서해안 안면도 사질 조석대의 퇴적환경

오재경* · 한창희

인하대학교 해양학과, 402-751, 인천광역시 남구 용현동 253

Depositional Environment of Sandy Tidal Flat in Anmyeondo, Western Coast of Korea

Jae-Kyung Oh* and Chang-Hee Han

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

Abstract: This study investigated the depositional environment of the area of Anmyeondo in the mid-western coast of Korea. A total of 142 surface sediments were analyzed, and leveling survey was conducted as well in 12 transects at the sandy tidal flat in the area. The surface sediments are classified into several different types (slightly gravelly Sand, Sand, slightly gravelly sandy Mud, etc.) and they show fining-distribution toward the offshore. Textural parameters are characterized by being coarse, well sorted, positively skewed in the supratidal and intertidal flat, whereas being finer, poorly sorted, negatively skewed in the subtidal flat. According to the C-M diagram, the sediment transport modes are characterized by the mixed mode of bedload and graded suspension in supratidal and intertidal flat, and by graded suspension or uniform suspension in the subtidal flat. Histogram shows a bimodal distribution in the lower subtidal flat which is indicative of two sediment transport modes.

Keywords: Anmyeondo, sandy tidal flat, textural parameter, sedimentary process, bimodal

요약: 한반도 서해 중부 안면도 사질 조석대의 퇴적 환경을 연구하기 위해서 142점의 표층 퇴적물을 분석하였고, 12개 측선에서 수준측량을 실시하였다. 표층퇴적물의 퇴적상은 소량역질사, 사, 소량역사질니 등 다양하게 나타났고 외해 방향으로 세립해진다. 조직변수는 조상대와 조간대에서는 평균입도가 조립하고 분급이 양호하며 양의 왜도를 갖는 특징을 보이고, 조하대에서는 평균입도가 세립하고 분급이 불량하며 음의 왜도를 갖는 특징을 보인다. C-M도에 의하면 퇴적 기작은 조상대와 조간대의 퇴적물은 밀집이동과 점이부유가 혼합된 형태로 이동하고, 조하대의 퇴적물은 점이부유와 지속적부유의 형태로 이동하는 것으로 나타났다. 주상도표에서 하부조하대의 퇴적물은 밀집과 뜬집 2가지의 이동모드가 모두 나타나는 이중모드의 형태를 보인다.

주요어: 안면도, 사질조석대, 조직변수, 퇴적기작, 이중모드

서론

한반도의 서해안은 계절적으로 발생하는 폭풍 및 태풍 등이 매우 복잡하게 나타난다(Zheng and Klemas, 1982; Lee and Chough, 1989). 또한, 현세 해수면 상승에 의한 해침으로 형성된 리아(ria)식 해안으로 크고 작은 만과 해빈, 염하구 등 다양한 연안환경들이 발달되어 있다. 현재까지 국소적인 지역에서의 연구

는 서해 만 연안에서의 퇴적학적 연구(이현복 외, 1997; 류상욱 외, 1997, 1998; 류상욱과 장진호, 2005; 장진호 외, 2007), 서해안 해빈 특성에 관한 연구(오재경과 금병철, 1998), 연근해 표층퇴적물의 특성에 대한 연구(오재경과 최규홍, 1999; 오재경과 김성은, 1999; 오재경과 금병철, 2001, 2002), 서해안과 남해안의 퇴적물의 계절변화에 관한 연구(류상욱, 2003) 등이 이루어졌다.

한반도 서해안은 대조차 연안(macro-tidal coast)으로서 퇴적물의 특성에 따라 사질과 니질 지배 연안이 모두 존재하며 간조시 광활한 조간대가 펼쳐진다. 일반적으로 조간대라고 하는 곳은 조석대(tidal flat)

*Corresponding author: jkohl@inha.ac.kr
Tel: 82-32-860-7702
Fax: 82-32-862-5236

Fig. 1. Study area (A) and geological map (B) of Anmyeondo (Choi et al., 2008). Study area comprises the Taean Formation.

의 일부를 말하며, 조석대는 조상대(supratidal flat), 조간대(intertidal flat), 조하대(subtidal flat)로 분류할 수 있다. 또한 조석대는 조차에 따라 대조차, 중조차, 소조차 연안으로 나눌 수 있다(Davies, 1964).

