향 등이 복합적으로 작용하여 진우도 서쪽 해변과 동쪽 해변의 표층퇴적물에 영향을 주는 수리학적 조건과 퇴적물의 공급/제거가 다르기 때문이다.

**핵심용어 :** 표층퇴적물, 입도분석, 조직변수, 울타리섬, 낙동강하구

**Abstract :** Textural parameters were calculated from the surface sediments collected from Jinu-do beach in Nov. 2005 and May 2006. In Nov. 2005 and May, 2006, the grain size distribution of surface sediments shows that the mode of  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm) dominated the west beach of Jinu-do, but in the east beach the mode of  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm) decreased and the mode of  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm) was apparently distinct, resulting in the more coarsening trend. Mean grain size of surface sediments also indicates little difference in the west beach between two investigations, but the increasing difference between mean grain sizes in the east beach, showing more coarsening pattern. Such seasonal pattern corresponds to the positive skewness in the east beach in May, 2006. As a result, after the winter in 2005, the surface sediments in the west beach of Jinu-do experienced a little variation, whereas the apparent coarsening of surface sediments occurred in the east beach by removal of  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm) fine-grained sand particles. The observed seasonal change may be attributed to the different hydrographic condition and sediment delivery/removal on the surface sediments between the west beach and the east beach of Jinu-do through the increased precipitation and more freshwater discharge from the Nakdong River during the summer and the intensified wave and tide during the winter in the Nakdong River estuary.

**Keywords :** surface sediment, grain size analysis, textural parameter, barrier island, Nakdong River estuary

\*부산대학교 지구환경시스템학부(Corresponding author : Boo-Keun Khim, Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea. bkkhim@pusan.ac.kr)

\*\*군산대학교 새만금환경연구센터(Kunsan National University, Saemangeum Environmental Research Center)

### 1. 서 론

낙동강 하구둑은 해수의 역류로 발생하는 산업 용수공급 장애와 김해평야의 염해를 방지하기 위해 1983년 6월에 공사를 착수하여 1987년 11월에 완공되었으며, 하구둑의 준공으로 인해 식수와 공업용수의 안정적인 공급이 가능하게 되었다(Fig. 1; 부산지방환경청, 1992). 이러한 순기능과 다르게 낙동강 하구둑은 낙동강 하류 지역에 기후, 수문, 지형, 생태 등 자연환경 측면의 변화와 인구, 산업, 공공시설, 교통 등의 사회경제적 측면의 변화를 가져왔다(부산발전연구원, 2007). 또한, 낙동강 하구둑 건설 후 인근 유역이 수역으로 변화되면서 낙동강의 저수량과 저수 유역의 증가 및 담수화로 인해 낙동강 하류 지역의 환경-생태계가 변화하게 되었다(부산발전연구원, 2005).

권(1991)은 낙동강 하구둑에 의한 담수와 해수의 교환을 감소로 상류역에서는 해수의 영향이 주요인으로 나타나지 않고, 해수역에서는 담수의 유입이 주요인으로 작용하지 않았지만, 하구둑 건설이후 담수, 오염물, 토양 등과 같은 환경요인의 영향이 건설 이전에 비해 전반적으로 증가하였다고 보고하였다. 낙동강 하구둑에 의하여 저수 유역의 증가로 인근 지역이 인공호수의 형태로 변화되어 대기중의 수증기 공급이 상승하게 되어 안개 발생 일수 및 안개 지속시간이 많아져서, 일사량이 감소하게 되었다(박, 1992). 또한, 낙동강 하류 인근 지역에 조성된 산업단지에서 배출되는 대기 오염물질 등이 응결핵의 역할을 하여 저수 유역에서 증발하는 수증기와 결합하여 다량의 에어로졸을 형성하기 때문에 악시정을 유발하게 되었다(전, 2002).

해수의 역류방지 및 용수 확보를 위한 낙동강 하구둑의 건설 이후 해수와 담수의 혼합작용 및 평형상태가 파괴되어 환경변화가 지속적으로 심화되고 있다. 하구둑이 건설된 후, 해수 유입은 하구둑에 의해 차단되고 담수는 인위적인 조작에 의해 방출되기 때문에 하구둑 수문을 열었을 때 유출된 담수에 의해 성층화 현상이 발생되어 하구둑의 수문개폐는 낙동강 하류 지역의 하구 순환에 영향을 미치는 중요한 요인으로 되었다(이윤, 2003, 장김, 2006). 김 등(1999)에 의하면 하구둑이 건설된 후에, 하구둑 하류 지역의 순환 기구가 2부분으로 나누어지고, 주수로의 경우 조류의 영향보다는 유출수의 영향으로 인하여 성층화되어 이동되는 것을 확인하였다. 하구역에 영향을 주는 수리학적 요인들은 하천 유량, 조석, 파랑 등으로 매우 복잡하지만, 낙동강 하구역은 육상으로부터의 영

향(기후, 강우, 하천유량, 유입토사)뿐만 아니라, 해양환경의 조건(파랑 및 조석, 지형적 특성, 수심)과 더불어 인위적인 개발 등에 의해서 변화되어 왔다(유 등, 2006; 윤 등, 2007; 이 등, 2007).

낙동강 하구와 같이 삼각주 지형이 발달하고 있는 해안이 조석과 파랑의 작용이 함께 우세한 경우에는 삼각주 해안 전면에 사주(砂洲)섬 또는 울타리섬(barrier island)이 형성된다(Stutz and Pilkey, 2001, 2002; Pilkey et al., 2004). 낙동강 하구에는 을숙도, 대마등, 장자도, 신자도, 진우도, 백합등, 도요등 등의 다양한 사주섬 또는 울타리섬들이 분포하고 있다(Fig. 1). 이 등(2007)은 인위적인 개발에 의한 하구둑 준공 이후 담수와 해수의 교환이 제한되었기 때문에 하구역 주변의 해안선에 많은 변화가 발생했다고 발표하였다. 마찬가지로 윤 등(2007)도 낙동강 하구역에 일련의 건설공사로 인하여 낙동강 하류 수역의 해수유동 변화가 초래되어 불특정 사주섬 또는 울타리섬들이 형성되었다고 발표하였다. 결과적으로 낙동강 하구역은 낙동강 하구둑이 건설된 이후로 해안선의 변형 및 울타리섬 형성에 의하여 하구 지형에 커다란 변화가 발생한 것으로 해석되었다(오, 1999; 이·김, 2002; 김 등, 2003, 김, 2005; 이 등, 2007, 2008).

