

## 황해 가로림만 조간대 표층퇴적물의 이동경로

신동혁 · 이희일 · 한상준 · 오재경<sup>1</sup> · 권수재  
한국해양연구소 해양지질연구부  
<sup>1</sup>인하대학교 해양학과

### Transport Paths of Surface Sediment on the Tidal Flat of Garolim Bay, West Coast of Korea

DONG-HYEOK SHIN, HI-IL YI, SANG-JOON HAN, JAE-KYUNG OH<sup>1</sup> AND SU-JAE KWON  
*Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research and Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*  
<sup>1</sup>*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

가로림만 조간대 표층퇴적물의 입도조직변수(평균입도, 분급도 및 왜도)를 기초로 '이차원 퇴적물 이동벡터모델'을 이용하여 퇴적물의 이동방향을 추정하였고 이에 따른 퇴적물의 이동현상을 해석하였다. 채취된 퇴적물은 각 정점마다 전체와 조립질( $< 4.5 \phi$ )로 구분하여 각각의 퇴적물이동방향(15 경우)을 구하였고, 이 방향과 지형, 측면형태(bedform)의 정밀측정, 그리고 여러 번의 현장관찰을 기초로 결정된 퇴적물의 실제이동방향과 비교하였다. 퇴적물의 실제이동방향과 가장 일치하는 이동벡터는 조립질 퇴적물에서 퇴적물 이동방향으로 퇴적물이 세립해지고, 분급이 좋아지며 왜도가 감소하는 경우와 퇴적물이 조립해지고, 분급이 좋아지며 왜도가 증가하는 경우를 조합한 M 경우이다. 이는 조립질 퇴적물이 연구지역의 퇴적물이동에 주요 구성성분이며, 세립질( $> 4.5 \phi$ )을 포함하는 전체 퇴적물보다 퇴적기작이 더 단순하므로 '퇴적물이동벡터모델'과 잘 부합하는 것으로 보인다. 또한 전체 퇴적물과 조립질 퇴적물 모두 퇴적물의 이동방향으로 분급도가 좋아지는 경향이 뚜렷한데, 이는 퇴적기작의 복잡성과 관계없이 연속적인 수리에너지는 퇴적물의 분급을 더 좋게 한다는 것을 증명한다. 또한 이 연구결과를 통하여 사주조간대의 조립질퇴적물의 이동은 남북방향으로 놓여 있는 만 입구 동주수로를 통하여 저조선에서 상부조간대로 이동하면서 퇴적되었고, 일부는 동주수로로 지나 남수로로 공급되어 반시계방향으로 돌며 북쪽지역으로 이동·퇴적되었음이 밝혀졌다. 조립질 퇴적물은 사주에 퇴적되지만, 일부는 북수로를 따라 썰물때 다시 만 밖으로 나가는 것으로 퇴적물이동벡터모델이나 퇴적물 실제이동방향의 관찰 모두에서 증명되었다. 따라서 북수로 및 북동쪽 뱃길모래지역은 만 밖에서 운반된 부유퇴적물과 조립퇴적물이 동시에 퇴적되는 지역이며, 지역적으로 조립질과 세립질의 분리퇴적현상이 때때로 관찰되기도 하는 수리역학적 퇴적물 혼합지역이다. 사주의 육지이동과 북수로 발달현상은 조립퇴적물이 만 밖이나 만 입구 등 근원지(장안퇴를 포함한 사퇴)로부터 더 많이 유입되었거나 혹은 상대적 해수면의 상승의 결과로 보인다.

Two-dimensional trend-vector model of sediment transport is first tested in the tidal flat of Garolim Bay, mid-western coast of the Korean Peninsula. Three major parameters of surface sediment, *i.e.*, mean grain size, sorting and skewness, are used for defining the best-fitting transport trend-vector on the sand ridge and muddy sand flat. These trend vectors are compared with the real transport directions determined from morphology, field observation and bedforms. The 15 possible cases of trend vectors are calculated from total sediments. In order to find the role of coarse sediments, trend vectors from sediments coarser than  $< 4.5 \phi$  (sand size) are separately calculated from those of total sediments. As compared with the real directions, the best-fitting transport-vector model is the "case M" of coarse sediments which is the combined trend vectors of two cases: (1) finer, better sorted and more negatively skewed and (2) coarser, better sorted and more positively skewed. This indicates sand-size grains are formed by simpler hydrodynamic processes than total sediments. Transported sediment grains are better sorted than the source sediment grains. This indicates that consistent hydrodynamic energy can make sediment grains better sorted, regardless of complicated mechanisms of sediment transport. Consequently, both transported vector model and real transported direction show that the source of sediments are located outside of bay (offshore Yellow Sea) and in the baymouth. These source sediments are transported through the East Main Tidal Channel adjacent the baymouth. Some are transported from the subtidal zone

to the upper tidal flat, but others are transported farther to the south, reaching the south tidal channel in the study area. Also, coarse sediment grains on the sand ridge are originally from the baymouth, and transported through the subtidal zone to the south tidal channel. These coarse sediments are moved to the northeast, but could not pass the small north tidal channel. It is interpreted that the great amount of coarse sediments is returned back to the outside of the bay (Yellow Sea) again through the baymouth during the ebb tide. The distribution of muddy sand in the northeastern part of study area may result from the mixing of two sediment transport mechanisms, *i.e.*, suspension and bedload processes. The landward movement of sand ridge and the formation of the north tidal channel are formed either by the supply of coarse sediments originating from the baymouth and outside of the bay (subaqueous sand ridges including Jang-An-Tae) or by the recent relative sea-level rise.

## 서 론

표층퇴적물의 입도특성(평균입도, 분급도 및 왜도) 또는 공간적인 입도특성의 변화는 근원지 퇴적물의 구성과 퇴적물 이동과정의 결과에 의해 나타나게 된다(Swift *et al.*, 1972). 즉 입도 분포경향은 퇴적물 이동현상을 밝히는데 중요하여, 많은 연구자들은 퇴적물 이동과정의 결과를 반영하는 퇴적물의 입도특성을 이용하여 퇴적물의 이동방향을 찾고자 노력하였다(Pettijohn *et al.*, 1972; McCave, 1978; Lanckneus *et al.*, 1992). 특히 McLaren and Bowles(1985)는 퇴적물의 입도특성을 이용하여 일차원적인 퇴적물 이동방향을 구하는 방법에 대해 수조실험을 통해 이론을 제시하였고 이를 바탕으로 여러 현장의 검증결과를 발표하였다. 그 이후 Gao and Collins(1992)는 McLaren and Bowles(1985)의 모델을 발전시켜 이차원(평면)적인 퇴적물의 이동방향을 나타내는 방법을 제안하였으며, 중국 양푸만과 신잉만 조간대(Gao and Collins, 1992) 그리고 북해 벨기에 대륙붕지역의 사퇴퇴적물(Gao *et al.*, 1994) 지역에서는 퇴적물 실제이동방향과 퇴적물의 입도특성을 이용하여 구한 퇴적물의 이동방향과의 차이를 비교연구하였다.

이러한 연구방법을 적용시키기에 좋은 지역은 퇴적물이 한 방향으로 이동하며, 퇴적물의 공급원이 다양하지 않고, 침식률과 집적률이 같아 퇴적물의 변화가 없으며 지형적인 굴곡이 적은 곳이다. 이러한 지역적인 제한성 때문에 기존의 연구들은 주로 강이나 수조실험에서 그 모델이 정립되었지만(McLaren, 1981; McLaren and Bowles, 1985; Roux, 1994), 최근에는 왕복성의 조류운동이 일어나는 조간대, 만, 대륙붕지역에서 점차 적용·시도되고 있다(Gao and Collins, 1992; Gao *et al.*, 1994). Shin *et al.*, (1995)은 서해안지역에서 이 방법에 따라 가로림만 조간대내에서 전형적인 두 지역을 선정하여 McLaren과 Bowles(1985)의 일차원적 모델을 적용한 연구결과를 발표하였으며, McLaren and Bowles(1985)와 달리 2 개월 간격의 계절별 변화까지 파악하여 이 방법의 신뢰도를 더 뚜렷이 증명하였다.

본 연구의 목적은 Gao *et al.*(1994)의 이차원적인 퇴적물 이동방향 계산방법을 이용하여, 가로림만 조간대의 표층퇴적물의 입도조직변수에 따른 퇴적물의 이동방향을 구한 후, 이들 방향과 퇴적물의 실제이동방향의 차이를 비교하여, Gao and Collins(1992)가 제안한 방법이 퇴적물의 이동방향을 지시할 수 있는 신빙성있는 방법인가를 검증하는 것이다. 더불어 이 방법에 의한 퇴적물 이동방향의 결과를 기초로 가로림만 조간대의 퇴적

물의 근원 및 이동과정을 밝히고자 한다.

