

조간대 퇴적물의 계절적 집적양상과 보존: 한국 서해안의 곶소만

장진호 · 최진용¹

목포대학교 해양자원학과, ¹군산대학교 해양학과

Seasonal Accumulation Pattern and Preservation Potential of Tidal-flat Sediments: Gomso Bay, West Coast of Korea

JIN HO CHANG AND JIN-YONG CHOI¹

Department of Marine Resources, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

¹Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

우리나라 서해안의 곶소만 조간대에서 조간대 퇴적층의 형성 및 보존 과정을 규명하기 위해 지형, 퇴적물의 입도, 집적률 등의 계절적 변화를 조사하였다. 조간대를 횡단하는 측선에 대해 계절별로 수준측량한 결과, 겨울과 태풍 때 중부 조간대의 조간대사주(intertidal sand shoal)와 상부 조간대의 쉘니어(chenier)가 육지방향으로 크게 이동하였고, 특히 태풍 때에는 중·하부 조간대가 광범위하게 침식되었다. 그러나 여름에는 조간대사주와 쉘니어의 이동이 제한되었고, 중부 조간대의 상부역과 상부 조간대에 펄이 퇴적되었다. 퇴적물의 계절적 입도변화는 주로 중부 조간대의 상부역에서 크게 나타났으며, 대체로 5.5 ϕ 에서 모드를 갖는 펄질 퇴적물의 집적(여름)과 침식(겨울, 태풍)에 의해 야기되었다. 해저면에서 기준면까지의 깊이를 2 개월 간격으로 측정한 결과, 상부 조간대에서는 연중 지속적으로 퇴적이 이루어지고 겨울보다 여름에 집적률이 높은 반면, 중부 조간대에서는 여름보다 겨울에 퇴적이 우세하고 태풍 때 간헐적으로 침식되는 특징을 보였다. 그리고 하부 조간대는 주로 겨울에 퇴적되었고 여름과 태풍 때 침식되었다. 캔코어를 통해 퇴적층의 보존모습을 분석한 결과, 위의 계절변화 양상이 대체로 코아의 상부층에만 제한적으로 보존되었고, 하부층으로 갈수록 폭풍 퇴적층의 출현빈도가 증가하였다. 이상의 결과들에 기초하여 볼 때, 곶소만 조간대층의 많은 부분이 겨울 폭풍 또는 간헐적 태풍에 의해 재구성된 폭풍 퇴적층일 가능성이 높은 것으로 판단된다.

Seasonal changes of topography, sediment grain size and accumulation rate in the Gomso-Bay tidal flat, west coast of Korea, have been studied in order to understand the seasonal accumulation pattern and preservation potential of the tidal-flat sediments. Seasonal levelings across the tidal flat show that the landward movement of both intertidal sand shoals and cheniers accelerates during the winter and typhoon periods, but it almost stops in summer when mud deposition is instead predominant at the middle and upper tidal flats. Seasonal variations of mean grain size were largest on the upper part of middle tidal flat where summer mud layers were eroded during the winter and typhoon periods. Measurements of accumulation depths from sea floor to basal plate reveal that accumulation rates were seasonally controlled according to the elevation of tidal-flat surface. The upper tidal flat where the accumulation rate of summer was generally higher than that of winter was characterized by a continuous deposition throughout the entire year, whereas in the middle tidal flat, sediment accumulations were concentrated in winter relative to summer and were intermittently eroded by typhoons. The lower tidal flat were deposited mostly in winter and eroded during summer typhoons. Cancores taken across the tidal flat reveal that sand-mud interlayers resulting from such seasonal changes of energy regime are preserved only in the upper part of the deposits and generally replaced by storm layers downcore. Based on above results, it is suggested that the storm deposits by winter storms and typhoons would consist of the major part of the Gomso-Bay sediments.