낙동강 하구역은 산업화와 도시화의 진전으로 인해 지형의 형태가 오랜 시간에 걸쳐 변화해 왔으며, 하구둑 조성 이후 계속되는 인위적인 공사들로 인하여 더욱 큰 변화를 보이고 있다. 이러한 지형적 변화와 관련하여 윤·이(2008)는 낙동강 하구역 표층퇴적물의 계절적인 퇴적 변화를 조사하여 하구둑 이전과 이후의 변화를 비교하였다. 또

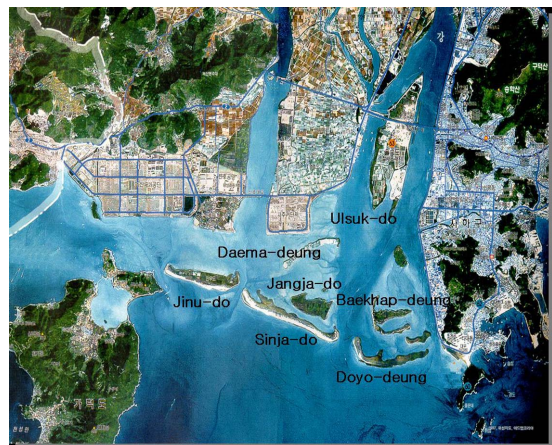


Fig. 1. Map showing the Nakdong River estuary and distribution of barrier islands. The study area is Jinu-do.

한, 낙동강 하구역의 사주섬 또는 울타리섬들의 퇴적학적 특성을 규명하기 위하여 김 등(2007)이 진우도-신자도-도요등 해빈의 표층퇴적물 분포에 대한 결과를 발표하였지만 1회성의 자료로 계절 변화에 대한 정보를 제공하지 못하고 있다. 이 연구에서는 낙동강 하구역에서 하구둑 건설 이후 지형적인 변화가 가장 적은 진우도 해빈 표층퇴적물의 조직변수들이 계절적으로 어떻게 변화하는지를 보고하였다. 진우도 해빈에서 2005년 11월과 2006년 5월에 채취된 표층퇴적물은 각각 하계의 주된 퇴적작용과 동계의 주된 퇴적작용의 영향을 받고 난 후의 결과를 기록하고 있다고 가정하였다.

## 2. 낙동강 하구 지형 및 퇴적환경 변화 역사

낙동강 하구둑이 건설된 이후에 육상 및 해양에서 다양한 환경 변화들이 보고되었지만, 가장 특징적인 것은 하구역의 지형변화이다(반, 1986; 오, 1999; 이·김, 2002; 김 등, 2003, 김, 2005; 김 등, 2007; 윤 등, 2007; 이 등, 2007, 2008). 아마도 하구둑 건설이 낙동강에 의한 퇴적물 유출과 하구내의 운반에 변화를 초래하여 하구 일대의 퇴적환경에 영향을 주었기 때문이다. 예를 들어, 하구둑 건설 이후 낙동강에 의한 퇴적물 공급이 현격하게 감소하고 하구역에서 퇴적이 둔화되었을 뿐만 아니라, 파랑 및 조석에 의한 수리학적 영향이 지형 변화에 가세되었을 것이다. 낙동강 하구 지형변화와 관련하여 많은 결과가 보고되고 있으나, 지형의 장기적인 변화 양상이나 해안선의 변화 요인에 따른 특성을 규명한 결과는 최근에 보고되고 있다(김, 2005; 김 등, 2007; 윤 등, 2007).

반(1986)은 낙동강 하구역은 삼각주와 사주섬 또는 울타리섬들이 조류 및 파랑에 의하여 침식과 퇴적작용이 복합적으로 일어나기 때문에, 하구 전면에는 낙동강을 통해 유입되는 토사가 퇴적되어 하천의 유하 작용과 조수간만 작용에 의해 형성된 다양한 크기의 사주섬 또는 울타리섬들이 하천 유수의 직각방향(동-서 방향)으로 발달되어 있고, 이들 섬들은 태풍, 파랑, 조류, 그리고 낙동강의 범람 등에 의해서 끊임없이 그 형태가 변한다고 설명하였다. 한편, 오(1999)는 낙동강 삼각주 하부가 하구둑 건설 이후 빠르게 바다 쪽으로 발달한다고 보고하였다. 이러한 현상은 하구둑과 신호공단 및 명지주거지의 조성을 위한 하구 부근의 준설과 인공적인 수로 변경에 따른 토사의 일시적인 재퇴적 현상 때문이며, 그 결과 미래의 지형 변화는 삼각주 하부에서 낙동강의 유출수와 파랑 그리고 연

안류 및 조류의 에너지가 하구둑 건설 이전에 작용했던 것처럼 균형을 이룰 때까지 계속될 것이라고 주장하였다. 결과적으로 낙동강 하구둑 건설 후 하구역의 사주섬 또는 울타리섬들의 형태는 다양하게 변화되었고, 지속적으로 외해 방향으로 발달한다고 발표되었다(부산발전연구원, 2007).

김 등(2007)은 GIS에 근거한 수치해안선 분석시스템을 이용하여 낙동강 하구역 울타리섬들의 해안선 변화율을 정량적으로 계산하였다. 1975년부터 2001년까지 신자도의 서쪽 부분은 바다 쪽으로 전진한 반면 동쪽 부분은 육지 쪽으로 후퇴하였으며, 이 결과로 섬이 반시계 방향으로 회전하였다. 신자도의 양쪽 끝 부분에서 해안선 변화율은 약 20 m/yr로 계산되었고, 도요등은 1993년에 백합등 전면에서 새롭게 출현하였으며 그 후 40 m/yr의 해안선 변화율로 외해로 전진하였다고 주장하였다. 이 등(2007)은 진우도 남측은 강우량이 적고, 북풍이 우세한 동계에 퇴적현상이, 방류량이 많고 남풍이 우세한 하계에 침식현상이 우세한 반면에, 동편에서는 낙동강 방류량이 많을 시기에 퇴적이 우세하여 남측과는 다른 지형 변화 양상을 보인다고 발표하였다. 이러한 진우도의 퇴적현상은 지형변동 모니터링으로부터 산정된 평균 침식/퇴적변화량에 의하여 확인되었다(이 등, 2008).