서해안 조석대는 일반적으로 니질퇴적물이 우세하게 나타나지만 경기만 남부와 태안반도를 중심으로는 사질퇴적물이 나타난다. 그 중 안면도의 조석대는 육지가 바다 쪽으로 돌출된 지역이 많아 해안선의 굴곡이 심하고 대조차 환경에 따른 큰 조석뿐만 아니라 파랑의 작용이 활발하여 사질 조석대(해빈)가 발달한다. 또한, 겨울철에 북서계절풍이 우세한 해안으로서 규모가 큰 사구지대가 발달되어 있다(강대균, 2001). 신두리, 삼봉-두여 해빈에는 인공구조물이 설치되어 있지 않은 자연적인 사구들이 존재하고 있으며, 꽃지 해빈과 같이 인위적으로 사구가 있던 지역에 인공구조물을 설치한 곳도 존재한다. 기존의 연구에서는 조상대, 조간대, 조하대의 구분에 큰 의미를 두고 있지 않으나 본 연구에서는 안면도의 사질 조석대를 대상으로 조상대의 사구(coastal dune), 조간대의 해빈(intertidal beach), 그리고 조하대에 이르는 조석대 전 지역에 대하여 퇴적물의 조직, 지형 등을 포함한 전체적인 퇴적환경을 연구하고 퇴적학적 특성을 비교하여 각각의 지역을 구별하는 것을 목적으로 한다.

연구지역

지역개관

본 연구지역은 태안반도 남쪽에 위치한 안면도의 삼봉 해빈에서부터 꽃지 해빈에 이르는 지역이다(Fig. 1A). 이곳의 해안은 외해에 노출된 구간이 많아 해빈과 해안사구의 발달이 양호하고, 해빈은 포켓비치(pocket beach)의 형태로 작은 만입에 발달하였다(강대균, 2003).

연구지역의 지질

안면도의 지질(Fig. 1B)은 선캄브리아기의 태안층군에 속하는 변성퇴적암류와 경기변성암 복합체, 그리고 이들을 관입한 쥐라기말 대보화강암과 백악기 및 시대미상의 관입암류로 구성되어 있다(송무영과 우영균, 1992; 나기창, 1992; Choi et al., 2008). 안면도의 북서부에 위치한 본 연구지역은 모두 태안층군에 속하며 주로 사암과 셰일로 구성되어 있다(류상욱과 장진호, 2005).

수리학적 특성

연구지역의 조석(2009. 11-2009. 12, 안흥 조위관 측소)은 반일주조(semidiurnal tide)의 특징을 보이며

Fig. 2. Measured tidal range at the Anheung tidal station (KHOA, November 2009-December 2009).

관측된 조위 자료를 조화 분해한 결과 대조차, 평균 조차 그리고 소조차는 각각 550.5, 418.1, 285.6 cm로 나타났고, 평균해수면(M.S.L)은 340.6 cm로 나타났다(Fig. 2). 조류는 창조류일 때 35.8 cm/s의 북향류, 낙조류일 때 41.3 cm/s의 남향류로 나타나며, 낙조류가 창조류보다 우세한 특징을 보인다(국립해양조사원, 1999). 연구지역에서 가장 가까운 보령기상관측소(36°24'N, 126°29'E)의 기상 통계 자료에 의하면, 지난 10년간 평균풍속은 1.98 m/s이고, 주 풍향은 계절에 따라 다른 양상을 보이지만 전체적으로 북서풍이 우세하다(기상청, 1999-2008).

연구방법 및 재료

연구지역을 연안 지형 특성에 따라서 삼봉, 기지포, 안면, 두여 해수욕장을 A구역, 밧개, 두에기, 방포 해수욕장을 B구역, 꽃지 해수욕장을 C구역, 크게 3지역으로 세분화 하였다(Fig. 3A). 조간대는 만조시 해수에 의해 잠기고 간조시 대기에 노출되는 지역으로서 실제로 현장조사시의 각 측선별 0 m는 만조시에 해수에 의해 잠기지 않는다. 따라서, A구역의 경우 0 m를 포함한 전체 사구지역과 B와 C구역의 각 측선별 0 m를 조상대로 간주하였다. 연구지역은 간조시

최대 약 400 m까지 물이 빠져나가므로 조간대는 25-350 m 지점으로 정하였다. 또한 선상조사시의 모든 지점(500-2,000 m)은 조하대로 정하였다. 조석대 단면도(line profile)는 Topcon사의 GTS-225 total station을 이용하여 실시하였다. 해안사구가 존재하는 삼봉-두여해빈에서는 수준측량시 사구를 포함하였고, 모든 지역에서 0-50 m까지는 5 m 간격으로 측정하였고, 50 m 이후부터는 75, 100, 150, 200, 250, 300 m에서 각각 측정하였다.