## 지형 특징 및 표층퇴적물의 분포

### 가로림만

충청남도 태안반도에 위치한 가로림만은 육지쪽으로 깊숙이 만입된 반 폐쇄형 만으로 폭 약 8 km, 길이 약 20 km이며 남북 방향으로 발달하여 있다(Fig. 1). 가로림만의 표층퇴적물 분포는 주수로를 제외하면 대부분이 빨로 구성되어 있다(Shin *et al.*, 1995). 만 입구에서 측정된 평균조차는 4.7 m로 대조차 환경에 속한다. 최대 조류속도는 창조시 1.4 m/s 낙조시 1.1 m/s이며 만 내부로 갈수록 조류 속도는 점차 작아진다. 만 입구에서의 최대 유의파고 및 주기는 각각 4.5 m와 8.2 s이다(Song *et al.*, 1983; 염기대, 1993). 수심은 만 입구 주수리가 20 m 이상으로 가장 깊으며 육지쪽으로 가며 급격히 감소한다. 만 입구의 해저지형은 남북방향으로 지나가는 두 개의 주수로(동주수로와 서주수로)로 구분되며, 대부분 해류의 흐름이 창조시 동주수로로 들어와서 낙조시 서주수로로 나가는 시계방향의 회전을 한다(Huh, 1981). 가로림만은 만으로 유입되는 강이나 하천은 거의 없으므로 해안침식에 의한 소규모 현지성 공급을 제외하고는 육상기원퇴적물의 유입이 거의 없어(Han, 1982) 대부분의 퇴적물은 만 밖(황해)으로 부터 공급되는 것으로 보인다. 이러한 특징은 퇴적물의 근원지가 단순하기 때문에 퇴적물의 근원지 및 이동양상을 연구하는데 매우 효과적이다.

### 황금만 조간대

본 논문의 연구지역은 가로림만 입구의 동쪽에 위치한 동서로 길이 약 4 km, 남북으로 폭 약 1.5 km인 작은 내만이다(Fig. 1). 이 지역은 낙조시 모두 대기에 노출되고 창조시 물속에 잠기는 조간대지역이다. 가로림만내에 이런 소만이 형성된 것은 그 주변 지형구조로 인한 것이며 여기서 이 작은 내만의 명칭을 가까이 있는 황금산의 이름을 따서 황금만이라 칭하였다. 황금만의 개략적인 표층퇴적물 분포는 수로 및 저조선에 빨질모래, 중부조간대에 모래 및 약간의 자갈이 섞인 모래, 그리고 상부조간대는 빨질모래로 구성되어 있는 전형적인 조간대의 특징을 보여주고 있다(Fig. 2). 연구지역의 삼차원적인 지형특징은 Fig. 3에서 보여준다. 우리나라 서해안의 대부분 조간대도 이런 특징을 지니고 있다(유, 1990; 장 등, 1993, 1996). 이번 연구를 위해 표층퇴적물이 채취된 곳은 사주를 포함하여 넓이 약  $2 \times 1.5 \text{ km}^2$

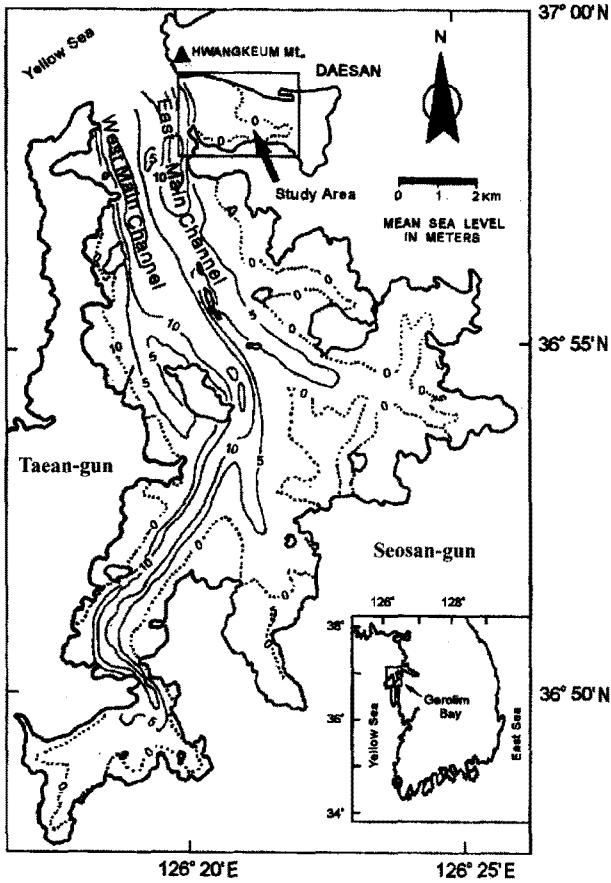


Fig. 1. Bathymetry of Garolim Bay. The studied small embayment is located in the northeastern corner of Garolim Bay adjacent to the baymouth. The mouth of Garolim Bay has two main tidal channels: East Main Channel and West Main Channel.

의 하부조간대에서 중부조간대 하부지역이다(Figs. 2, 3).

조사지역의 지형적인 특징으로는 중앙부에 길이 약 800 m의 반원형의 사주가 발달되어 있으며(Fig. 2), 폭 10~20 m 정도의 하류사면을 제외하고 나머지는 대부분 상류사면에 해당한다. 내만의 북쪽해안과 남쪽해안을 따라 동서 방향으로 길이 1.5 m 정도의 작은 수로가 형성되어 있는데 이들 조수로는 동쪽으로 가며 점차 사라진다. 여기서 북쪽해안에 발달한 수로를 북수로, 남쪽해안에 발달한 수로를 남수로라고 명하였다(Figs. 2, 3). Line-D를 따라 측정된 지형높이의 변화(Fig. 3)는 북수로가 지나 는 지역을 제외하고는 저조선에서 상부조간대로 가며 점차 높아진다. 연구지역의 표층퇴적물을 좀 더 구체적으로 보면 북쪽 해변은 대부분 지름 5 cm 내외의 자갈로 구성되어 있고 이런 자갈들이 북수로까지 확산되어 빨질 모래퇴적물이 이들 사이에 충전되어 있다. 이 북수로의 형성은 사주의 지형과 밀접한 관계가 있으며, 사주의 경계가 희미하게 사라지는 북동지역에는 북수로의 크기나 자갈의 양도 점차 줄어든다. 자갈의 구성성분은 편마암, 편암 및 규암으로서 황금산과 그 주변 육지의 암석 구성성분과 동일하다. 따라서 이 자갈은 바로 해변과 접한 가파른 자갈 퇴적층에서 겨울폭풍이나 태풍시 떨어져 나온 것으로 보인다. 만 입구에서 연결되는 주수로인 동주수로의 동쪽 경계는

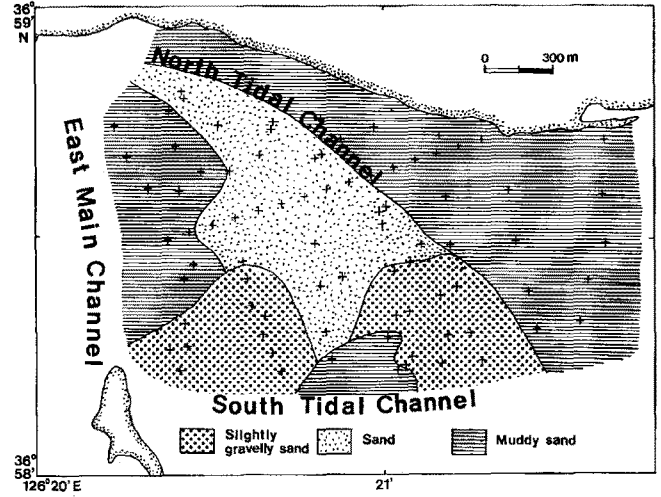


Fig. 2. Distribution of the surface sediments of the study area. The central part is a sand ridge containing sand to slightly gravelly sand. On the other hand, the northern part, the west (baymouth side), and part of the south consist of muddy sand. Notice that two channels, north tidal channel and south tidal channel. Cross indicates sampling sites.

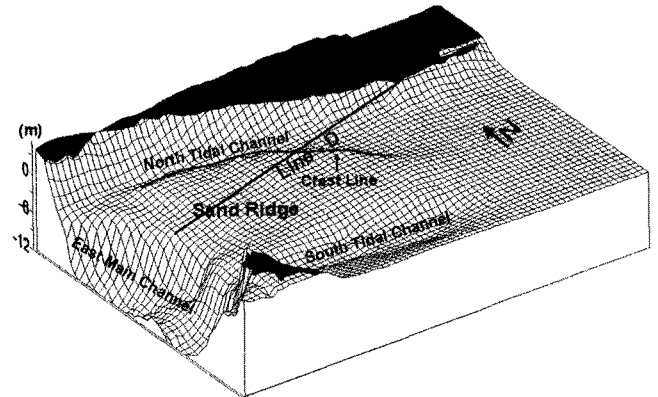


Fig. 3. Three-dimensional morphology of study area. Two tidal channels are located to the north and south of a sand ridge.

황금만의 입구이면서 저조선에 해당된다(Figs. 2, 3). 연구지역은 가로림만 입구와 바로 연결되는 위치 때문에 만 입구에 분포된 조립질퇴적물의 유입이 가능하여 사주가 형성된 것으로 보고 있다. 사주지역은 95% 이상 모래로 구성되어 있지만, 저조선 하부조간대, 북동쪽과 동쪽의 상부조간대 지역은 모래질 빨 또는 빨로 대부분 구성되어 있으며 남수로에는 자갈이 약간 섞인 모래로 되어 있다.