낙동강 하구역 주변의 표층 퇴적물 분포에 대한 연구는 하구 주변 및 사주섬 지형의 변화를 포함하여, 하구둑 건설이전-이후의 변화에 대해서도 비교하였다(김·이, 1980; 이·박, 1985; 이, 1993; 김·하, 2001; 김 등, 2007; 윤·이, 2008). 낙동강 하구둑 건설전의 퇴적물 분포는 김·이(1980)에 의해 발표되었고, 이들은 낙동강은 주로 홍수기에 퇴적물을 하구 외해쪽으로 방출하고 평상시에는 세립 퇴적물을 외해로부터 창조류와 함께 하구역 울타리섬들의 내측으로 유입하여 하구내에 퇴적시킨다고 해석하였다. 낙동강 하구둑 건설후의 표층 퇴적물은 이(1993)가 분석하였고, 그 결과 사질퇴적물은 주로 수로와 사주 주변에 분포하며, 실트 퇴적물은 외해쪽에 우세하게 분포하는 것을 확인하였다. 그러나 현재 낙동강 하구역의 표층퇴적물의 분포는 과거에 발표된 연구결과와 커다란 차이를 보이며 사질퇴적물은 울타리섬들을 중심으로 수심이 깊은 사주 남쪽 외해쪽에 넓게 분포한다고 발표되었다(김·하, 2001). 윤·이(2008)는 낙동강 하구역에서 표층 퇴적물의 계절적인 변화를 기존 자료들과 비교하였다. 낙동강 하구역의 퇴적물 분포는 계절적으로 변화가 크고 낙동강 하구둑의 방류량과 입사 파랑의 영향을 우세하게 받는다. 사질퇴적물

들은 연간 탁월 파향인 ENE 계열 파랑의 영향으로 낙동강 하구역의 서쪽 진우도 전면으로의 이동이 우세하고 니질퇴적물은 흐름을 따라 수심이 깊은 외해 쪽으로 이동하여 퇴적되기 때문에, 현재의 낙동강 하구역의 퇴적상은 과거의 연구 결과들과 비교하여 커다란 차이를 보인다고 발표하였다.

현재까지 발표된 낙동강 하구역 표층퇴적물의 연구 결과들에 의하면 낙동강 하구역의 퇴적작용은 하구둑 건설 이후 커다란 변화가 발생하였으며 하구 지형의 변화와 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 하구의 퇴적작용은 하구역에서 하천 및 퇴적물 유량, 조석 및 파랑의 상호작용에 의하여 결정된다. 파랑과 하천유량은 계절에 따라서 크게 변하는 외력요인으로서 계절적인 지형 변형과 퇴적물 분포를 비교하기 위해서는 계절적인 조사가 필요하다. 또한 과거의 연구 결과와 비교하기 위해서는 동일한 분석 방법을 이용했는지 확인하는 것도 매우 중요한 조건이다. 예를 들어, 사질 퇴적물의 경우 입도 분석에 ro-tap sieve shaker나 진탕기를 이용한 표준화된 체(sieve)질 방법을 일반적으로 이용하지만, 세립질 퇴적물의 경우 피펫법(김하, 2001)과 Laser diffraction size 분석법(윤이, 2008)은 서로 다른 결과를 도출할 수 있기 때문이다.

### 3. 연구방법

진우도 해변에서 표층 퇴적물의 채취는 2005년 11월과 2006년 5월의 2회에 걸쳐서 이루어졌다. 남쪽 해안선을 따라 서쪽에서 동쪽으로 52개의 정점이 결정되었다. 또한 해안선에 평행하게 해변 상부(Blue Transect-만조선 근처), 해변 중부(Black Transect-평균 해면 근처) 그리고 해변 하부(Red Transect-간조선 근처)의 세 지점으로 나눠서 채취되었다(Fig. 2). 따라서 총 312개의 표층퇴적물을 분석하였다.

채취한 퇴적물을 적당량(20 g) 취하여 500 ml 비커에 담고 유기물 제거를 위해 5% 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 반응시켰다. 시료에 소량의 페각이 함유되었지만 탄산염 제거 과정은 생략하였다. 하루 동안 유기물 제거과정을 거친 뒤, 3차례의 세척을 통해 과산화수소수를 제거하였고, 60 °C의 건조기에서 세척된 표층 퇴적물을 건조하였다. 건조된 퇴적물은 진탕기를 이용하여 0.5φ간격으로 0φ(i.e., 1.0 mm)-4φ(i.e., 0.063 mm)까지 체질하였다(Ingram, 1971). 4φ(i.e., 0.063 mm)이상의 퇴적물은 4.5φ(i.e., 0.044 mm)로 간주하였다. 체질 된 퇴적물은 각 φ별로 무게를 측정