현장조사

연구지역 주변 표층퇴적물의 분포 특성을 파악하기 위하여 2009년 12월 대조기에 현장조사를 실시하였다. 조상대와 조간대, 그리고 조하대를 연결하기 위하여 같은 측선 상에서 조상대에 속하는 사구 지역과 조간대에 속하는 해변 그리고 조하대에서 표층퇴적물 142점을 채취하였다. 조상대 및 조간대의 표층퇴적물은 표층 2 cm 이내에서 채취하였고(Fig. 3B), 조하대의 시료는 채니기(grab sampler)를 이용하여 선상에서 채취하였다(Fig. 3A).

표층퇴적물 분석

채취된 시료 총 142점에 대한 입도 분석은 염분을 제거한 후, 10% 염산과 30% 과산화수소를 이용하여 핫플레이트(hot plate)에서 가열하여 탄산염과 유기물을 제거하였다. 전처리된 시료는 습식체질(wet sieving)을 통해 4Φ 이상의 조립질 시료는 건조시킨 후 건식체질(dry sieving)하였고, 4Φ 이하의 세립질 시료는 Sedigraph 5100을 이용하여 입도분석 하였다.

자료의 통계처리 및 분석

Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 이용하여 퇴적물의 조직 변수(평균입도, 분급도, 왜도, 첨도)를 구하였다. 퇴적 기작을 알아보기 위하여 Passega(1964)의 C-M도와 Visher(1969)의 누적확률분포곡선을 이용하였다.

연구결과 및 토의

연안의 지형적 특성

해안선의 지형: 연구지역 각 구역의 특징을 살펴보면 가장 큰 차이점은 A구역은 해변 뒤편으로 자연사구가 존재한다는 점이고, B구역은 일부 해안(측선 7,

Fig. 3. Location map showing sampling station of surface sediments and twelve transects (line 1-12) in the study area.

8)의 해변 상부가 암반이나 자갈로 이루어져 있으며, C구역은 해변 상부가 인공적으로 만들어진 옹벽(dyke)으로 이루어져 있다는 것이다. 또한 A구역은 태안반도 국립공원의 일부로서 해안사구의 침식을 방지하기 위하여 사구 전면부에 침식방지봉과 모래포집기가 설치되어 있다. 세 구역 모두 각각 전사구, 자갈, 또는 옹벽 뒤편으로(본래 2차 사구가 존재하는 지역) 큰 규모의 해송림이 자리하고 있으며 이것은 항공사진에 의하여도 확인할 수 있다(국토지리정보원).

조석대 단면도(Line Profile): 조석대의 단면도는 다음 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째 A구역 전체(측선 1-4)와 B구역의 일부(측선 5, 6)에 해당하는 측선 2의 단면을 살펴보면, 뒤편에 해안사구가 존재하기 때문에 조상대와 상부조간대의 단면이 다소 복잡하게 나타난다. 둘째로 측선 7과 8은 측선 7의 단면을 보면 알 수 있듯이 해변 상부가 자갈로 이루어져 있고, 조간대 상부지역에 노출 암반이 존재하므로 다른 지역에 비해 경사가 급하게 나타난다. 마지막으로 C구역의 측선 9-12는 옹벽(dyke) 바로 아래 부분부터 시작되는 해변의 단면이 비교적 단순하게 나타난다(Fig. 4).

Fig. 4. Elevation feature of lines (line 2, 7, and 10). Each line represents Zone A, B, C, respectively.

일반적으로 해변이 평탄할수록 구성 물질의 입자가 작다고 알려져 있다(Shepard, 1973). Fig. 11의 data를 바탕으로 계산된 각 측선의 경사도는 측선 2, 측선 7, 측선 10의 순서대로 0.786도, 2.800도, 1.430도이고, 평균입도는 2.280Φ, 1.866Φ, 2.148Φ로 나타났다(Table 1).

표층 퇴적물의 조직변수

평균입도(Mean: Mz): 총 142점의 표층퇴적물을 분석 처리한 결과 평균 입도는 조상대에서는 2.1-2.5Φ

Table 1. A gradient of the lines (line 2, 7, and 10). A gradient is steeper as particles are coarser

Zone (line)	Gradient (degree)	Mean (Φ)
A (2)	0.786	2.280
B (7)	2.800	1.866
C (10)	1.430	2.148