### 야외조사 및 실험

#### 표층퇴적물 채취 및 실험

표층퇴적물은 1995년 8월에 81 개 정점에서 가능한 격자간격으로 채취하였으며(Fig. 2), 시료채취 시 깊이가 1 cm를 넘지 않도록 최상부 표층만의 퇴적물을 채취하도록 조심스럽게 실시하였다. 이런 채취법은 대기 노출이 가능한 조간대지역에서 가능하며 Gao and Collins(1992)와 Gao et al.(1994)가 실시한 그랩샘

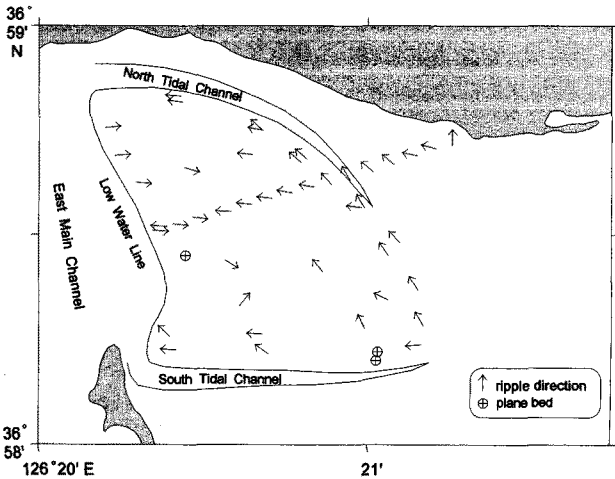


Fig. 4. The direction of residual ripples measured during the ebb tide, probably indicating the late-stage transportation direction of surface sediments.

플링 방법보다 표층퇴적물을 더욱 정확히 채취할 수 있는 방법으로 입도이동에 대한 시간폭이 더 작다. 입도분석은 실험실에서 유기물과 탄산염을 각각 염산과 과산화수소수를 이용하여 제거한 후, 4 φ 이상 세립시료는 Sedigraph 5000D를 이용하였고, 4 φ 이하 조립시료는 0.5 φ 간격으로 건식체질을 실시하였다. 퇴적물 입도의 조직변수는 통계처리 방법을 이용하였다.

**지형측량**

조사지역의 정확한 지형 및 시료 채취지점의 높이를 알기 위하여 수준측량을 실시하였다. 높이는 인천 평균해수면을 기준으로 계산하였으며 이때 이용한 기준점은 농업진흥공사(1989)에서 시행한 89-40을 기준으로 하였다. 또한 정확한 지형복원을 위하여 연구지역의 수심측량자료(농업진흥공사, 1989)를 추가로 이용하였다. 이 지형측량으로 복원된 삼차원 지형도는 Fig. 3에 나타나 있다.

**층면형태: 연흔**

조간대상의 46개 지점에서 각 지점마다 대표적인 연흔 10 개를 선정하여 각각의 상류사면과 하류사면의 길이 및 높이를 측정하였다. 연흔의 발달방향은 자북을 고려하여 나침반을 이용하여 측정하였으며 자북은 보정하였다. 각 조사 점점의 위치와 표고 측정은 광과거리 측정기(Geodimeter 220)를 사용하였다. 측정된 연흔의 방향 및 특징은 Fig. 4에 나타나 있다.

**퇴적물 이동방향 분석**

**기초이론**

퇴적물의 입도와 수리역학과의 관계는 아직까지 정확히 알려지지 않았지만, 퇴적물 이동과정과 근원지의 퇴적물입도는 이동된 입도 조직변수에 영향을 준다(McLaren, 1981). 이러한 퇴적물 이동방향과 퇴적물 입도 조직변수와의 관계를 이용하여 퇴적물 이동경로를 구하는 기본방법은 다음과 같이 McLaren and Bowles

(1985)의 모델에 의한다. 즉 어떤 지역에서 기준지점과 이웃지점사이의 퇴적물 변수(평균입도, 분급도, 왜도)를 비교하면 이론상으로는 모두 8 가지 경우가 발생한다. 이 8 가지 경우는 아래와 같다.

- (1) 경우(C, B, +): 퇴적물 평균입도가 조립해지고(coarser: C), 분급이 좋아지며(better sorted: B), 왜도가 증가하는 경우(more positively skewed: +).
- (2) 경우(F, B, -): 퇴적물 평균입도가 세립해지고(finier: F), 분급은 좋아지며(B), 왜도가 감소하는 경우(more negatively skewed: -).
- (3) 경우(C, B, -): 퇴적물 평균입도가 조립해지고(C), 분급이 좋아지며(B), 왜도가 감소하는 경우(-).
- (4) 경우(F, B, +): 퇴적물 평균입도가 세립해지고(F), 분급은 좋아지며(B), 왜도가 증가하는 경우(+).
- (5) 경우(C, P, +): 퇴적물 평균입도가 조립해지고(C), 분급은 나빠지며(more poorly sorted: P), 왜도가 증가하는 경우(+).
- (6) 경우(F, P, -): 퇴적물 평균입도가 세립해지고(F), 분급은 나빠지며(P), 왜도가 감소하는 경우(-).
- (7) 경우(C, P, -): 퇴적물 평균입도가 조립해지고(C), 분급은 나빠지며(P), 왜도가 감소하는 경우(-).
- (8) 경우(F, P, +): 퇴적물 평균입도가 세립해지고(F), 분급은 나빠지며(P), 왜도가 증가하는 경우(+)

이들 8가지 경우에서 기준지점에서 이웃지점으로 퇴적물이 이동했을 때 실제로 나타나는 경우는 경우 1(C, B, +) 또는 경우 2(F, B, -)로서 각각의 확률은 1/8(=0.125)이다. 즉 이들 두 경우만 순수 퇴적물이동에 의한 결과로 본다(McLaren and Bowles, 1985). Gao and Collins(1992)은 위의 두 경우를 조합하여 새로운 퇴적물 이동벡터를 만들었다. 이 새로운 퇴적물 이동벡터를 본 연구에서는 M 경우라고 구분한다(Table 1).

**이동벡터 원리**

이동벡터 원리를 적용하기 위해서는 원칙적으로 퇴적물의 채

Table 1. Possible cases, using three grain-size parameters, i.e., mean grain size ( $\mu$ ), sorting ( $\sigma$ ), skewness ( $S_k$ )

Group	Case	Grain-size parameters	Definition
I	I-1	B	$\sigma_A \gg \sigma_B$
	I-2	P	$\sigma_A \gg \sigma_B$
II	II-1	C, B	$\mu_A \gg \mu_B$ and $\sigma_A \gg \sigma_B$
	II-2	F, B	$\mu_A \gg \mu_B$ and $\sigma_A \gg \sigma_B$
	II-3	C, P	$\mu_A \gg \mu_B$ and $\sigma_A \gg \sigma_B$
	II-4	F, P	$\mu_A \gg \mu_B$ and $\sigma_A \gg \sigma_B$
III	III-1	C, B, +	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-2	F, B, -	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-3	C, B, -	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-4	F, B, +	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-5	C, P, +	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-6	F, P, -	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-7	C, P, -	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
	III-8	F, P, +	$\mu_A \gg \mu_B$ , $\sigma_A \gg \sigma_B$ and $S_{k,A} \ll S_{k,B}$
M			Case III-1 or Case III-2

C=coarser, B=better sorted, +=positive skewed, F=finier, P=poor sorted, -=negative skewed

취는 정확히 격자간격으로 실시해야 하나 그렇지 못한 경우는 보간법(interpolation)과정을 거쳐 격자간격의 정점에서 평균입도, 분급도, 왜도를 계산한다. 이 격자간격의 거리를 특성거리(characteristic distance; Dcr)라 하고 Dcr보다 먼거리의 정점은 이동벡터(transport vector)를 구하는데서 제외한다. 한개의 기준정점을 선정 후 그 기준정점에서 Dcr 안에 포함되어 있는 모든 정점의 퇴적물 입도 변수와 기준점의 입도 변수를 비교하여 (1) C, B, +(III-1 경우) 또는 (2) F, B, -(III-2 경우)가 성립되는 경우에 한하여 경향벡터(trend vector)를 구하고 그 이외의 경우는 경향벡터는 존재하지 않는 것으로 한다. 이때 벡터의 방향은 분급도 값이 높은 정점에서 낮은 정점으로 즉 분급도가 좋아지는 정점으로 방향이 정하여진다. 벡터의 길이는 편의상 단위길이라 하며 기준정점에서 단일벡터(single vector)를 만들기 위해 이들 경향벡터들은 다음 식에 의해 합해진다.

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y)_i \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 어떤 정점의 경향벡터의 수이고  $\vec{r}(x, y)_i$ 는 경향벡터이므로  $\vec{R}(x, y)$ 는 경향벡터의 합이다. 각 정점에서 단일벡터를 정하고 나서 다음 과정을 밟는다. 모든 과정이 끝나면 실제 퇴적물이 이동하지 않았음에도 불구하고 나타날 수 있는 잡벡터의 제거 내지 축소작업이 필요하다. 여기서 비록 잡벡터의 양이 식 (1)에 의해 합해지는 과정에서 이미 감소되었다하더라도 퇴적물 실제이동경향(transport trend)과 잡벡터 둘다  $\vec{R}(x, y)$ 에 포함되어 있다. 각 정점에서 잡벡터를 제거하기 위해서는 평균화작업이 적용된다. 여기서 잡벡터의 다양한 요소는 일정한 경향을 보이지 않는다고 가정한다. 평균화과정은 다음 수식에 의한다.

$$\vec{R}_{av}(x, y) = \frac{1}{k+1} [\vec{R}(x, y) + \sum_1^k \vec{R}_i] \quad (2)$$

여기서  $\vec{R}_i$ 는 식 (1)에 의해 얻어진 Dcr 안에 포함된 이웃 정점의 단일벡터(single vector)이고  $k$ 는 이웃정점의 총수이다. 벡터  $\vec{R}_{av}(x, y)$ 는 이동벡터(transport vector)로 정의된다. 이러한 과정을 통해 각 격자정점의 이동벡터들은 잡벡터의 영향이 거의 제거된 잔류경향(residual pattern)을 만든다. 만약 잔류경향이 이동벡터의 배열에서 일정한 경향을 나타낸다면 이들은 퇴적물의 순수이동경로를 갖는 것이 확실하며 이들은 퇴적물의 순수 이동방향을 지시하게 된다.