서 론

자연의 퇴적작용에는 오랜 동안 지속적으로 작용하는 정규 작용(normal process)과 비교적 짧게 간헐적으로 발생하는 격

변작용(catastrophic process)이 존재하며, 이들 작용의 상호조합에 의해 특징적인 퇴적층이 형성된다(Reading, 1986). 조간대의 경우, 조석작용은 오랜 동안 지속적으로 작용하는 정규작용이며, 폭풍(storm)과 관련된 퇴적작용은 간헐적인 격변작용

으로 볼 수 있다. 그런데 퇴적분지 내에 보존되는 퇴적층은 항상 정규작용에 의해 형성된 퇴적층이 주가 되지 않으며, 경우에 따라서는 폭풍과 같은 격변작용의 중요성이 강조될 때가 있다. Ren *et al.*(1986)은 동중국 조간대층의 약 30%가 폭풍 퇴적층으로 구성됨을 주장하였고, 한국해양연구소(1993)는 시추 퇴적물의 퇴적상 분석을 통해 서해 조간대층의 많은 부분이 폭풍 퇴적층으로 구성되어 있을 가능성을 보고한 바 있다. 따라서 연안 시추 퇴적물의 퇴적상 연구는 물론, 고기 조간대층의 정확한 퇴적상 해석을 위해서는 현재의 조간대에서 이루어지는 정규작용과 격변작용의 결과들에 대한 상세한 연구가 필요하다.

한반도의 서해안은 유라시아 대륙의 동쪽에 위치한 관계로 사계절이 뚜렷하고, 계절풍이 탁월하다. 따라서 겨울에는 북서풍 계열의 폭풍이 우세하고, 여름에는 남동풍 계열의 해상풍과 간헐적인 태풍이 우세하다. 특히 서해안의 곰소만은 반폐쇄적 만임에도 불구하고 만입구가 서쪽으로 넓게 열려져 있어 에너지 조건의 계절적 변화가 직접 조간대에까지 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 한반도 서해안의 곰소만 조간대에 대해 (1) 지형, 퇴적물, 집적률 등의 계절적 변화를 조사하여 조간대 퇴적물의 계절적 집적양상을 밝히고, 아울러 (2) 퇴적층 연구를 통해 조간대 퇴적환경의 계절적 변화가 퇴적층 내에 어떠한 모습으로 보존되는지를 규명하고자 한다.

곰소만(Fig. 1)은 한반도 서해안의 중남부(전라북도의 부안군과 고창군 사이)에 위치한 반폐쇄적 만으로서 약 8 km의 폭을 갖는 만입구(bay mouth)를 통해 서해와 연결된다. 그리고 만의 북쪽 40 km 지점의 해안으로는 금강이 유입하며, 만의 내부로는 소규모 준용하천인 주진천이 유입한다.

곰소만은 대체로 수심 10 m 미만의 천해로서 대부분이 조간대(tidal flat)로 구성되어 있다(Fig. 1). 조간대는 대체로 남쪽 해안을 따라 광범위하게 분포하여 최고 폭이 6 km에 이르며, 남쪽 해안의 필질 조간대(mud flat)에는 사주 형태의 쉘니어(chenier)가 특징적으로 발달하여 있다(장 등, 1993; Fig. 1). 조간대 퇴적물의 분포는 전반적으로 만조선에서 저조선 방향으로 조립해지는 경향을 보이며, 퇴적상의 수직분포는 대체로 상향조립의 해침적 경향을 보인다(장 등, 1996).

조석은 일주부등(diurnal inequality)이 거의 없는 반일주조(semidiurnal tide)로서 평균조차는 433.8 cm(대조차: 589.8 cm; 소조차: 277.8 cm), 최대조차는 717.4 cm에 이른다(국립지리원, 1981). 조류는 곰소만 내의 주조류로에서 창조류가 115 cm/s, 낙조류가 150 cm/s로서 낙조류 우세 경향을 보인다(국립지리원, 1981).