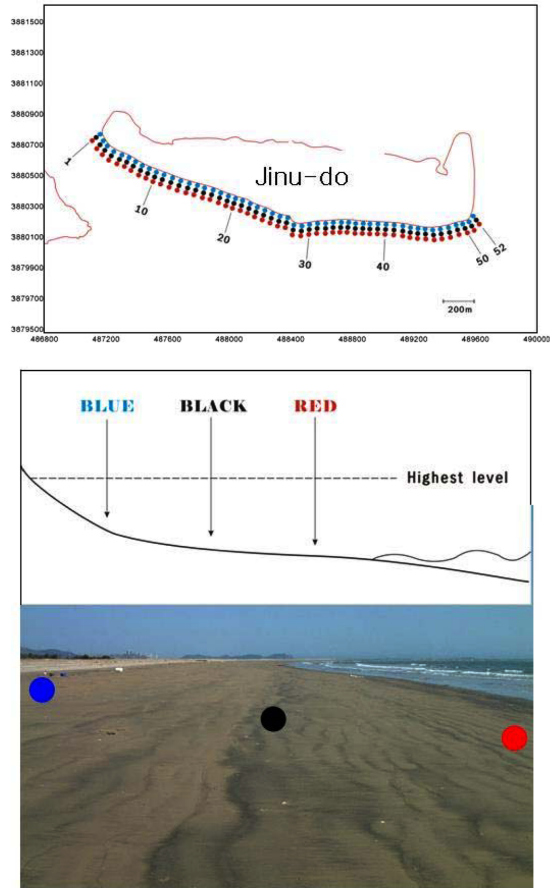


Fig. 2. Sampling of surface sediments on the beach of Jinu-do. The sampling sites consist of 52 from the west to the east and 3 (Blue, Black and Red from the high sea level to the low sea level) across the beach.

한 후 총 무게에 대한 비율을 계산하였다(Galehouse, 1971). 조직변수(평균, 입도, 왜도)는 GRADISTAT 프로그램을 이용하여 계산하였고(Blott and Pye, 2001), Folk and Ward(1957)가 제시한 도표계산법을 적용하였다.

### 4. 결 과

Fig. 3은 2005년 11월과 2006년 5월에 해변 상부에서 채취한 표층퇴적물의 입도분포 변화를 보여주고 있다. 2005년 11월의 경우 입도분포의 최빈값은 진우도 서쪽 지역에서 채취된 Site 5, Site 10, Site 20 등에서 3.0φ(i.e., 0.125 mm)가 우세하지만, Site 27의 동쪽에 위치한 정점들(Site 30, Site 40, Site 50)에서는 상대적으로 조립한 2.5φ(i.e., 0.177 mm)가 3.0φ(i.e., 0.125 mm)와 함께 최

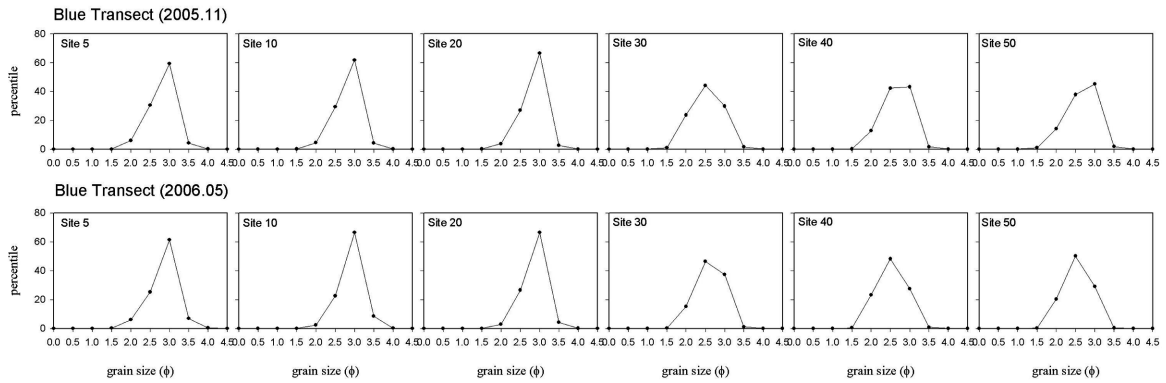


Fig. 3. Mode of grain size distribution in the Blue Transect of the Jinu-do between Nov., 2005 and May, 2006.

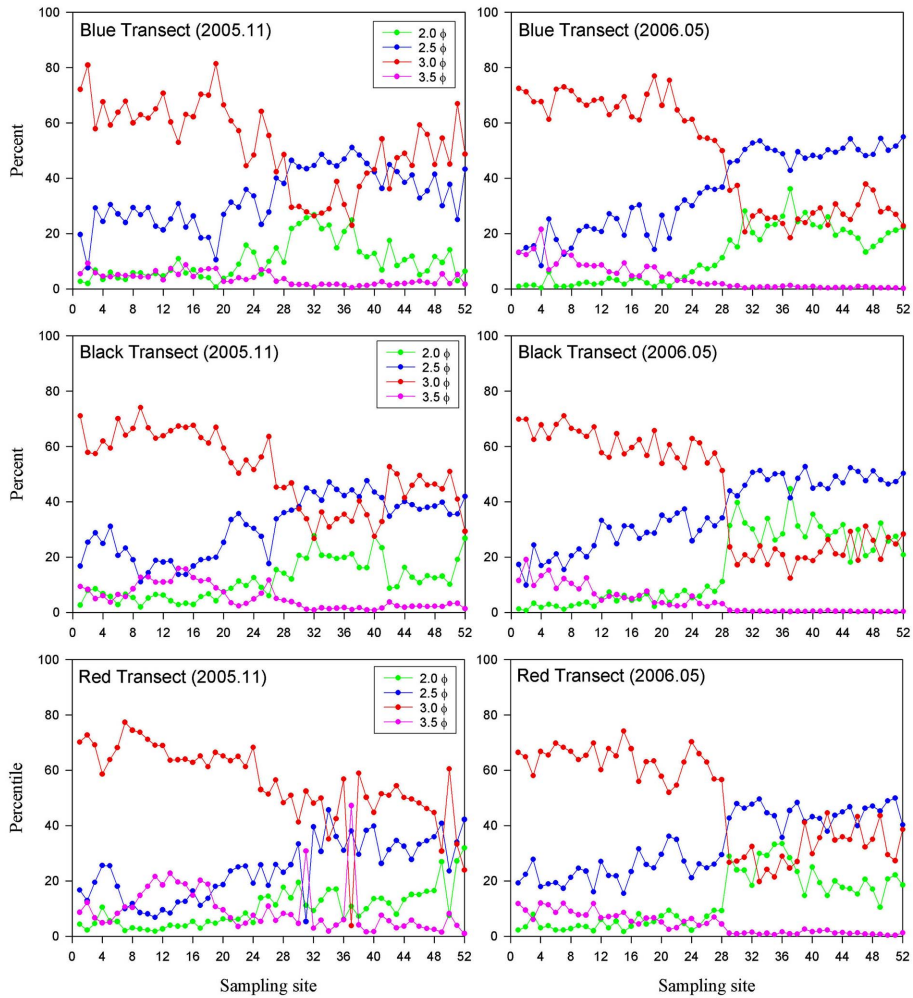


Fig. 4. Variation of grain size components (2.0φ(i.e., 0.250 mm), 2.5φ(i.e., 0.177 mm), 3.0φ(i.e., 0.125 mm), 3.5φ(i.e., 0.088 mm)) of Blue, Black and Red Transects between Nov., 2005 and May, 2006.