**퇴적물 이동의 15사례**

퇴적물 이동경로를 대표하는 퇴적물 이동경향은 그 이동방향으로 나타나는 빈도수가 다른 방향이나 반대 방향으로 이동할 가능성보다 훨씬 더 높아야한다는 것이 통계적인 의미이다. 퇴적물 이동방향을 구할 때 이용되는 입도조직변수가  $n$  개일 때 두 지점 사이에 나타날 수 있는 경우의 수는  $2^n$  개다. 본 연구에서 이용한 입도조직변수는 3 개(평균입도, 분급도 및 왜도)이므로 두 지점 사이의 이들 세 변수를 조합하여 나타날 수 있는 경우는 기초이론에서 언급했듯이 모두 8 가지의 경우(III-1~III-8)가 가능하고, 단순히 분급도만 비교한 경우는 두 가지 경우

**Table 2.** Average angle difference between the observed sediment transport direction and the direction derived from grain size trends (Angles in parentheses are the average angle differences in the area excluding stations affected by the edge effect)

Case	Grain-size parameters	Average angle differences	
		Total sediment	Sediment coarser than 4.5 $\phi$
I-1	B	58° ( 46°)	39° ( 37°)
I-2	P	108° (130°)	112° (137°)
II-1	C, B	58° ( 49°)	68° ( 76°)
II-2	F, B	39° ( 33°)	56° ( 49°)
II-3	C, P	127° (139°)	98° (115°)
II-4	F, P	102° (120°)	107° (108°)
III-1	C, B, +	95° (119°)	78° ( 95°)
III-2	F, B, -	48° ( 26°)	90° (101°)
III-3	C, B, -	117° (131°)	102° (129°)
III-4	F, B, +	83° ( 78°)	90° ( 85°)
III-5	C, P, +	140° (150°)	77° ( 78°)
III-6	F, P, -	81° ( 75°)	97° (109°)
III-7	C, P, -	40° ( 55°)	96° (111°)
III-8	F, P, +	46° ( 38°)	69° ( 52°)
M		78° ( 93°)	28° ( 19°)

C=coarser, B=better sorted, +=positive skewed, F=finer, P=poor sorted, -=negative skewed

(I-1과 I-2), 그리고 평균입도와 분급도만을 비교했을 경우는 네 가지 경우(II-1~II-4)가 나타난다(Table 1). 또한 이들의 경우를 조합해서 새로운 입도경향을 만들 수 있다. 여기서는 퇴적물이 이동했을 때 나타날 수 있는 경향 두 가지(III-1와 III-2)를 조합하여 새로운 경우(M 경우라고 칭함)를 추가로 분석하였다(Table 2; McLaren and Bowles, 1985; Gao and Collins, 1992). 본 연구에서는 퇴적물의 이동방향을 가장 정확히 제시하는 경우(M 경우) 뿐만 아니라 그 외에 퇴적물 입도변수에 따른 모든 경우를 고려하여 퇴적물 이동방향을 구한 후 실제 이동방향과 비교 검증하였다.

**퇴적물의 실제이동방향**

퇴적물의 실제 이동방향을 정확히 측정하는 것은 매우 어려우나 본 연구에서는 퇴적물 실제이동방향을 지형측정, 층면형태(연흔)의 특징(방향, 크기 및 종류), 그리고 여러번의 현장관찰 및 정밀측정에 의해 구하였다.

**지형**

일반적으로 해저지형은 해수의 흐름에 큰 영향을 미치고 궁극적으로 해수의 운동에 의한 퇴적물의 침식, 이동 및 퇴적현상을 반영하므로 퇴적물의 이동현상을 파악할 때 일차적으로 고려해야 할 사항이다. 조사지역의 지형 중 가장 큰 특징은 사주이다. 사주는 서쪽의 저조선에서 상류사면이 시작되며 그 길이는 약 800 m이다. 상류사면은 북동쪽의 정선(crest line)을 향하여 점차 높아지며 최대 높이 차는 약 5 m이다. 정선은 북쪽의 조수로에서 해안선과 평행하게 발달하기 시작하여 연구지역 중앙부에서 높이 2 m로 가장 잘 발달하여 있으며 이후 남동방향

으로 가며 점차 소멸된다. 또한 정선을 따라 폭 10~20 m의 하류사면이 발달하였다. 이 사주의 수직단면도는 썩기형태로 진동시추퇴적물에서 확인한 결과 서쪽의 저조선에서는 두께가 20 cm 이하로 매우 얇으나 정선을 향하며 점차 두꺼워져서 최대 1.5 m에 이른다(신, 1998). 그리고 사주 하부에는 빨질 퇴적물이 수 m 이상 두껍게 쌓여 있다. 이러한 사주의 형태와 주변의 퇴적물 분포를 고려할 때 사주를 구성하는 모래는 저조선 서쪽에 위치한 주수로 또는 남쪽의 조수로에서 공급되며 이들 모래퇴적물은 북서방향의 바람에 의한 파랑 또는 조류에 의해 동쪽으로 계속 이동되고 있는 것으로 생각된다. 이러한 사주의 지형적인 특징은 사주를 형성하는 조립질 퇴적물이 만 입구에서 저조선 동주수로를 통하여 연구지역의 작은 수로로 공급되고 있는 것을 나타내며 이 퇴적물의 공급은 북쪽의 작은 조수로를 지나지 못하고 대부분 조수로를 따라 낙조시 다시 만 밖으로 나가는 것으로 해석된다.

### 층면형태: 연흔

연흔의 발달방향은 최대 유속의 방향 또는 퇴적물의 이동방향을 간접적으로 지시한다. 조사지역 층면형태중 연흔의 발달방향은 서쪽의 저조선에서는 동쪽방향으로 그리고 남쪽의 조수로와 대부분의 지역에서는 북서 방향으로 발달하였다(Fig. 4). 저조선지역의 일부는 낙조시에도 연흔의 방향이 육지 쪽이지만 대부분의 지역은 낙조시 연흔의 방향이 낙조의 흐름방향으로 향한다. 이는 연구지역 조간대 표층 위 10 cm에서 측정된 해류자료에서도 낙조시 유속이 높은 낙조우세환경임을 보여준다(Fig. 5). 남수로가 사라지는 남동쪽에서는 연흔의 발달방향이 복잡해진다. 이 지역은 퇴적물이 가장 조립하고(평균입도 2  $\phi$ ), 상부평면층(upper plane bed)이 나타나는 것으로 보아 조류가 가장 강하게 흐르는 곳을 알 수 있다. 또한 연흔의 발달방향이 북쪽 또는 북서쪽인 것으로 보아 낙조시 퇴적물의 이동방향이 남수로가 끝나는 이곳에서 북서 방향으로 퇴적물의 이동이 시작되는 것으로 보인다. 또한 사주의 정선(crest line)을 따라서 거의 북서방향으로 북수로와 평행하게 발달한 연흔은 사주의 지형적인 특징과 관련된다. 반시계방향성은 북반구에서 rectilinear tidal currents와 관계되는데(Zimmerman, 1981), 사주가 형성되던 초기에 이런 반시계성 조류의 성질때문에 사주가 현재의 모습으로 형성된 것으로 보인다. 사주의 상부사면에 있는 연흔은 사면을 따라서 낙조시 나간 흔적이 있다. 조사지역의 연흔 발달의 특징의 하나는 하류사면 및 정부(crest)지역에서는 규모가 큰 북서방향의 초생달꼴 거연흔(lunate megaripple)이 나타나는 것이다(Fig. 6b). 이 초생달꼴 거연흔은 소연흔(small ripple)에 비해 유속이 강한 지역에서 생기는 것으로(Reineck and Singh, 1980), 사주 정부 및 하류사면 지역이 다른 지역에 비해 유속이 강하게 흐르는 것을 알 수 있다. 또한 초생달꼴 거연흔이 나타나는 지역은 사주의 발달이 끝나는 곳으로, 이곳은 수로 또는 하류사면을 따라 북서쪽 방향으로 흐르는 강한 조류의 영향으로 사주의 발달이 더 이상 육지쪽으로 진행하지 못하는 경계지역이다. Figs. 6a, 6b는 낙조시에 관찰된 층면형태 및 지형변화를 보여주는 현장 모습이다. Fig. 6a는 전형적인 평행연흔을 보여주는데 조류방향은 서쪽이며 사진내의 화살은 북쪽을