바람은 연평균 4.2 m/s 속도이며, 여름에는 남동풍 계열, 겨울에는 북서풍 계열이 우세하다. 폭풍(풍속 13.9 m/s 이상의 바람)은 연평균 32.6 일의 빈도로 겨울에 집중적으로 발생한다(기상청, 1991). 본 연구가 진행되었던 1992년에도 월평균 폭풍일수가 겨울에 4 일 이상인 반면, 여름에는 1 일 미만으로 나타나 기

연구 지역

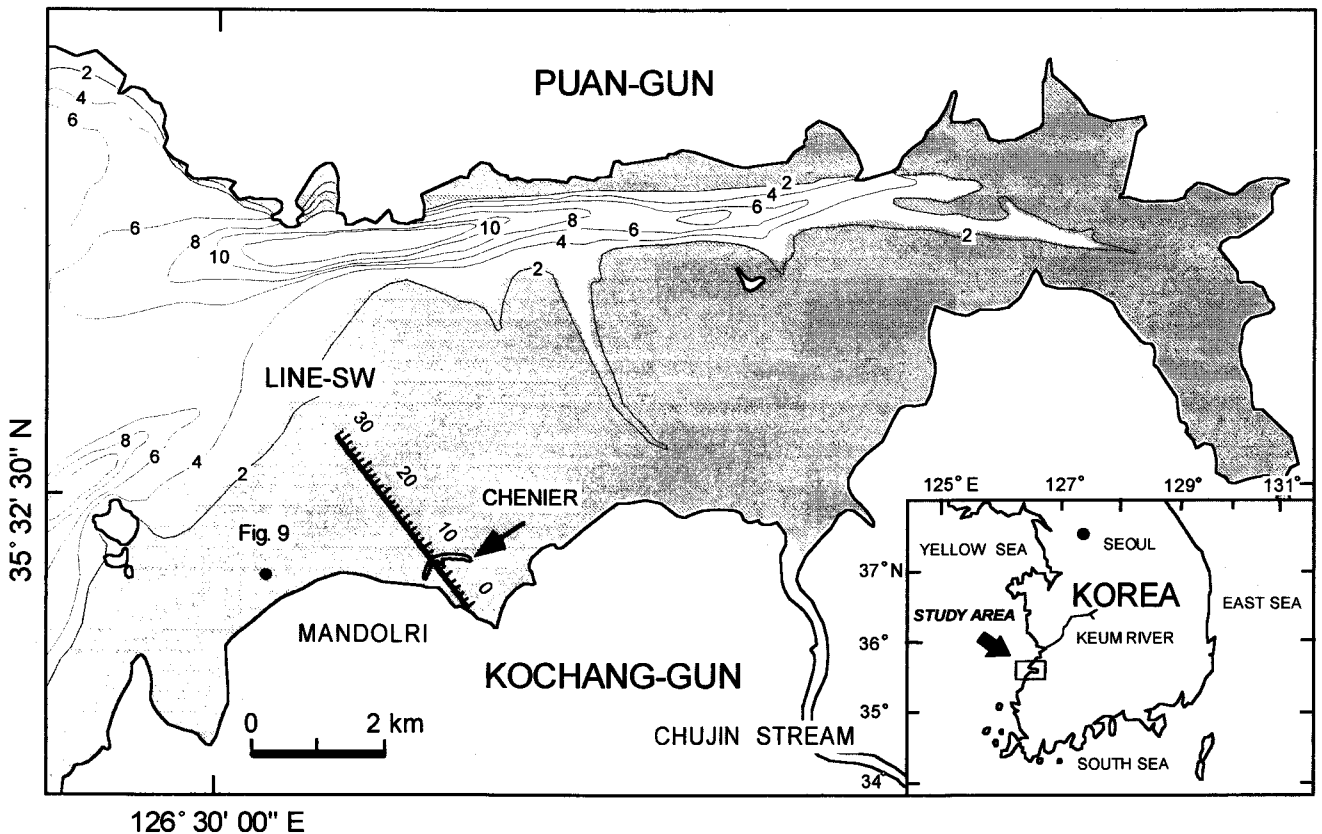


Fig. 1. Outline map of Gomso Bay with the tidal flat defined by the 2-meter isobath. Along Line-SW, precise leveling and sediment sampling were conducted at regular intervals. Dot near Mandolri represents cancore station.