빈값을 구성한다(Fig. 3). 한편 2006년 5월에 채취된 해빈 상부 퇴적물은 진우도의 서쪽 지역 해빈 표층퇴적물의 최

빈값은 2005년 11월과 마찬가지로 3.0φ(i.e., 0.125 mm)가 우세하지만 동쪽 지역에는 2.5φ(i.e., 0.177 mm)가 우

제한 최빈값으로 나타난다. 이와 같이 진우도의 최빈값이 서쪽지역에는  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)가 우세하고 동쪽 지역에는  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)가  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)와 함께 우세하게 나타나는 동-서의 변화는 해빈 중부와 해빈 하부에서도 동일하게 관찰된다. 따라서 진우도 해빈의 표층퇴적물은 서쪽 지역보다 동쪽 지역이 조립한 퇴적물로 구성되어 있다.

진우도 해빈 표층퇴적물이 서쪽 지역보다 동쪽 지역에 더 조립한 입자들로 구성되어 있는 것은 Fig. 4의 입도 조성에서 더욱 확실하게 알 수 있다. 2005년 11월에 진우도 해빈 상부, 중부 및 하부의 입도 조성은 Site 27의 서쪽 지역에서  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)가 가장 우세한 분포를 보이지만, 동쪽 지역에서는  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)와  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)가 함께 가장 우세하게 나타난다. 이러한 입도 조성의 함량 변화는 Fig. 3에서 나타난 최빈값의 변화를 자세히 설명하는 것이다. 한편, 2006년 5월 진우도 해빈 상부, 중부 및 하부 표층퇴적물의 입도 조성은 서쪽 지역의 경우 여전히  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)가 우세하지만, 동쪽 지역에서는  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 함량이 급격히 감소하여 대부분의 지역에서  $2.5\phi$ (i.e., 0.177

mm)가 절대적으로 우세한 조립화 변화가 나타난다. 이러한 조립화 경향은 해빈 상부와 중부가 하부보다 더욱 뚜렷하다. 결과적으로 겨울철을 지나면서 진우도 해빈의 표층퇴적물은 서쪽 지역은 큰 변화를 보이지 않는 반면에 동쪽 지역은 서쪽 지역에 비하여 현저한 조립화 경향이 나타난 것이다.

진우도 표층퇴적물의 계절적인 변화는 조직변수에 의해 뚜렷하게 확인할 수 있다(Fig. 5). 2005년 11월과 2006년 5월의 해빈 상부, 중부 및 하부의 퇴적물 평균입도는 모두 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 큰 값을 보이는 것으로 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 세립한 퇴적물로 구성되어 있는 것을 알 수 있다(Fig. 5). 두 조사의 결과를 비교해 보면, 전체적으로 진우도 해빈 상부-하부-중부의 서쪽 지역에서는 2005년 11월과 2006년 5월의 평균 입도가 매우 비슷해서 차이가 미약하지만, 동쪽 지역의 경우 2005년 11월의 평균 입도보다 2006년 5월의 평균 입도가 뚜렷하게 감소하여 두 계절사이의 평균입도 차이가 서쪽에 비하여 크게 증가되었음을 알 수 있다.

평균입도의 계절적 변화와 관련하여 다른 조직 변수의 변화를 Fig. 5에서 관찰할 수 있다. 표층퇴적물의 분급도

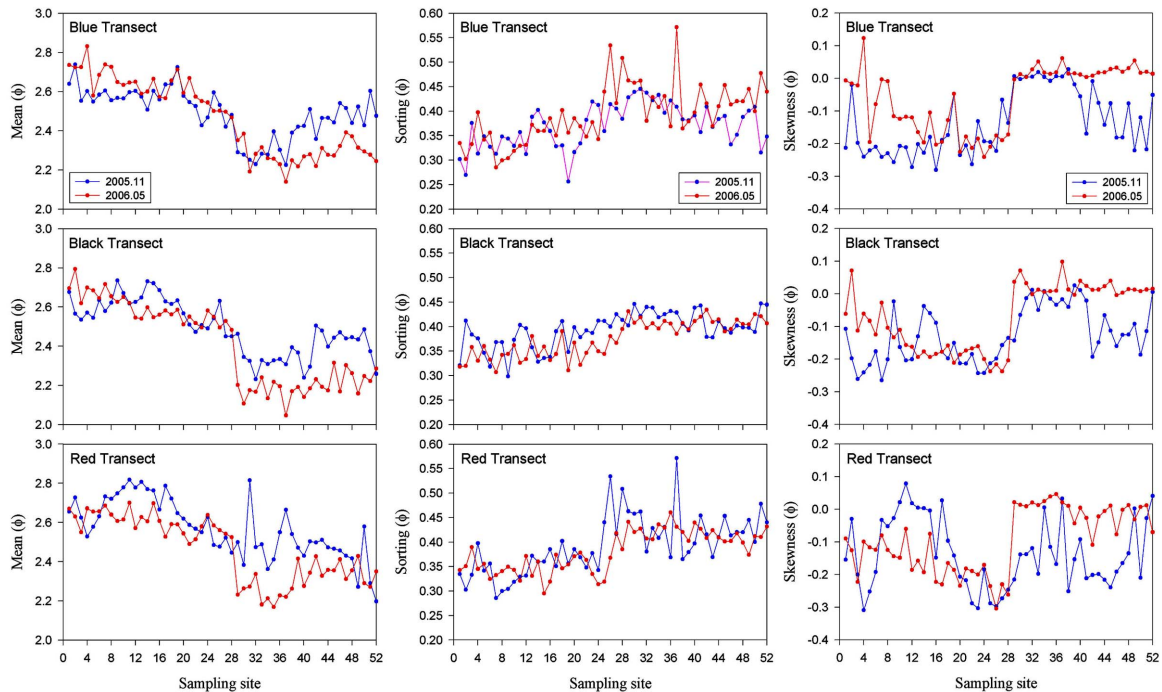


Fig. 5. Variation of textural parameters (mean, sorting, skewness) of Blue, Black and Red Transects between Nov., 2005 and May, 2006.