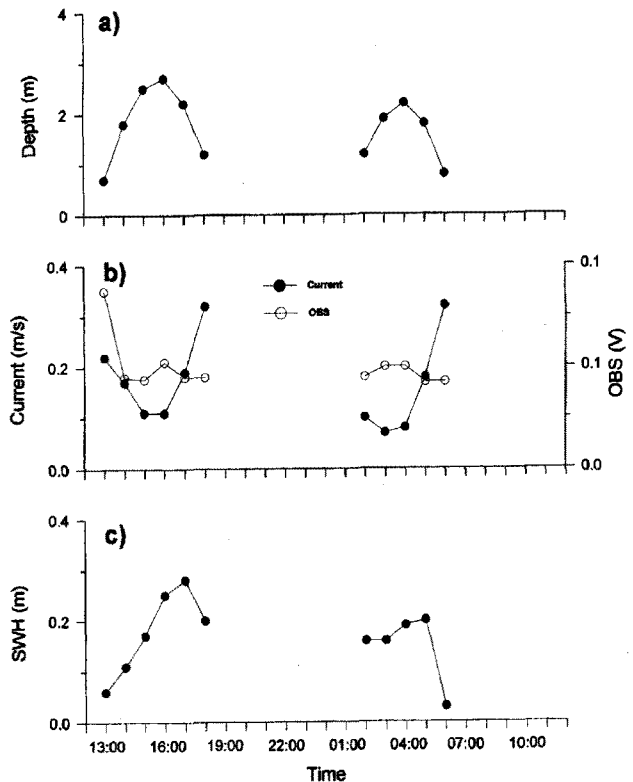
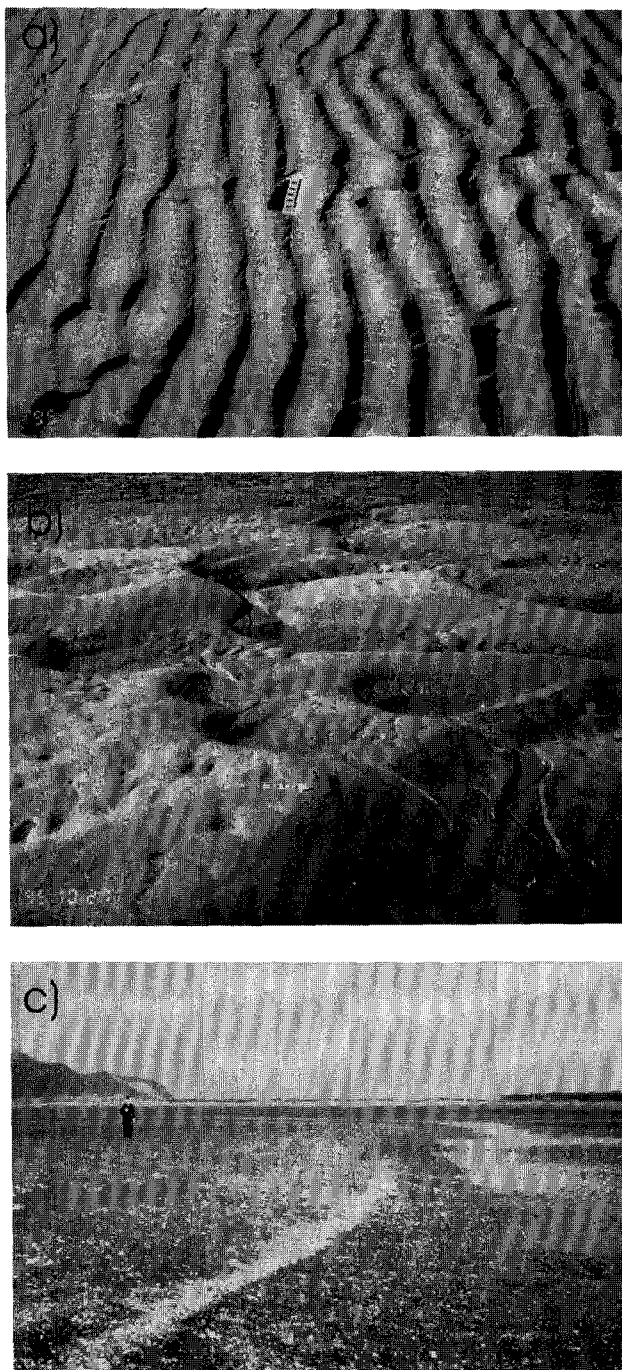


Fig. 5. The measurements of (a) water depth, (b) tidal current and (optical back scatter) (OBS), and (c) (significant wave height) (SWH) on Station D7 from February 13th, 1995 at 13:00 to February 14th, 1995 at 11:00. The data could not be recorded from February 13th, 1995 at 19:00 to February 14th, 1995 at 01:00 due to the aerial exposure of Station D7.

가리킨다. Fig. 6b는 사주의 하부사면에 발달한 초생달꼴 거연흔을 보여주며 사진내 화살표시 역시 북쪽을 가리킨다. 거연흔 형성시의 조류는 북서쪽으로 흘렀으며, 거연흔의 상부사면과 하부사면의 경계에서는 거의 북쪽방향으로 해류가 흘렀다는 것을 보여주는 소연흔이 발달되어 있는데(Fig. 6b), 이런 두 방향성을 보이는 해류의 움직임은 거연흔을 형성한 해류가 주조류의 움직임이며 거연흔이 형성된 후 낙조의 마지막 단계에서 거연흔의 지형적인 특성에 의해 지배를 받는 조류가 소연흔을 형성한다고 판단된다.

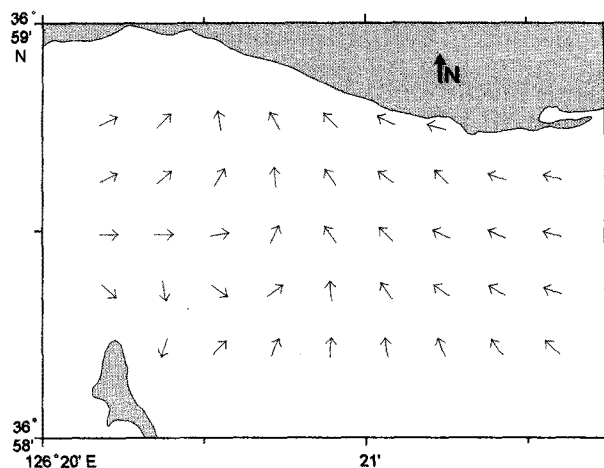
### 사주이동

연구지역의 퇴적물 변화는 월평균 약 2 cm로 이들 퇴적물들이 매우 활발히 이동되고 있음을 보여주며(Shin et al., 1995), 현장관찰 결과 사주지역 퇴적물의 이동을 지시하는 층면형태의 변화를 여러 지역에서 관찰할 수 있었다. Fig. 6c는 1995년 4월에 찍은 사주 남동쪽의 현장모습으로 사주조간대와 빨질모래조간대가 만나는 경계부분이며, 사진배경으로 멀리 보이는 육지가 북쪽해안이다. 사주의 경계는 입도변화 및 사주높이의 완만한 감소에 의해 확인되지만, 특히 조개껍질들이 쌓여 그 경계를 뚜렷하게 하는 것이 특징이다. 사진내 서 있는 사람의 위치는 사주와 빨질모래지역과의 경계가 1994년 12월에 위치했



**Fig. 6.** Photographs of sedimentary structures on the study area. (a) Small current ripples on the sand ridge. Flow is from right to left. Scale bar is 10 cm in length. (b) Lunate megaripples on the lee side of the sand ridge. The lunate ripples are formed at higher velocity than order-type ripples. (c) Sediment moving during four months (December, 1994 to April, 1995). White boundary was transported about 10 m toward the northeast. The location of standing man was the white boundary in December, 1994.

던 곳이다. 즉 4 개월 동안에 사주가 약 10 m 북동쪽, 즉 내만으로 이동하였음을 보여준다. 따라서 사주가 한 달에 평균 2.5 m 씩, 하루에 평균 8.3 cm의 이동 했음을 의미한다. 조개껍질의 쌓



**Fig. 7.** Expected real direction of sediment transport on the basis of the field observation of morphology and the measurement of ripple direction and elevation.

임은 해류의 에너지가 급격히 감소하는 곳에 집적되는 현상에 의한 것으로 이곳이 바로 사주의 경계로서 조개껍질을 포함한 조립퇴적물이 더 이상 전진하지 못하는 수리에너지의 경계점으로 생각된다. 이 사주의 경계이동은 주로 북동쪽으로 정선(crest line) 또는 육지쪽을 향하고 있다. 특히 사주의 정선부근에서는 퇴적률의 변화가 매우 심하다(최대 월평균 20 cm). 이는 동주수로를 통하여(Figs. 1, 2) 저조선 또는 남수로에서 사주정선쪽으로 퇴적물이 계속적으로 공급되지만 퇴적물이 북수로에 이르러 더 이상 이동하지 못하고 점차 높이 쌓이다가 대조 또는 태풍과 같은 강한 에너지가 발생했을 때 일시적으로 많은 양이 침식을 받는 현상이 반복되는데에 기인한다. 또한 북동쪽 뺨질모래지역(Fig. 2)의 연흔발달 방향이 북서방향으로 나타나는 바(Fig. 4), 이 지역의 퇴적물의 순수한 실제이동방향은 사주와 바로 인접한 북수로를 따라 주로 만 바깥쪽으로 이동하는 것으로 해석된다.

위의 사항을 종합적으로 고려할 때 사주지역의 조립질퇴적물은 창조시 서쪽의 동주수로의 저조선에서 상부조간대로 공급되거나 또는 남수로부터 공급되어 사주정상으로 향하면서 주로 동쪽 또는 북동쪽으로 이동되고 있다. 이는 조립질퇴적물이 만 밖이나 만 입구 등 근원지로부터 더 많이 유입되었거나 혹은 상대적으로 해수면 상승과도 관련이 있는 것으로 본다. 조립퇴적물의 유입 증가와 해수면 상승과는 서로 밀접한 관계가 있다. 이들 사주의 조립질퇴적물은 북수로와 만나면서 더이상 전진하지 못한다. 이는 낙조시에 반시계방향으로 돌아가는 강한 조류에 의해 퇴적물이 조수로를 따라 대부분 만 밖으로 이동되며, 동쪽에 위치한 뺨질 모래지역의 퇴적물들은 남쪽의 수로로부터 공급되어 북서 방향으로 점차 이동되는 것으로 판단된다(Fig. 7).