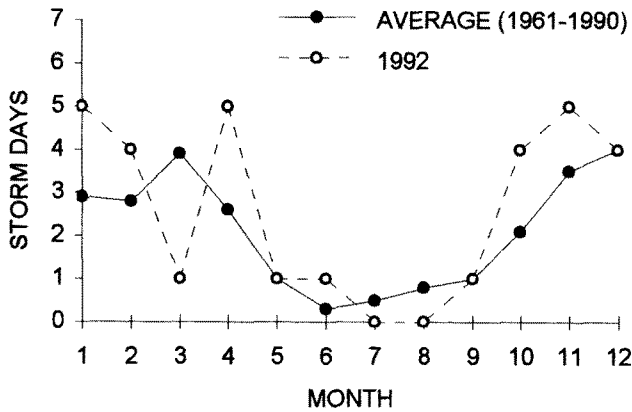


Fig. 2. Average storm days vs. month during the period of 1961-1990 (from Korea Meteorological Administration, 1991). Data of 1992 are also shown for comparison. A storm is defined as having a maximum wind speed over 13.9 m/s. Note that there are more than three storm days per month during winter (November-March), whereas there are fewer than one per month in summer (June-September).

상의 계절적 변화가 비교적 심하였다(Fig. 2). 태풍(typhoon)은 주로 여름(6~9월)에 집중적으로 발생하며, 연평균 1.2 회의 빈도로 서해를 통과한다(장, 1995). 본 연구가 진행되었던 1992년에는 4 회의 태풍이 한반도에 영향을 미쳤고, 그 중 하나(Ted)가 9월 하순(9월 22일~25일)에 서해안을 통과하였다(장, 1995).

재료 및 방법

조간대의 단기적 지형 변화, 퇴적물 변화, 퇴적과정 등을 파악하기 위해 조간대의 정해진 지점에 대해 반복적인 조사를 실시하였다. 즉 조간대를 횡단하는 측선-SW에 대해 100 m 간격으로 말뚝을 설치하고(Fig. 1), 말뚝이 설치된 지점들에 대해 수 준측량, 퇴적물 채취, 집적률 측정 등을 계절별로 실시하였다.

수준측량 및 거리측정에는 수준의(Pentax Pal 2S Level)와 광파거리측정기(Wild T2 Universal Theodolite and Geodimeter)가 사용되었고, 각 측정점들의 고도는 국립지리원이 설치한 삼각점의 고도로부터 수준측량에 의해 유도되었다. 그리고 각 측정점들의 고도와 조위값(tidal level)에 기초하여 조간대 환경을 상부 조간대(평균 고조선~소조 평균 고조선), 중부 조간대(소조 평균 고조선~소조 평균 저조선), 하부 조간대(소조 평균 저조선~평균 저조선)로 세분하였다(Wang and Eisma, 1988).

퇴적물은 측선-SW(Fig. 1)를 따라 표층 퇴적물(100 m 간격)과 캔코아 퇴적물(200 m 간격)이 채취되었다. 그리고 만돌리 해안의 중부 조간대 상부(upper middle flat)에서도 계절별로 캔코아 퇴적물이 채취되었다(Fig. 1). 채취된 퇴적물의 입도분석에는 체와 자동입도분석기(Sedigraph 5000-D)가 함께 사용되었고, 캔코아 퇴적물의 퇴적구조 분석에는 X-선촬영기(Softex X-ray apparatus, M-1005)가 이용되었다. 퇴적물 슬랩(1×20×30 cm)에 대한 X-선 촬영은 퇴적물의 종류에 따라 70~80 kV, 4 mA, 15~25 초의 조건에서 실시하였다.

집적률은 기준 정점에서 2 개월 간격으로 측정되었다. 즉 해저면 아래의 일정 깊이에 기준면(30×30 cm의 아크릴판)을 설치하

고, 해저면이 주위 환경과 평형상태에 도달할 수 있도록 1~2 개월을 기다린 다음, 해저면에서 기준면까지의 깊이를 버니아캘리 퍼스로 측정하였다. 그리고 시간에 따른 집적깊이의 변화값에 기초하여 각 지점의 집적률(계절별, 연평균)을 계산하였다.

결 과

지형의 계절적 변화

본 연구지역은 대체로 조류로(tidal channel)의 발달이 미약하고, 조간대사주(intertidal sand shoal)와 웨니어(chenier)의 발달이 양호한 편이다. 따라서 조간대 지형의 계절적 변화가 조류로의 이동(migration)보다는 주로 조간대사주와 웨니어의 이동에 의해 표시된다.