로 나타나고, 조간대에서는 1.9-2.53 Φ , 그리고 조하대에서는 1.7-6.6 Φ 의 범위로 다양한 분포를 보인다 (Table 2). 또한 조상대와 조간대에서는 대부분의 모래와 약간의 니질의 혼합 상을 나타내고, 조하대에서는 모래와 니질의 혼합이 더욱 두드러지게 나타난다 (Fig. 5A). 전반적으로 평균입도가 외해 쪽으로 세립해지는 경향이 나타난다. 이는 본 연구지역을 포함하는 안면도와 태안반도 일대에서 나타나는 지역적 특징으로 내륙으로부터 퇴적물을 공급받을 수 있는 강이나 큰 하천이 없기 때문에 사료된다(손영하, 2005). 이와는 반대로 내륙으로부터 퇴적물을 공급받을 수 있는 금강하구가 존재하는 변산반도 일대에서는 평균입도가 외해로 갈수록 조립해지는 것으로 보고되고 있다(오재경과 최규홍, 1999).

분급도(Sorting: σ): 분급도는 조상대와 조간대에서 well sorted, 또는 moderately well sorted(0.455-0.557 Φ)에 속하고, 조하대에서는 poorly sorted, 또는 very poorly sorted(1.357-2.349 Φ)에 속한다. 특히, B구역의 측선 7, 8을 제외하고는 모든 지역에서 외해로 갈수록 분급이 불량해지는 뚜렷한 특징을 보인다(Fig. 5B). 이는 상부조간대는 고에너지 환경으로서 이곳에 작용하는 강한 파랑, 바람 에너지에 의해 세립한 입자는 이동되고 조립한 입자는 잔류하는 선별작용이 작용한 것

으로 사료된다. 대기중에 노출되어 있는 시간이 상대적으로 긴 상부조간대의 세립한 입자들은 계절적으로 강한 북서풍에 의해 사구 지역으로 이동하게 되며, 파랑에너지와 유속 또한 저조시 외해방향으로 갈수록 감소하기 때문이다(Jago and Handisty, 1984).

왜도(Skewness: Sk): 왜도는 전반적으로 조상대의 양의 왜도에서 조간대를 지나 조하대로 갈수록 음의 왜도를 보이고 있는데 조상대와 조간대에서는 negatively skewed에 속하고 조하대는 very positively skewed에 속한다(Fig. 5C). A, B, C 세 구역 모두에서 조상대는 0에 가까운 양의 왜도를 보인다. 전체적으로 상부조간대에서 가장 큰 양의 왜도 값을 보이고 하부조간대로 갈수록 음의 왜도를 보이며 조하대에서는 외해로 갈수록 큰 음의 왜도 값을 보이는 패턴을 볼 수 있다.

첨도(Kurtosis: KG): 첨도는 조상대의 일부지역(B구역의 조상대)에서 platykurtic을 보이고 있고 그 외에 나머지 조상대와 조간대에서는 mesokurtic을 보이고 있다. 이와 대조적으로 조하대에서는 leptokurtic을 보인다(Fig. 5D).

조직변수들의 상관관계

조직변수들의 상관관계에서 조상대와 조간대의 표층퇴적물은 전반적으로 좁은 분포를 보이고 반대로 조하대의 표층퇴적물은 넓게 산재해 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 6).

평균입도 vs 분급도: 조상대와 조간대는 평균입도 2-3 Φ , 분급도 0-1 Φ 에 거의 모든 표층퇴적물이 집중되

Table 2. Composition and textural parameters of surface sediments (averaged on each zone)

Zone		Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (Φ)	Sorting (Φ)	Skewness	Kurtosis
A	Supra	0.043	99.804	0.118	0.034	2.362	0.462	-0.164	0.964
	Inter	0.023	99.954	0.022	0.000	2.372	0.455	-0.156	0.970
	Sub	0.079	81.829	10.236	7.856	3.541	1.357	0.263	1.154
B	Supra	0.863	99.123	0.013	0.000	2.243	0.511	-0.126	0.782
	Inter	0.513	99.464	0.023	0.000	2.254	0.485	-0.045	0.900
	Sub	3.615	64.720	17.520	14.148	4.195	2.349	0.496	1.201
C	Supra	0.000	99.968	0.033	0.000	2.284	0.516	-0.184	0.953
	Inter	0.780	99.205	0.015	0.000	2.201	0.557	-0.130	0.928
	Sub	0.053	76.323	12.063	11.561	4.045	1.968	0.454	1.387

*note: Supra=supratidal flat; Inter=intertidal flat; Sub=subtidal flat

Fig. 5. Contour maps showing mean (A), sorting (B), skewness (C) and kurtosis (D) of surface sediments in the study area.