는 진우도의 해변 상부, 중부 및 하부에서 동쪽 지역이 서쪽 지역보다 값이 크게 나타나서 분급도가 나쁘다는 것을 지지한다. 그러나, 2005년 11월과 2006년 5월 사이에 분급도의 변화는 크게 다르지 않고 전반적으로 거의 유사한 양상을 보인다. 진우도의 동쪽 지역과 서쪽 지역 사이에 분급도의 차이가 나타나는 이유는 동쪽 지역의 입도 분포 조성은 최빈값의 구성이  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)와  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)가 함께 나타나기 때문에 서쪽 지역의 단일 최빈값의 퇴적물 구성보다 상대적으로 나쁜 분급도를 보이는 것이다.

왜도(skewness)는 평균을 중심으로 한 확률분포의 비대칭 정도를 나타내주는 지표로 퇴적물 입도 분포의 비대칭성을 알 수 있다(Folk and Ward, 1957). 2005년 11월에서 2006년 5월로 계절이 변하면서 진우도 해변 전체적으로 서쪽 지역에서는 평균 입도의 차이가 거의 미약하지만, 동쪽 지역에서는 표층퇴적물의 조립화가 나타난다. 왜도의 경우에는 동쪽 지역과 서쪽 지역 사이에서 계절적인 변화가 나타난다. 진우도 전체적으로 몇 지역들을 제외하고는 대부분 음의 값을 보인다. 그러나, 2005년 11월과 2006년 5월의 왜도를 비교하면 진우도의 동쪽 지역의 경우 대부분의 왜도가 증가된 값으로 변화되어 0가까이 수렴함을 알 수 있다.

## 5. 토 의

낙동강 하구역은 일반적으로 육상 환경의 기후, 강수량, 하천 유량 등에 의하여 퇴적물 유입량이 조절되고 하구내로 유입된 퇴적물은 하구의 지형, 조석 및 파랑 그리고 하구내의 해류 특성에 따라 퇴적이 결정된다. 그러나 낙동강 하구둑 건설이 낙동강에 의한 퇴적물 공급을 현격하게 감소하고 하구역에서 퇴적이 둔화되어 상대적으로 파랑 및 조석에 의한 수리학적 영향이 증가되었을 것이다. 진우도 남측은 적은 강수량과 우세한 북풍 조건의 동계에 퇴적현상이 우세하고, 많은 방류량과 우세한 남풍 조건의 하계에 침식현상이 우세한 반면에, 동측에서는 낙동강 방류량이 많을 시기에 퇴적이 우세하여 남측과는 다른 지형변화 양상을 보인다(이 등, 2007). 진우도 해변 퇴적물의 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 세립한 퇴적물로 구성되어 있는 것은 각 지역에 영향을 주는 파랑-조석의 수리학적 조건과 더불어 퇴적물의 공급 및 제거가 계절적으로 다르기 때문으로 해석할 수 있다.

2005년 11월과 2006년 5월에 채취한 진우도 표층퇴적

물의 평균입도 분포에 의하면 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 세립한 퇴적물로 구성되어 있음을 알 수 있다(Fig. 5). 더욱 특징적인 계절적 변화는 2005년 11월과 2006년 5월의 평균입도 차이가 서쪽 지역에서는 거의 미비한 반면에 동쪽 지역에서는 평균입도 차이가 증가되어 진우도의 동쪽 지역에서 2006년 5월이 2005년 11월에 비하여 더욱 증가된 조립화 경향이 나타난 것이다. 2005년 11월과 2006년 5월의 왜도를 비교해보면 진우도의 동쪽 지역에서 상대적으로 양의 왜도 경향을 보임을 알 수 있다. 음의 왜도 범위에 해당된다는 것은 세립한 퇴적물이 상대적으로 많이 구성되어 있는 것을 의미하며, 왜도가 점차적으로 증가하여 양의 범위에 해당된다는 것은 세립한 퇴적물이 제거되어 조립한 퇴적물이 상대적으로 많다는 것을 나타낸다. 따라서 2005년 겨울을 지나면서 진우도의 동쪽 지역은 서쪽 지역에 비하여  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 최빈값 함량이 감소하면서 최빈값은  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)로 변화되고 평균입도는 감소하고 왜도는 증가하는 결과가 나타나는 것이다.

윤이(2008)의 자료에 의하면 2007년 5월부터 2008년 4월까지 낙동강 하구둑의 월별 방류량 분포는 7월-9월의 하계기간동안 전체 방류량의 88%를 차지하고 있다. 따라서 낙동강은 하계 홍수기동안 우세하게 퇴적물을 공급하여 낙동강 하구역의 퇴적에 영향을 미치는 것이다. 마찬가지로 동일한 기간에 낙동강 하구역의 남측 외해에 위치한 거제도 해상부이( $34^{\circ}46'N$ ,  $128^{\circ}54'E$ )에서 관측된 입사파랑 분포에 의하면, 하계기간의 주 입사파랑은 SW, SSW 및 ENE 계열이 비슷한 발생빈도를 보였지만, 동계에는 SW와 SSW 계열의 발생빈도가 줄어들고 ENE 계열의 발생빈도가 증가하여 우세하게 나타났다. 실제로 이 해상부이의 위치는 진우도 남쪽 35 km 지점에 위치하고 있기 때문에, 진우도 해변 퇴적물에 직접적인 영향이 있을지는 미지수이다. 그러나 하계기간동안에 우세한 낙동강 방류수와 더불어 SW-SSW-ENE 계열의 파랑 작용이 퇴적/침식에 우세하게 작용하는 반면에 동계에는 낙동강의 영향은 감소하고 ENE 계열의 수리학적 파랑의 영향이 우세하게 작용하였을 것으로 예상된다. 따라서 진우도 표층퇴적물의 평균 입도의 분포에 의하여 파랑에너지가 적어도 서쪽 지역보다 동쪽 지역이 높은 상태에 있으며 동쪽 지역의 조립화는 겨울철 파랑에너지의 증가된 영향으로 해석된다.