Fig. 3에는 측선-SW에 대한 계절별 수준측량의 결과가 제시되어 있다. 조간대사주는 주로 +0.5 m 고도의 중부 조간대에 분포하고, 웨니어는 +2.2 m 고도의 상부 조간대에 위치하고 있다. 그런데 겨울에 조간대사주와 웨니어가 육지 방향으로 크게 이동하였고, 태풍 때에는 중·하부 조간대의 광범위한 침식, 조간대사주의 침식, 그리고 웨니어의 급속한 이동 등이 수반되었다(Fig. 3; Table 1). Table 1에는 기상조건에 따른 웨니어의 이동속도가 제시되어 있다. 웨니어의 동쪽 부분은 만조 때에도 쉽게 침수되지 않아 주로 태풍 때에만 육지쪽으로 이동하였다. 그러나 만조 때 침수되는 웨니어의 서쪽 부분은 육지방향으로 비교적 지속적 이동을 하였으며, 웨니어의 이동이 태풍 때(이동속도가 평상시의 수십배)와 겨울(이동속도가 평상시의 두배)에 특히 우세하였다.

퇴적물 입도의 계절적 변화

Fig. 4는 측선-SW에서 평균입도의 계절적 변화를 보여주고 있다. 즉 평균 입도의 계절적 변화는 주로 웨니어가 위치한 상

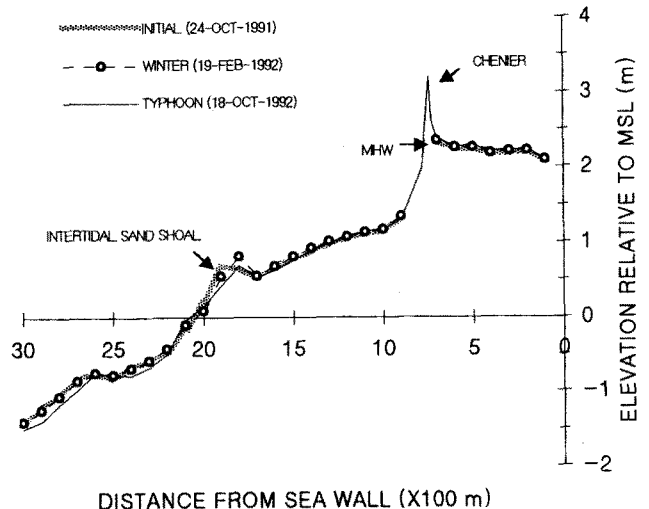


Fig. 3. Line-SW profiles showing morphological changes of tidal flat for one year (October 1991-October 1992): winter profile shows that intertidal sand shoals have moved about 100 m landward, and typhoon profile shows that middle to lower tidal flats were extensively eroded: MHW=mean high water.

Table 1. Migration rate of chenier in different climate regimes

Climate regime	Period (days)	Eastern part		Western part	
		Migration distance (m)	Migration rate	Migration distance (m)	Migration rate
Storm	25 Oct. '91—20 Feb. '92 (119)	0	—	3.8	1.0 m/month
Fairweather	20 Feb. '92—7 Jul. '92 (137)	0	—	2.4	0.5 m/month
Typhoon	22 Sep. '92—25 Sep. '92 (3)	10.9	3.6 m/day	8.3	2.8 m/day

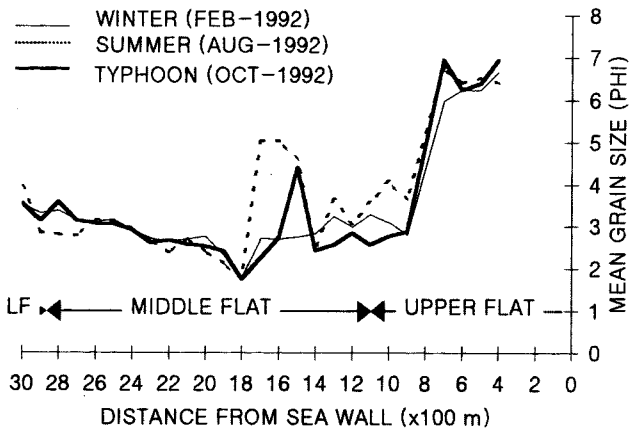


Fig. 4. Seasonal variation of mean grain size along Line-SW. Note the significant seasonal changes in mean grain size on the upper middle to lower upper tidal flats.