어 나타나고 조하대의 표층퇴적물은 평균입도가 세립해질수록 분급도도 불량해지는 경향을 보인다(Fig. 6A).

평균입도 vs 왜도: 조상대의 표층퇴적물은 평균입도 2Φ 에서 왜도 -0.3-0의 범위로 분포하고 있고, 조간대도 조상대와 비슷하게 분포하고 있으나 일부 정점에

서 양의 왜도를 나타내고 있다. 이와는 대조적으로 조하대에서는 양의 왜도를 갖는 퇴적물들이 평균입도 $2-6\Phi$ 의 범위에 넓게 산재되어 있다(Fig. 6B).

평균입도 vs 첨도: 조상대와 조간대의 표층퇴적물은 평균입도 $2-3\Phi$, 첨도 1에 거의 모든 지점이 집중되어 나타나고 있으며, 조하대는 평균입도가 세립할 수

Fig. 6. Bivariate scatterplots with textural parameters of surface sediments in the supratidal flat (a circle), the intertidal flat (a triangle) and the subtidal flat (a square). Dashed lines present zero value of skewness.

록 침도가 감소하는 경향을 보인다(Fig. 6C).

분급도 vs 왜도: 조상대와 조간대의 표층퇴적물은 분급이 아주 양호하므로 왜도 -0.3-0.3의 범위로 분포하고 있다. 반면 조하대는 모든 정점에서 양의 왜도를 보이고 있으며, 왜도가 커질수록 분급이 불량해지는 경향을 보인다(Fig. 6D).

분급도 vs 침도: 조상대와 조간대의 표층퇴적물은

분급과 침도가 거의 일정하다. 조하대의 경우에는 침도가 작을수록 분급이 불량해지는 경향을 보인다(Fig. 6E).

왜도 vs 침도: 조상대와 조간대의 표층퇴적물은 대략 왜도 -0.4-0, 침도 1의 범위 안에 집중적으로 분포하고 있고 조하대의 경우에는 뚜렷한 관계없이 넓게 산재하고 있다(Fig. 6F).

표층 퇴적물의 퇴적상과 퇴적구조

표층퇴적물의 퇴적상: 연구지역의 표층퇴적물은 소량 역질사((g)S), 사(S), 소량역사질니((g)sM) 등 총 9개 퇴적상으로 구분된다(Fig. 7). 조상대와 조간대의 경우 대부분이 모래와 약간의 자갈로 이루어져 있다. 반면 조하대는 자갈을 포함하는 경우(Fig. 7A)에는 그 함량이 많지 않으므로 삼각형 하단에 대부분이 위치하며, 자갈을 포함하지 않는 경우(Fig. 7B)에는 점토와 실트가 대략 1:1의 비율이 되는 퇴적상(mS, sM)이 나타난다.

표층퇴적물의 공간적인 분포는 전체적으로 해안선을 따라서 평행하게 나타난다(Fig. 8). 돌출부에 해당하는 두에기 해수욕장의 경우 다른 구역들보다 상대적으로 소량역질사((g)S)의 분포가 좁고 사(S)가 해안선에 가까이 나타난다. 연구지역의 북쪽에 속하는 A구역에 비해 남쪽에 속하는 C구역이 퇴적상이 나타나는 분포가 좁고 다양한 것은 지형적으로 C구역에 암반이 나타나는 지형이 많고 그에 따라 유속변동이 심하여 나타나는 퇴적상 변화라고 생각된다.

선행연구와의 비교: 연구지역에서 가장 북쪽에 존재하는 A구역의 경우 전 계열에 걸쳐 99% 이상이 사질로 이루어진 것으로 보고되고 있으며, 퇴적상의 계열변화가 거의 나타나지 않는다(손영하, 2005). A구역의 2003년(손영하, 2005)과 2009년의 표층퇴적물의 조직변수 및 퇴적상을 비교해보면, 평균입도는 2003년과 2009년 모두 medium sand와 fine sand로 나타난다. 한 가지 뚜렷한 특징은 2003년에 비해 2009년에 각 측선의 0 m 지점에서 입자가 세립해진 것이고 이는 밀물시 육지방향으로 밀려온 퇴적물 입자가 썰물시에 조간대에 잔류하여 간조시에 바람에 의해 육지 쪽으로 이동하였다고 생각된다. 평균입도가 세립해진 정점은 대체적으로 분급도가 양호해졌다. 왜도는 대체적으로 상부조간대는 값이 커졌고, 하부조간

Fig. 7. Ternary diagrams showing the major sediment types of surface sediments.