### 이동벡터모델의 적용

#### 입도분석

퇴적물의 이동벡터모델을 적용하기 위해 58 개 정점에서 표층퇴적물을 채취하였고, 퇴적물의 평균입도, 분급도 및 왜도분

포 분석결과를 Fig. 8에 도시하였다. 남쪽 수로의 평균입도는 일부지역을 제외하고 2  $\phi$  이하로 조립하며, 사주의 중앙부는 2~3  $\phi$ 로 세립사가 나타난다(Fig. 8a). 전체적으로는 사주의 중앙부에서 동서 양방향으로 가며 4  $\phi$  이상으로 점차 세립해진다. 분급도는 사주 중앙부가 1.0  $\phi$  이하로 가장 양호하며 동서 양방향으로 가며 2~3  $\phi$ 로 점차 나빠지며(Fig. 8b) 표층퇴적물 분포 역시 사주에서 동서 방향으로 가면서 빨질모래로 입도가 다양해지는 것과 일치한다(Fig. 2). 왜도는 대부분 지역에서 양의 값을 보이며 그 범위는 0~3 정도이다(Fig. 8c). 남수로쪽이 그 값이 낮는데 입도의 전체분포가 조립쪽으로 치우치며 세립질은 일부 소량이 있음을 의미한다. 사주지역은 왜도가 낮아지고 사주의 동서 양방향에 있는 빨질모래는 왜도값이 매우 높게 나타나므로 세립질입도가 차지하는 율이 증가하는 것을 보여 준다.

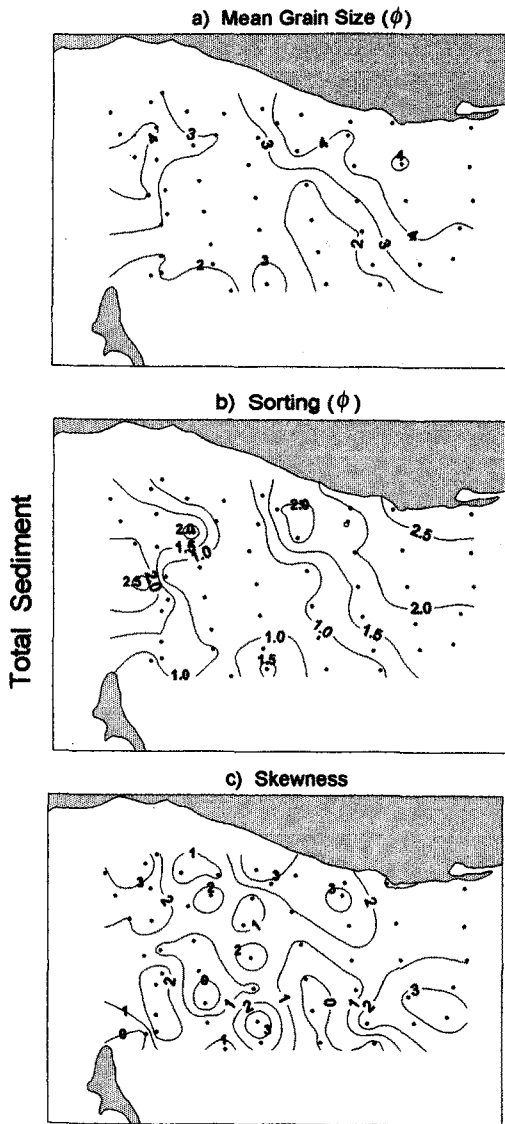


Fig. 8. Distribution of grain-size parameters of the total sediments: (a) mean grain size, (b) sorting and (c) skewness.

이동벡터모델과 실제이동방향의 비교

퇴적물의 입도변수에 의해 퇴적물의 이동방향을 추정할 때 비교하는 인접 두 정점간에는 퇴적물의 침식, 이동, 및 집적과정이 상호 관련성이 있어야 한다. 그러나 빨질모래지역의 퇴적물 중 빨은 대부분 부유상태에서 침전된 퇴적물로 사주지역의 조립질퇴적물 퇴적기작과 매우 다르다. 빨질모래지역의 빨은 퇴적물의 공급 또는 이동과정이 조립질입자와 매우 다르므로 입도변수를 비교할 때 분리분석을 하는 것이 보다 정확한 퇴적물의 이동방향을 이해할 수 있다. 따라서 잔류경향은 전체퇴적물과 4.5  $\phi$ 보다 세립한 퇴적물을 제거한 조립질퇴적물의 2종류로 나누어 실제이동방향과 비교하였다.

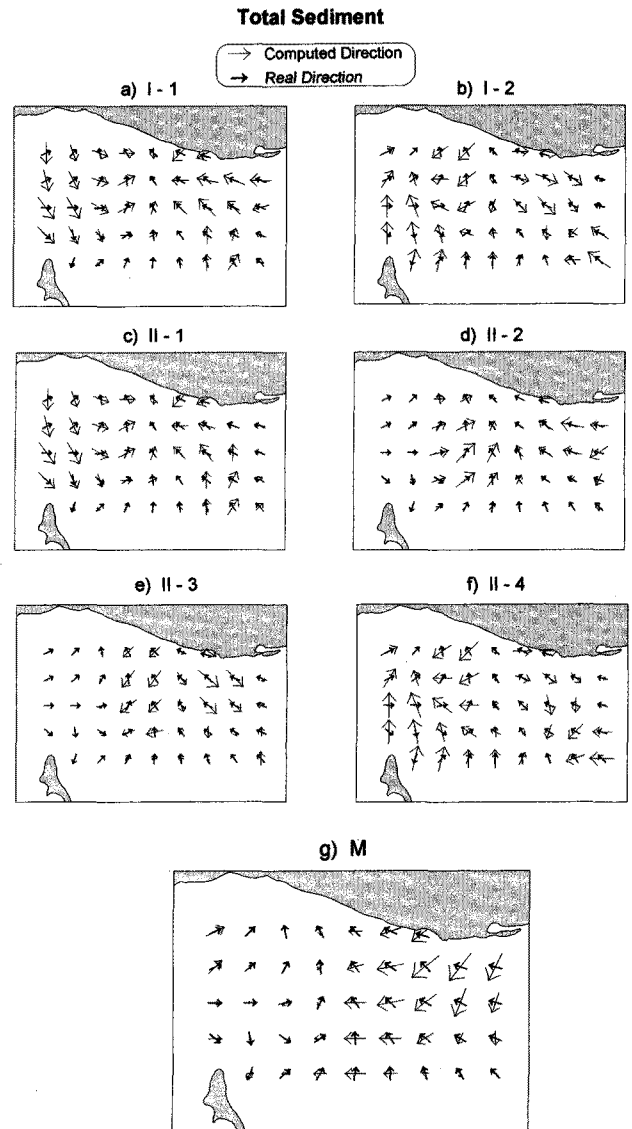


Fig. 9. Real direction and computed direction of sediment transport using the grain-size parameters (mean grain size and sorting) of the total sediments. Grain-size trends from (a) I-1 to (g) M are listed in Table 1. The bold and short arrows are the real direction of sediment transport, while the long arrows are the computed direction.



**전체퇴적물(total sediment)**

전체퇴적물에서 퇴적물의 입도조직변수를 이용하여 계산된 퇴적물의 이동백터와, 지형, 측면형태 및 현장관찰 등을 고려하여 구한 퇴적물의 실제 이동방향과의 비교결과는 경우에 따라 그 차이가 다양하게 나타난다(Figs. 9, 10). 퇴적물의 입도변수 중 단순히 분급도만 비교했을 때 퇴적물의 이동방향으로 분급도가 좋아지는 경우(I-1)가 나빠지는 경우(I-2) 보다 퇴적물의 실제이동방향과 잘 일치하고 있으며(Fig. 9), 각 정점의 평균각도차이는 전자의 경우 58°, 후자의 경우는 108°이다(Table 2). 모서리 영향(edge effect)을 고려한 경우는 전자의 경우 46°, 후자의 경우 130°로 모서리 영향(McLaren and Bowles, 1991)을 고려하지 않은 경우와 그 차이를 보이지 않는다. 이러한 경향은 분급도와 평균입도를 같이 비교한 경우에도 평균입도와는 관계없이 분급도가 좋아지는 경우(II-1, II-2)가 나빠지는 경우(II-3, II-4)보다 잘 일치하고 있다. 퇴적물이 이동했을 경우 분급도가 퇴적물의 이동방향으로 좋아진다는 것은 여러 이론과 수조실험 및 자연

환경에서도 검증되었으며(McLaren, 1981; McLaren and Bowles, 1985; Gao and Collins, 1992), 연구지역인 조간대 역시 이러한 경향은 잘 나타나고 있다. 즉 이들 두 방향의 각도차이는 분급도가 좋아지는 경우는 39°와 58°이나 분급도가 나빠지는 경우는 102°와 127°로 그 차이가 현저하다(Table 2). 여기서도 모서리 영향을 고려한 경우 분급도가 좋아지는 경우는 33°와 49°, 분급도가 나빠지는 경우는 120°와 139°로 모서리 영향을 고려하지 않은 경우와 큰 차이를 보이지 않는다. 분급도, 평균입도 및 왜도의 세가지 변수를 이용하여 퇴적물이동 방향을 구한 경우에는(Fig. 10), III-2, III-7 및 III-8 경우가 실제 이동방향과 잘 일치하며 모서리 영향을 고려한 경우와 하지 않은 경우 모두 그 각도 차이는 50° 미만이다(Table 2). 그러나 이동경향이 나타나는