부 조간대 부근(방조제에서 600~1,000 m 떨어진 구간), 중부 조간대의 상부역(1,100~1,700 m 구간), 그리고 중·하부 조간대(2,700~2,900 m 구간)에서 비교적 크게 나타났다. 그리고 상부 조간대와 중부 조간대의 상부역에서는 대체로 여름에 세립하고(2.5~5 φ), 겨울에 조립하며(1.5~3 φ), 태풍 때 더욱 조립해지는(1.5~2.5 φ) 경향을 보인 반면, 중·하부 조간대에서는 반대로 여름에 조립하고, 겨울과 태풍 때 세립해지는 특징을 보였다.

Fig. 5는 입도의 계절적 변화가 가장 크게 나타난 중부 조간대 상부역(SW-16: 방조제에서 바다쪽으로 1,600 m 떨어진 지점) 퇴적물의 계절별 입도분포로서 퇴적물 입도의 계절적 변화를

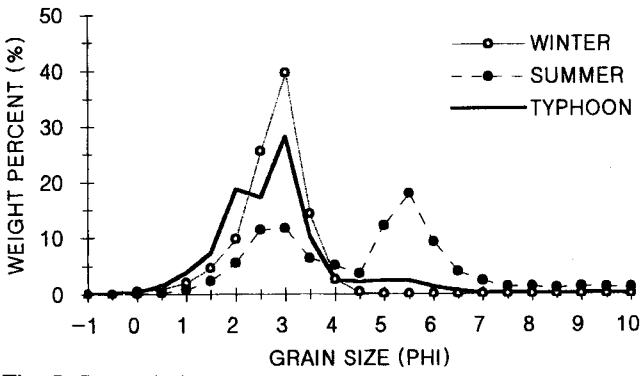


Fig. 5. Seasonal changes of grain-size distributions for the surface sediments at Site SW-16 (upper middle flat). Note the fine-grained sediments with a 5.5 φ modal fraction in summer that are eroded during typhoons.

가장 극명하게 보여주고 있다. 즉 여름의 이 곳 퇴적물은 3 φ 모드(mode)의 모래에 5.5 φ-모드의 펄이 퇴적되어 전형적인 복모드형(bimodal) 입도분포를 보였다. 그러나 태풍 때 여름의 펄이 제거되고 2 φ 계층의 중립질 모래가 추가되는 모습을 나타내었고, 겨울에는 3 φ-모드의 모래가 추가되어 전형적인 단모드형(unimodal) 입도분포로 변화했다. 따라서 본 지역에서는 평균 입도의 계절적 변화가 주로 5.5 φ-모드의 실트질 펄이 집적(여름) 되느냐 혹은 펄이 제거(태풍)되고 모래가 추가(겨울)되느냐에 의해 나타나고 있었다.

집적률의 계절적 변화

측선-SW의 8 개 지점에서 2 개월 간격으로 집적률을 조사한 결과, 조간대 퇴적물의 집적 양상이 조간대의 위치(고도)와 계절에 따라 크게 다를 수 있었다(Table 2). 즉 상부 조간대에서는 계절에 관계없이 지속적으로 퇴적이 이루어지는 특징을 보였으며, 퇴적물의 집적이 전반적으로 겨울(0.5 mm/month)보다 여름(6.4 mm/month)에 우세하였다. 그러나 중부 조간대에서는 퇴적물의 집적이 여름(4.4 mm/month)보다 겨울(9.8 mm/month)에 우세하였고, 태풍(가을) 때 간헐적으로 침식(-1.5 mm/month)되는 특징을 보였다. 그리고 하부 조간대에서는 주로 겨울(18.7 mm/month)에 퇴적물의 집적이 이루어졌으며, 여름(-0.6 mm/month)과 태풍 때(-15.1 mm/month)에는 침식되는 경향을 보였다. 결과적으로 겨울에는 조간대 전역에 걸쳐 광범위한 퇴적이 이루어졌고, 여름에는 중부 및 상부 조간대에서 퇴적이, 그리고 하부 조간대에서 소량의 침식이 일어났으며, 태풍 때에는 중부 조간대의 일부와 상부 조간대 일부를 제외한 광범위한 지역이 침식되는 특징을 보였다(Table 2; Fig. 6).