Fig. 8. Distribution map of surface sediment types classified according to the Folk (1968)'s ternary diagram. The sediment types change parallel to shoreline.

대는 값이 작아졌다. 이는 상부조간대의 평균입도가 세립해진 것과 같이 A구역의 상부조간대의 에너지 환경이 2003년에 비해 상대적으로 저에너지 환경으로 변하였다는 것을 의미한다(Komar, 1976).

표층퇴적구조: 표층퇴적구조는 조상대의 퇴적물의 기원을 파악하기 위하여 조상대와 조간대에서 조사하였다.

① 물리적 퇴적구조(Physical Structure)

연구지역에서 가장 뚜렷하게 나타나는 물리적 퇴적구조는 비대칭 연흔이다(Fig. 9A). 또한 삼봉-두여 해변(A구역)에서는 사구가 존재하므로 일반적으로 조간대에서 해수의 유입과 파랑에 의해 형성되는 연흔 이외에 연구지역의 북쪽에서 불어오는 바람에 의해 전사구 앞쪽에 형성된 바람에 의한 연흔도 나타난다(Fig. 9B). 이 외에 파랑에 의한 swash mark가 곳곳에 보이고 있고, 측선 1의 100-150 m, 150-200 m 두 개의 runnel이 존재한다. 또한 A구역의 중간에 존재하는 수로(창정교 아래 부근)에는 높이가 1-2 m에 달하는 침식면이 존재한다. 이 지역에서는 조석주기에 따라 하루에 두 번씩 밀물과 썰물에 의해 침식과 퇴적이 반복되고 있다고 사료되지만, 더욱 더 자세하고 장기적인 연구가 필요하다.

② 생물활동에 의한 퇴적구조(Biogenic Structure)

연구지역의 biogenic structure는 크게 burrow, trailing mark 두 가지로 나눌 수 있고, A구역에서는 고둥(gastropods)이 섭식을 하면서 만들어진 trailing mark가 우세하게 나타나며(Fig. 10B), C구역에는 엽낭게(sand-bubbler crab)가 만들어놓은 burrow가 우세하게 나타난다(Fig. 10A). 이렇게 생물 활동에 의해

Fig. 9. Photograph of ripple formed by wave (A) and ripple formed by wind (B). Land toward the right. Wave ripples show wide crests and narrow trough. The length of scale bar in the photograph (A) is 15 cm.

Fig. 10. Photograph of burrows (A) and trailing marks (B). Burrows are made by sand-bubbler crabs which diameter is less than 2 cm and trailing marks are made by feeding behavior of gastropods. White circle is Korean 500 won coin for scale.

노출된 퇴적물들이 강한 바람에 의해 조간대에서 조상대로 이동하여 퇴적 된다.

퇴적 기작

Passega(1957)의 C-M도와 Visher(1969)의 누적곡선에 의하면 퇴적물의 이동기작은 밀집이동(bedload), 점이부유(graded suspension), 지속적 부유(uniform suspension)로 구분할 수 있고, 그 비율을 확인할 수 있다. Histogram에서는 조상대와 조간대에서는 단일 모드를 보이고, 조하대에서는 이중모드를 보인다.

구역별 퇴적 기작: A구역은 밀집이동과 점이부유가 주를 이루고 있다. B와 C구역에 비해 C-M pattern이

조밀하게 나타나는 특징을 보인다(Fig. 11A). B와 C구역은 대부분의 정점에서 밀집이동, 또는 밀집이동과 점이부유가 혼합된 형태로 퇴적물이 이동하고 있으며, 조하대의 대부분은 점이부유가 퇴적 기작의 주요한 요소로 나타난다(Fig. 11B, C).

단면별 퇴적 기작: 조상대의 퇴적물은 점이부유의 형태로 이동하고, 조간대는 점이부유와 밀집이동의 혼합적인 형태, 그리고 조하대의 퇴적물은 대체로 점이부유의 형태로 이동하며, 지속적 부유의 형태도 주요한 퇴적물 이동 기작으로 나타난다(Fig. 12). 사질 함량이 매우 우세한 조상대와 조간대에서는 조하대에 비하여 누적 확률 분포가 모든 구역에서 비슷한 특

Fig. 11. C-M (the coarsest five percentile versus median) diagram showing three patterns of sediment transport mode.

Fig. 12. Grain size distribution curve plotted on a probable scale.

Fig. 13. Histograms of the selected samples in line 7. It shows unimodal at supratidal flat (A), intertidal flat (B), and upper-subtidal flat (C), whereas bimodal at lower-subtidal flat (D).