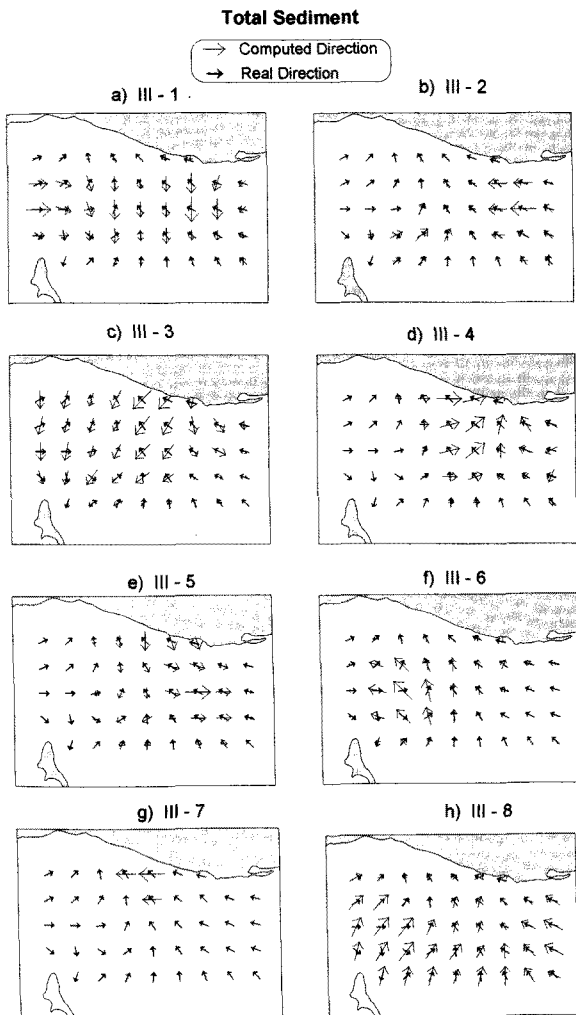


Fig. 10. Real direction and computed direction of sediment transport using the grain-size parameters (mean grain size, sorting, and skewness) of total sediments. Grain-size trends from (a) III-1 to (h) III-8 are listed in Table 1.

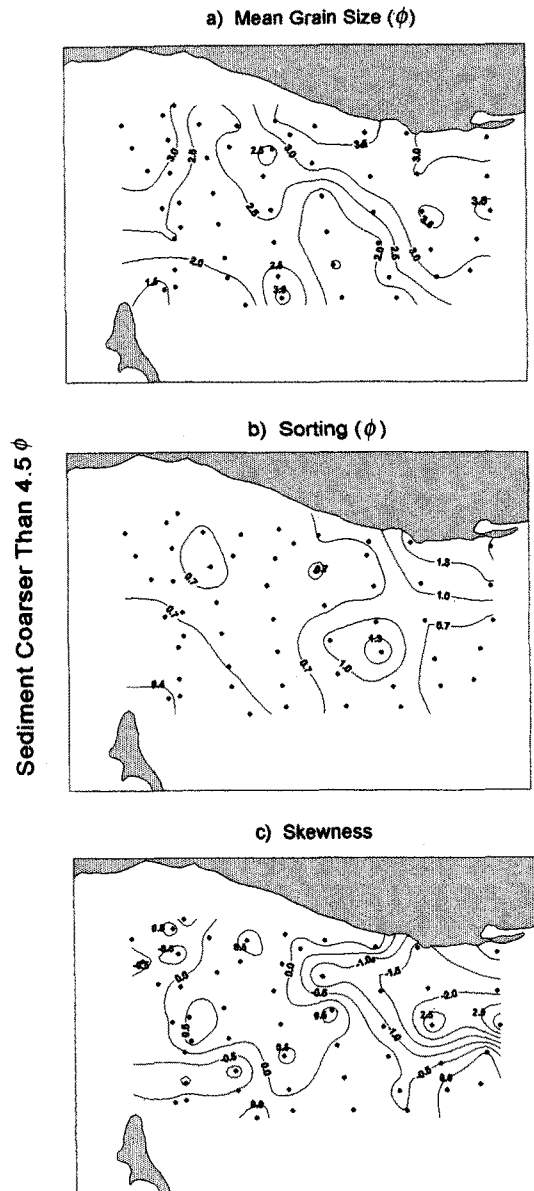


Fig. 11. Distribution of grain-size parameters of coarser sediments than 4.5  $\phi$ : (a) mean grain size, (b) sorting and (c) skewness.

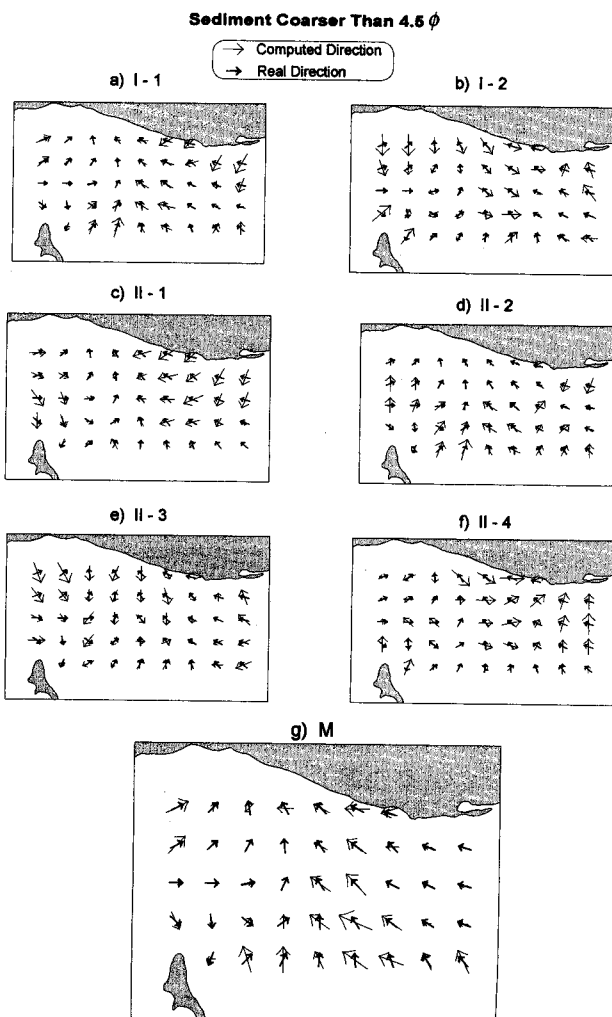
정점이 3 개뿐인 III-7을 제외 시킬 경우 III-2 또는 III-8의 경우가 가장 잘 일치한다. 이들 경우 중 III-2는 F, B, 음의 값(-)으로 빨질 모래지역에서 주로 나타나고 III-8은 F, P, 양의 값(+)의 경우로 전지역에 걸쳐 대체로 일치한다. 이러한 현상은 연구지역의 세립질퇴적물이 만 밖으로부터 부유상태로 운반되어 공급 침전되었기 때문에 조립질의 모래퇴적물의 이동과 같이 혼합되어 퇴적물의 이동방향으로 입도는 세립해지고(F) 왜도는 음의 값(-)을 갖는 III-2의 경우(Fig. 10b)는 빨질모래지역에서 주로 일치함을 알 수 있으며, 그 외의 경우는 퇴적물의 실제이동방향과 일치하지 않는다.

**조립질퇴적물 (< 4.5 φ)**

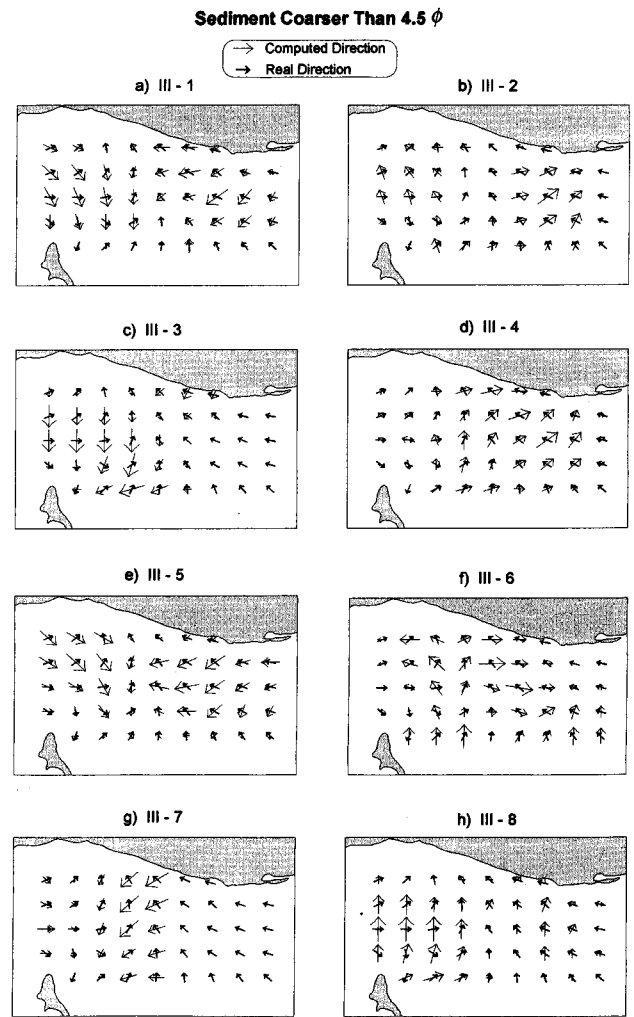
4.5 φ 보다 세립질인 퇴적물을 제거한 나머지 표층퇴적물의 평균입도는 남쪽의 수로가 가장 조립하며 사주의 중앙에서 동서 양방향으로 가며 점차 세립해진다(Fig. 11a). 분급도는 서쪽의 사주지역이 0.7 φ 내외로 1.0 φ의 동쪽지역보다 양호하다

(Fig. 11b). 왜도는 사주 중앙부가 양의 값(+)을 보이나 그 외 지역에서는 대부분 음의 값(-)이 나타난다(Fig. 11c).