계절적 변화의 보존

Fig. 7은 중부 조간대의 상부(upper middle flat)에서 채취한 캔 코아의 X-선 사진(X-ray radiograph)으로서 퇴적물 입도의 계절적 변화가 잘 보존된 경우(Figs. 7A, 7B)와 그렇지 않은 경우(Figs. 7C, 7D, 7E)를 보여준다. Fig. 7A와 Fig. 7B는 만들리 조간대의 동일 지점에서 각각 초가을(1993년 9월)과 겨울(1994년 1월)에 획득된 것으로서 여름의 펄층이 초가을부터 모래층에 의해 피복되기 시작하여 겨울에 모래층의 두께가 거의 5 cm에 이를 수 보여준다. 따라서 이 곳에서는 계절에 따른 에너지 조건의 변화가 각각 3~5 cm의 두께를 갖는 펄층과 모래층의 교호에 의해 퇴적층 내에 보존되고 있음을 알 수 있었다. 그렇지만 표층에서 입도의 계절적 변화가 큰 것으로 확인된 지점(Fig. 4에서

Table 2. Seasonal and annual rates of sediment accumulation along Line-SW

Environment	Station no.	Seasonal accumulation rate (mm/mon)				Duration (days)	Depth difference (mm)	Annual accumulation rate (mm/yr)
		Spring (Feb.—Jun. '92)	Summer (Jun.—Aug. '92)	Autumn ¹ (Aug.—Dec. '92)	Winter (Dec. '92—Mar. '93)			
Upper flat	SW-2	—	5.3	2.1	0.5	277	22.0	29.0
	SW-6	1.0	7.5	—	—	395	31.9	29.5
	Average	1.0	6.4	2.1	0.5	336	27.0	29.3
Middle flat	SW-11	1.5	11.5	-3.2	3.6	395	28.7	26.5
	SW-13	2.4	8.5	-13.1	9.6	395	2.9	2.7
	SW-15	0.8	-0.7	5.9	32.6	395	120.1	111.0
	SW-17	3.7	0.1	6.4	-3.5	395	31.1	28.7
	SW-25	13.9	2.7	-3.4	6.9	395	67.8	62.7
	Average	4.5	4.4	-1.5	9.8	395	50.1	46.3
Lower flat	SW-31	14.9	-0.6	-15.1	18.7	395	50.3	46.5

¹Note that the typhoon Ted has passed in this period.

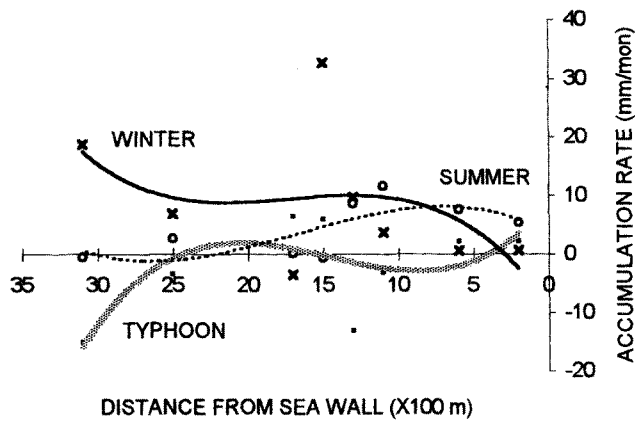


Fig. 6. Variation of seasonal accumulation rates along Line-SW. Symbols such as cross, square and circle represent the monthly accumulation rates of winter, typhoon and summer, respectively. The trend lines of each symbol are also shown.