징을 보인다. 조상대와 조간대에서는 4Φ 보다 조립한 입도에서 밀집이동에 의한 퇴적 기작을 보이고 있는 것을 확인 할 수 있다. 하부조하대에서는 조상대/조간대와 마찬가지로 $3-4\Phi$ 보다 조립한 입도에서 밀집이동에 의한 퇴적 기작을 보이고 있고, 보다 세립한 입도에서 부유에 의한 퇴적 기작을 확인 할 수 있는데, 조간대와 조상대에서 밀집이동에 의한 퇴적 기작이 80% 이상인데 반해, 하부조하대에서는 크게는

50% 이상이 부유에 의한 퇴적 기작이 작용하는 것을 확인할 수 있다.

연구지역의 퇴적 기작은 기존연구에서 주로 세립 퇴적물이 외해 및 주위의 해빈으로부터 이동되어 조립 퇴적물과 혼합되는 양상을 보여주고 있고 여기서 나타나는 퇴적물의 이동양상은 끌림, 도약과 부유 이동의 혼합 상태를 보여주고 있는 것으로 보고되고 있다(오재경과 김성은, 1999). 이는 본 연구의 내용과

도 일치함을 보인다.

주상도표(Histogram): Fig. 13은 조상대에서 조하대로 연결되는 측선 7에서의 표층퇴적물의 입도별 함량을 나타낸다. 조상대와 조간대에서의 퇴적물은 매우 비슷한 특징을 보이고 있으며(Fig. 13A, B), 상부조간대에서는 최빈값의 이동을 확인할 수 있다. 조하대에서는 이중모드(bimodal)를 나타내는 것을 확인할 수 있고 특히, 하부조하대에서 뚜렷하게 나타난다(Fig. 13D). 이는 조상대는 강한 바람, 조간대에서는 강한 파랑이 작용하는 고에너지 환경을 나타내고, 조하대는 상대적으로 파랑의 영향이 감소하면서 저에너지 환경이 나타나고, 두 가지 transport mode에 의해 퇴적된 퇴적물임을 보인다.

결론 및 제언

① 표층퇴적물의 퇴적상이 다양하게 나타나는 연구지역의 조직변수에 의하면 외해로 갈수록 평균입도가 세립해지고 분급이 불량해지는 경향을 보인다. 상부조간대에서의 분급이 양호한 것은 강한 조석과 파랑에너지에 의한 선별작용을 나타낸다. 왜도가 상부조간대를 기준으로 조상대로 갈수록 커지는 것은 상부조간대가 대기에 노출되었을 때 해안사구의 생성 기원인 강한 바람에 의해서 상대적으로 세립한 입자가 조상대로 이동하였다는 것을 보여준다. 조하대의 경우 파랑의 영향이 상대적으로 작아져서 조석의 영향이 우세한 세립한 입자들이 퇴적됨을 나타낸다.

② 퇴적물의 이동기작은 조상대와 조간대는 대체로 밀집이동과 점이부유가 혼합된 형태를 보여주고 있으며, 조하대의 퇴적물은 조석의 영향이 우세한 점이부유의 형태로 이동하고 하부조하대 일부지역에서 지속적 부유의 형태로 이동한다.

③ 특히, 조하대의 퇴적상과 퇴적기작에서 두 가지 퇴적물 이동 모드가 나타나는 것을 확인하였다. 이는 조석과 파랑에너지가 복합적으로 작용한 것으로서 저에너지 환경에서의 2가지 퇴적물 이동모드가 나타난다. 주상도표 상에 사질과 니질퇴적물들이 이중모드(bimodal)의 형태로 나타나며 퇴적물의 이동모드는 밀집과 뜬집이동의 복합적인 작용으로 나타난다.

④ 연구지역은 조석지배권연안(tide-dominated coast) 중에서 대조차 연안이지만 파랑의 영향을 많이 받아서 사질 퇴적물이 우세하고, 조상대는 해안사구가 형

성되며, 전체적인 양상은 조석지배권 연안의 사질 조석대 해빈이라고 정의할 수 있다.

⑤ 연구지역은 자연해빈과 개발해빈이 공존하는 지역으로서 차후 자연해빈과 개발해빈의 퇴적환경 비교에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 한국연구재단의 2009년도 일반연구지원사업(2009-0073789)에 의하여 연구되었습니다. 본 연구를 위해서 현장조사 및 자료처리를 도와준 인하대학교 해양학과와 임대웅, 곽호제 학부학생들에게 감사드립니다. 논문 심사과정에서 세심한 지적을 통해 논문이 개선되도록 도움을 주신 심사위원들께 깊은 사의를 표합니다.