진우도는 낙동강 하구에 위치하여 계절적인 담수유입량의 변화를 받게 된다. 여름철 낙동강은 강수량이 증가

하여 담수유입이 증가하고, 하구둑을 개방하여 많은 양의 담수와 퇴적물을 하구에 공급한다. 따라서 여름철은 겨울철에 비해 상대적으로 세립한 퇴적물이 더 많이 공급될 수 있는 조건에 있는 것이다. 이 등(2007)의 연구 결과에서도 진우도에 5월과 9월 사이에 퇴적이 발생할 경우 퇴적물의 입경이 감소했으며, 침식발생량이 최대인 경우에 퇴적물의 최대 입경이 나타난다. 즉, 하계 퇴적이 발생할 경우 퇴적물이 세립화되고 동계에 침식이 발생할 경우 조립화된다는 이번 연구결과와 일치하는 것이다. 진우도의 동쪽 지역에서 서쪽 지역으로 가면서 해빈 퇴적물의 분급도가 양호해지고 평균 입도가 작아지는 현상은 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 연안류의 결과로 생각된다.

이 등(2008)은 진우도 남쪽의 외해로 약 3 km 떨어진 정점에서 부유사 수송량의 변화를 조사하였다. 그 결과 대조기(2007.5.19~20)시의 동-서 수송량은 대체로 전 수심에 걸쳐 평균  $28 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 로 동측으로 이동하였으며, 남-북 수송량은 약  $11.1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 로 북측으로 이동하는 것으로 나타나, 동-서 수송량이 남-북 수송량에 비해 약 2.5배 수송량이 많은 것으로 나타났다. 또한 소조기(2007.11.18~19)시의 동-서 수송량은 및 남-북 수송량은 대조기시와 유사하게 동·북측으로 각각 평균 약  $4.8 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$  및  $1.5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 의 범위로 동-서 수송량이 남-북 수송량에 비해 약 3.2배 크게 계산되었다. 그러나 진우도 해빈퇴적물의 이동방향과는 다르게 남쪽의 외해에서는 동쪽으로 흐르는 조류가 우세하기 때문에(이 등, 2008) 해빈 퇴적물과 더불어 조하대 퇴적물의 이동 경향은 향후의 정밀한 조사가 요구된다. 따라서 진우도 해빈 지역에서 표층퇴적물의 변화가 계절적으로 동-서 방향으로 나타날 수 있음을 시사하는 것이다.

윤·이(2008)는 낙동강 하구역의 퇴적물 분포는 계절적으로 변화가 크게 나타나고 낙동강 하구둑의 방류량과 입사파랑의 영향을 크게 받는다고 제안하였다. 조립한 퇴적물들은 연간 탁월 파향인 ENE 계열 파랑의 영향으로 낙동강 하구역의 서쪽 진우도 전면으로의 이동이 우세하게 나타났고 세립한 퇴적물은 유속을 따라 수심이 깊은 외해쪽으로 이동하여 퇴적된다고 하였다. 파랑에너지의 동-서 차이는 쇄파의 파고 차이를 보이기 때문에 연안류의 형성을 초래한다. 진우도 해빈의 표층퇴적물에서 분석된 조직 변수의 변화는 동쪽에서 서쪽으로 우세한 연안류의 방향을 지시한다. 따라서 진우도의 서쪽 지역보다는 동쪽 지역에 세립한 퇴적물의 공급과 제거가 더 우세하게 영향을 미칠 수 있다는 것이다.

## 6. 결 론

현재의 낙동강 하구 퇴적환경은 사주섬 또는 울타리섬 가까이에는 조립질 퇴적물이 우세하고 외해쪽으로 갈수록 세립질 퇴적물이 우세하게 분포하며 계절적인 변화가 나타난다. 이러한 계절적인 변화를 확인하기 위하여 진우도 해빈에서 2005년 11월과 2006년 5월의 2회에 걸쳐서 표층 퇴적물을 채취하여 조직변수를 분석하였다.

2005년 11월의 표층퇴적물 조성 분포는 진우도 서쪽 해빈에 최빈값이  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)가 우세하게 나타나지만, 동쪽 해빈은  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)와  $2.5\phi$ (i.e., 0.177 mm)가 함께 우세하게 나타난다. 진우도의 서쪽 해빈 표층퇴적물이 동쪽 해빈 표층퇴적물보다 세립한 결과를 보였다. 2006년 5월의 표층퇴적물 조성 분포는 서쪽 해빈의 최빈값은  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)로 변화되지 않았지만, 동쪽 해빈에는  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 함량이 대폭 감소하고  $2.5\phi$ 가 절대적으로 우세한 최빈값을 보이며, 2005년 11월보다 더욱 조립화된 경향이 나타났다. 표층퇴적물 평균입도 자료에 의하면 진우도 서쪽 해빈에서는 2005년 11월과 2006년 5월의 평균 입도가 매우 비슷해서 계절적인 차이가 거의 미약하지만, 동쪽 해빈에서는 두 계절사이의 평균입도 차이가 서쪽에 비하여 증가되어, 2006년 5월에 조립한 평균입도를 보였다. 이러한 조직변수들의 변화는 2006년 5월에 진우도의 동쪽 해빈에서 상대적으로 양의 왜도가 나타나는 경향과 일치한다. 따라서 2005년 겨울을 지나면서 진우도의 동쪽 해빈은 서쪽 해빈에 비하여  $3.0\phi$ (i.e., 0.125 mm)의 세립한 입자들이 제거되면서 최빈값은  $2.5\phi$ 로 변화되고 평균입도는 조립화되며 왜도는 증가하는 것이다.