전체퇴적물의 경우와 마찬가지로, 분급도가 좋은 쪽으로 퇴적물의 이동 방향을 설정했을 경우(I-1)가 나쁜쪽으로 설정했을 경우(I-2) 보다 실제이동방향과 일치하며(Fig. 12) 그 각도차이는 모서리 영향을 고려하지 않았을 경우는 각각 39°와 112°이며 고려하는 각각 37°와 137°로 그 차이가 현저하다(Table 2). 분급도와 평균입도를 같이 비교한 경우에도 분급도가 좋아지는 경우(II-1, II-2)가 나빠지는 경우(II-3, II-4)보다 실제 이동방향과 잘 일치한다(Table 2). 그러나 분급도, 평균입도 및 왜도를 같이 비교했을 경우(Fig. 13)는 전체퇴적물의 경우보다 퇴적물의 실제이동방향과 잘 일치하는 경우(50° 이하)는 없다(Table 2). 이러한 원인은 조립질퇴적물만 비교했을 경우 밀집에 의해 퇴적물들은 대부분 움직이나 이들의 이동 방향은 일정한 방향을 갖는 것이 아니라 조류의 양방향성에 의해 왕복성의 이동 방향을 가지며 이들은 지역적인 특성에 따라 일부지역에서는 우세하게



**Fig. 12.** Real direction and computed direction of sediment transport using the grain-size parameters (mean grain size and sorting) of coarser sediments than 4.5 φ. Grain-size trends from (a) I-1 to (g) M are listed in Table 1.



**Fig. 13.** Real direction and computed direction of sediment transport using the grain-size parameters (mean grain size, sorting, and skewness) of coarser sediments than 4.5 φ. Grain-size trends from (a) III-1 to (h) III-8 are listed in Table 1.

나타나나 다른 지역에서는 반대의 경우가 나타나기 때문이다. 하지만 Gao and Collins(1992)에 의해 제안된 방법(M 경우)에 따르면 아주 잘 일치한다(Fig. 12g; Table 2). 이로 볼 때 퇴적물의 이동방향을 구할 때 대상지역의 퇴적물의 공급 및 이동과정과 같은 퇴적환경을 종합적으로 검토하여 퇴적물의 입도특성을 이용하여 퇴적물의 이동방향을 구하는 방법은 신빙성이 있다고 생각된다. 또한 연구지역에서 조립질퇴적물의 입도변수를 이용하여 퇴적물의 이동방향(M 경우)을 구했을 때 퇴적물의 실제 이동방향과 잘 일치하는 것으로 보아 연구지역은 퇴적물의 이동과정은 경우 1 (C, B, +)과 경우 2 (F, B, -)의 두 경우가 모두 복합적으로 작용하여 퇴적물이 이동하는 지역으로 해석된다.

### 결 론

(1) 퇴적물의 입도조각변수를 이용하여 퇴적물의 이동방향을 측정하는 방법(Gao and Collins 방법)은 퇴적물의 이동 및 공급기작이 다양하고 복잡하며 왕복성의 조류운동이 있는 조간대 지역에 일률적으로 적용시키기에는 무리가 있다. 그러나 조사대상의 퇴적물 이동기작을 고려하여, 퇴적물 중 세립질퇴적물(> 4.5 ϕ)을 제거하고 분석한 결과, 퇴적물의 실제 이동방향과 일치하는 것으로 보아 Gao and Collins 방법은 퇴적물의 공급이 일정하고, 퇴적물이 조립하며, 해수의 운동이 단순한 지역에서는 퇴적물 이동방향을 추정하는데 매우 유용한 방법으로 판단된다.

(2) 입도변수(평균입도, 분급도, 왜도) 중 퇴적물이 이동했을 때 이동방향으로 가장 뚜렷이 나타나는 변화는 입도변수 중 분급도가 양호해지는 경우이며, 퇴적물의 실제이동방향과의 각도 차이는 50° 내외이다. 그러나 분급도가 나빠지는 경우는 그 각도 차이가 대부분 100° 이상으로 퇴적물의 실제이동방향과 잘 일치하지 않는다. 그리고 입도변수를 이용하여 구한 퇴적물의 이동방향과 실제이동방향과 가장 잘 일치하는 경우는 조립질퇴적물의 M 경우이며 그 각도 차이는 모서리 영향을 고려하지 않은 경우는 28°, 고려한 경우는 19°이다.

(3) 가로림만내의 사주를 형성하는 조립질퇴적물(> 95% 모래)은 동주수로의 저조선 또는 남수로에서 공급되어 북동방향의 육지쪽으로 이동한다. 사주의 북동방향 이동은 조립질퇴적물의 유입량 증가 및 상대적 해수면 상승과 깊은 관련이 있는 것으로 본다. 그러나 이 퇴적물들의 이동은 북수로를 지나지 못하고 많은 양이 강한 낙조류를 따라 다시 만 밖으로 이동된다. 해안에 인접한 북부지역과 동쪽의 빨질모래지역은 밀집과 뜬짐의 두 퇴적기작이 혼합되는 지역으로, 부유상태로부터 온 세립질퇴적물과 사주지역에서 공급된 조립질퇴적물이 혼합되어 퇴적되며 순수 퇴적물의 이동방향은 북서방향이다.

### 사 사

본 연구는 한국해양연구소 연구지원사업(BSEP 00544)의 일환으로 수행되었으며, 이 연구를 위하여 현장과 실험실에서 수고하신 천중화, 장석, 김광산, 정영일께 감사드립니다. 또한 퇴적 이동벡터에 대한 개념 등을 조언하신 Shu Gao 박사(중국과학원 해양연구소)께도 감사를 드립니다.

### 참고문헌

농업진흥공사, 1989. 가로림지구 내용적 측량 및 지형도제작보고서. 85 pp.

엄기대, 1993. 가로림 조력 개발 타당성 조사보고서. 한국해양연구소, 511 pp.

유홍룡, 1990. 한국 서남해안 조간대의 종합조사연구(II). 한국해양연구소, BSPG00104-303-5, 255 pp.

신동혁, 1998. 한국 서해안 가로림만 조간대 퇴적환경과 홀로세 해수면 변동. 박사학위 논문, 인하대학교, 193 pp.

장진호, 전승수, 권수재, 신동혁, 한상준, 박용안, 1993. 황해 곰소만 조간대에 발달한 셰니어(chenier)의 퇴적학적 특성과 진화. 한국해양학회지, 28: 212-228.

장진호, 박용안, 한상준, 1996. 한국 서해안 곰소만 조간대의 제 4기 층서와 해수면 변화. 한국해양학회지 「바다」, 1: 59-72.

Gao, S. and M. Collins, 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends. based upon definition of "transport vectors". *Sediment. Geol.*, 80: 47-60.

Gao, S., M.B. Collins, J. Lanckneus, G. De Moor and V. VanLancker, 1994. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: An example from the Belgian continental shelf. *Mar. Geol.*, 121: 171-185.

Han, S.J., 1982. The clay mineralogy of recent sediment in Garolim Bay, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 18: 215-220.

Huh, H. T., 1981. Feasibility Studies of Garolim Tidal Plant: Hydrographic, Meteorological, Geological, Sedimentological, Ecological Surveys and Tide Model Study. Korea Ocean Research and Development Institute, BSPI 00027-47-2, pp. 11-45.

Lanckneus, J., G. De Moor, G. De Schaepe-meester, I. Meyus and V. Spiers, 1992. Residual sediment transport directions on a tidal sand bank: comparison of the "McLaren Model" with bedform analysis. *Bull. Soc. Belge Etud. Geogr.*, 2: 425-446.

McCave, I.N., 1978. Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern England. *Mar. Geol.*, 28: M43-M51.

McLaren, P., 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *J. Sediment. Petrol.*, 51: 611-624.

McLaren, P. and D. Bowles, 1985. The effects of sediment transport on grain-size distribution. *J. Sediment. Petrol.*, 55: 457-470.

McLaren, P. and D. Bowles, 1991. A critique of the 'McLaren Method' for defining sediment transport Paths: Reply. *J. Sediment. Petrol.*, 61: 147.

Pettijohn, F.G., P.D. Potter and R. Siever, 1972. Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York, 618 pp.

Reineck, H.E. and I.B. Singh, 1980. Depositional Sedimentary Environments (2nd edn.). Springer-Verlag, New York, 455 pp.

Roux, J.P., 1994. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors" —comment. *Sediment. Geol.*, 90: 153-156.

Shin, D.H., H.I. Yi, S.J. Han, J.K. Oh and J.S. Won, 1995.

- Applications of the sediment-transport path model to the tidal flats of Garolim Bay, west coast of Korea. *Korean J. Geophys. Res.*, **23**: 39—51.
- Song, W.O., D.H. Yoo and K.R. Dyer, 1983. Sediment distribution, circulation and provenance in a macrotidal bay: Garolim Bay, Korea. *Mar. Geol.*, **52**: 121—140.
- Swift, D.J.P., J.C. Ludwick and W.R. Boehmer, 1972. Shelf sediment transport: a probability model. In: *Shelf Sediment Transport: Process and Pattern*, edited by Swift, D.J.P., D.B. Duane and O.H. Pilky, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, pp. 195—223.
- Zimmerman, J.T.F., 1981. Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies. *Nature*, **290**: 549—555.

---

1997년 9월 1일 원고 접수

1997년 12월 30일 수정본 채택