참고문헌

- 강대균, 2001, 충청남도의 해안사구. 고려대학교 문학박사 학위논문, 142 p.
- 강대균, 2003, 충청남도 해안에 발달한 해빈과 해안사구. 한국지구과학회지, 24, 568-577.
- 국립해양조사원(KHOA), 1999, 천수만 부근 해도. NO. 322.
- 국토지리정보원, 항공사진, 1977, 아산, 2, 29-11, 29-15. 1989, 충남전남북, 18-5, 19-1, 21-2. 1992, 전주, 1-1. 1998, 예산, 16-6, 17-2, 19-1. 2007, 충청1, 7-8, 8-1, 10-3. (구매일: 2009. 10. 06)
- 기상청, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 기상연보.
- 나기창, 1992, A study on the metamorphism in the southwestern part of Gyeonggi Massif. 한국암석학회지, 1, 25-33.
- 류상욱, 2003, 한반도 서해안과 남해안의 반폐쇄된 만에서 조간대 퇴적물의 계절변화에 관한 비교 연구: 서해안의 함평만과 남해안의 광양만. 한국지구과학회지, 24, 578-591.
- 류상욱, 유환수, 전승수, 1997, 한국 서해 남부 함평만 표층퇴적물의 분포 및 특성. 한국지구과학회지, 18, 367-378.
- 류상욱, 유환수, 김민지, 문병찬, 1998, 한국 서해 남부 함평만의 퇴적환경. 한국지구과학회지, 19, 343-353.
- 류상욱, 장진호, 2005, 한반도 서해 천수만의 해안선 변화 및 조간대 해빈 특성. 한국지구과학회지, 26, 584-596.
- 손영하, 2005, 서해안 사질조간대의 퇴적학적 특성. 인하대학교 이학석사학위논문, 64 p.
- 송무영, 우영균, 1992, 한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성연구 1, 한국지구과학회지, 13, 53-65.
- 오재경, 2003, 지질해양학. 인하대학교 출판부, 인천, 380 p.

- 오재경, 금병철, 1998, 서해안 몽산포 대조차 해변의 퇴적학적 특성. 한국지구과학회지, 19, 310-317.
- 오재경, 금병철, 2001, 한반도 중서부 근·외해의 표층 퇴적물 특성과 퇴적환경. 한국지구과학회지, 22, 377-387.
- 오재경, 금병철, 2002, 대조차환경 침식연안의 퇴적학적 특성. 한국지구과학회지, 23, 565-574.
- 오재경, 김성은, 1999, 태안반도 연근해의 전이시대 퇴적물 분포 및 조직 특성. 한국지구과학회지, 20, 476-485.
- 오재경, 최규홍, 1999, 변산반도 연근해 표층 퇴적물의 특성과 퇴적환경. 한국해양학회지 바다, 4, 310-317.
- 이현복, 오재경, 김승우, 이성록, 1997, 비인만 연안 표층퇴적물의 퇴적학 및 광물학적인 연구. 한국지구과학회지, 18, 259-266.
- 장진호, 류상옥, 조영조, 2007, 곰소만 조간대 퇴적물의 장기적 변화. 한국지구과학회지, 28, 357-366.
- Choi, P.Y., Rhee, C.W., Lim, S.B., and So, Y.S., 2008, Subdivision of the Upper Paleozoic Taeon Formation in the Anmyeondo-Boryeong area, west Korea: A preliminary approach to the sedimentary organization and structural features. Geosciences Journal, 12, 373-384.
- Davies, J.L., 1964, A morphogenic approach to world shorelines. zeitschrift fur Geomorphologie, 8, 127-142.
- 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.
- Jago, C.F. and Hardisty, J., 1984, Sedimentology and morphodynamics of a macrotidal beach, Pendine Sands, SW Wales. Marine Geology, 60, 123-154.
- Komar, P.D., 1976, Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall, NJ, USA, 429 p.
- Lee, H.J. and Chough, S.K., 1989, Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. Marine Geology, 87, 195-205.
- Passega, R., 1964, Grain size representations by CM patterns as a geological tool. Journal of Sedimentary Petrology, 34, 830-847.
- Shepard, F.P., 1973, Submarine Geology (3rd ed.). Harper and Row, NY, USA, 517 p.
- Visher, G.S., 1969, Grain size distributions and depositional process. Journal of Sedimentary Petrology, 39, 1074-1106.
- 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.

2010년 2월 8일 접수
2010년 3월 15일 수정원고 접수
2010년 4월 20일 채택