2005년 11월과 2006년 5월의 진우도 표층퇴적물을 채취하여 조직변수를 분석한 결과, 2005년 겨울을 지나면서 진우도의 표층퇴적물은 서쪽 해빈은 큰 변화를 보이지 않는 반면에 동쪽 해빈은 서쪽 해빈에 비하여 현저한 조립화 경향이 나타난다. 이러한 변화는 낙동강 하구역에 하계동안 증가된 강수량과 동계동안 우세한 파랑 그리고 조석의 영향 등이 복합적으로 작용하여 진우도 서쪽 지역과 동쪽 지역의 해빈 퇴적물에 영향을 주는 수리학적 조건과 퇴적물의 공급/제거가 다르기 때문이다.

## 감사의 글

이 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)의 지원으로 수행되었습니다. 야외조사와 실험실 분석에 도움



을 준 부산대학교 학생들(김형직, 신혜선, 조영훈)에게 감사드립니다. 논문을 심사해 주신 3분 심사위원들의 건설적인 비평과 제안에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- 권오섭 (1991). 낙동강 하구언 건설에 의한 환경요인의 변화. 한국육수학회지, 24, 231-238.
- 김기철, 양한섭, 김차겸, 문창호, 장성태 (1999). 수문개폐에 따른 낙동강 하구언 하류부의 해양물리환경변화. 한국해양환경공학회지, 2, 49-59.
- 김백운, 김부근, 이상룡 (2007). 낙동강 하구역 울타리 섬의 해안선 변화율. 한국해양해양공학학회지, 19, 361-374.
- 김상호, 신승호, 양상용, 이중우 (2003). 낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구. 한국해양환경공학회지, 6, 26-36.
- 김석윤, 하정수 (2001). 낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화. 한국수산학회지, 34, 268-278.
- 김성환 (2005). 하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화. 대한지리학회지, 40, 416-427.
- 김성환, 류호상, 신영호 (2007). 낙동강 삼각주연안 사주섬 표층퇴적물의 입도특성과 공간적 분포. 한국지역지리학회지, 13, 43-53.
- 김원형, 이형호 (1980). 낙동강 하구지역의 퇴적물운반 및 퇴적에 대한 고찰. 대한지질학회지, 16, 180-188.
- 박종길 (1992). 낙동강 하구의 자연환경 및 생태변화. 인제대학교 환경연구소, 59-68.
- 반용부 (1986). 낙동강 하구 연안사주 지형. 부산여대논문집, 21, 463-518.
- 부산발전연구원 (2005). “낙동강 하구둑의 득과 실”, 부산발전연구원, 226pp.
- 부산발전연구원 (2007). “낙동강 하구 생태계모니터링 보고서(2006-2007)”, 부산발전연구원, 220pp.
- 부산지방환경청 (1992). “낙동강 하구언 축조 전후 주요환경 변화조사”, 부산지방환경청, 308pp.
- 오건환 (1999). 낙동강 삼각주 말단의 지형 변화. 한국제4기학회지, 13, 67-78.
- 유창일, 윤한삼, 류청로, 이인철 (2006). 해도분석을 통한 낙동강 하구 사주 면적의 시공간 변화. 한국해양공학회지, 20, 54-60.
- 윤은찬, 이종섭 (2008). 낙동강 하구역의 계절적인 퇴적환경 변화특성. 한국해양해양공학학회지, 20, 372-389.
- 윤한삼, 유창일, 강운구, 류청로 (2007). 낙동강 하구역 삼각주 발달에 관한 문헌 고찰 연구. 한국해양공학회지, 21, 22-34.
- 이상화, 김진후 (2002). 낙동강 하구 사주(모래톱)의 지형조사와 해저토 이동방향에 관한 연구(II). 대한토목학회지, 22, 365-370.
- 이유대 (1993). 부산만 해저지질의 특성연구: 낙동강 하구 수역의 퇴적 능력. 한국지구과학회지, 14, 67-74.
- 이유대, 박병남 (1985). 낙동강 하구 진우도 일원의 퇴적환경에 관한 연구. 부산대학교 자연과학논문집, 40, 327-336.
- 이인철, 유창일, 윤한삼 (2007). 낙동강 부정형적 사주발달과 환경인자간의 상관성 비교 연구. 한국해양환경공학회지, 10, 13-20.
- 이인철, 임성필, 윤한삼, 김현태 (2008). 낙동강 하구역 사주지형 변동과 부유사(SS) 수송량 산정 - 진우도를 중심으로-. 한국해양환경공학회지, 11, 70-77.
- 이종섭, 윤은찬 (2003). 낙동강 하천플룸의 3차원 혼합거동 해석. 대한토목학회지, 23, 347-358.
- 장성태, 김기철 (2006). 낙동강 하구에서의 해양 환경 변화. 바다, 11, 11-20.
- 전병일 (2005). 낙동강 하구언 건설 전후의 기상환경 변화 특성. 환경영향평가, 14, 135-145.
- Blott, S.J. and Pye, K. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237-1248.
- 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, 3-26.
- Galehouse, J.S. (1971). Sedimentation analysis. Procedures in Sedimentary Petrology, New York, Wiley Interscience, 69-94.
- Ingram, R. (1971). Sieve analysis. Procedures in Sedimentary Petrology, New York, Wiley Interscience, 49-67.
- Pilkey, O.H., Rice, T.M., and Neal, W.J. (2004). How to Read a North Carolina Beach, Chapel Hill, 162pp.
- Stutz, M.L. and Pilkey, O.H. (2001) A review of global barrier island distribution. Journal of Coastal Research, 34, 15-22.
- Stutz, M.L. and Pilkey, O.H. (2002) Global distribution and morphology of deltaic barrier island systems. Journal of Coastal Research, 36, 694-707.

원고접수일: 2009년 8월 3일

수정본채택: 2009년 10월 7일

게재확정일: 2009년 12월 8일