방조제로부터 각각 1,100 m(SW-11), 1,400 m(SW-14), 1,700 m(SW-17) 떨어진 지점에서는 여름의 펄층이 거의 보존되지 않고 있었다(Figs. 7C, 7D, 7E). 실제로 측선-SW에서 채취한 캔코아 전체를 분석한 결과에서도 상부 조간대의 코아들은 주로 생물교란구조, 평행엽리구조 등이 포함된 펄층으로 구성되어 있었고, 중·하부 조간대의 코아들은 대부분 패각층, 연흔사층리구조 침식면 등이 포함된 모래층으로 구성되어 있어, 퇴적물 입도의 계절적 변화를 지시하는 펄-모래 교호층이 퇴적층 내에 거의 보존되지 않고 있었다(Fig. 8).

그러나 잘 보존된 퇴적층의 퇴적구조는 조간대 전체의 퇴적 과정을 이해하는데 매우 중요한 의미를 제공할 수 있다. Fig. 9는 만돌리 해안의 중부 조간대(Fig. 1)에서 겨울(1994년 1월)에 획득한 캔코아의 X-선 사진으로서 퇴적층의 모습이 상부로부터 겨울의 모래층(winter sand layer)—여름의 펄층(summer mud layer)—폭풍 모래층(storm sand layer)—생물교란 모래층(bio-turbated sand layer)의 순서로 변화하고 있음을 보여준다. 겨울의 모래층은 4~5 cm의 두께로서 대체로 3φ 내외의 세립사(fine sand)와 극세립사(very fine sand)로 구성되고 연흔사층리 구조를 포함하여 이 곳의 겨울철 에너지 상태가 모래의 이동이

가능할 정도의 상태를 반영한다. 그러나 그 하부에 위치한 여름의 펄층은 3~4 cm 두께로서 5~6φ의 중립실트(medium silt)로 구성되고, 조석기원으로 판단되는 두께 5 mm 미만의 평행엽리(clay-silt couplets)들을 포함하여 여름에 이 지점의 에너지 상태가 실트의 집적이 가능할 정도의 저에너지 상태를 반영한다. 한편 교호층의 하부에 놓이는 모래층은 약 15 cm의 두께로서 2.5~3.5φ의 세립사와 극세립사로 구성되며, 대체로 퇴적구조의 보존이 양호하여 하부로부터 완경사의 침식경계면(erosion surface), 언덕사층리(hummocky cross-strata)로 추정되는 저경사사층리(low-angle crosslamination), 연흔사층리(ripple cross-lamination), 대칭성연흔(symmetrical ripple) 등의 여러 퇴적구조들이 관찰된다. 또한 중간의 침식면을 기준으로 상·하층에서 입도의 정점이 층리(normal grading)가 관찰된다(Fig. 9). 더욱이 이 층은 층의 두께, 퇴적물의 입도, 퇴적구조의 배열양상 등에 있어서 현생의 천해환경에서 보고되는 폭풍 퇴적층과 매우 유사하다(Kumar and Sanders, 1976; Howard and Reineck, 1981; Morton, 1981; Nelson, 1982; Wanless *et al.*, 1988; Hequette and Hill, 1993). 따라서 이 층은 최소한 두개의 층(layer)으로 구성된 폭풍 퇴적층(tempestite)인 것으로 판단된다. 한편 최하부의 생물교란 모래층은 상부의 폭풍 모래층과 거의 유사한 입도를 보이나, 패각편이 산재하고 일차퇴적구조가 전혀 관찰되지 않음으로써 시간이 흐름에 따라 폭풍 퇴적층이 생물작용에 의해 교란되었음을 지시한다.

토 의

한반도의 서해안은 중위도 대륙의 동쪽에 위치한 관계로 사계절이 뚜렷하고, 계절풍이 탁월하다. 따라서 한랭건조한 겨울에는 월평균 3~5 일의 빈도로 북서풍 계열의 폭풍이 불고, 온난다습한 여름에는 남동풍 계열의 바람이 불며 연평균 1.2 회의 빈도로 태풍이 도래한다. 특히 서해안의 중남부에 위치한 곰소만은 대조차의 반폐쇄적 만임에도 불구하고 만 입구가 서쪽으로 넓게 열려져 있어 태풍과 폭풍의 영향을 직접적으로 받을 수 있는 조건을 갖추고 있다.

일반적으로 태풍과 폭풍이 해안에 접근하면 바람과 저기압의

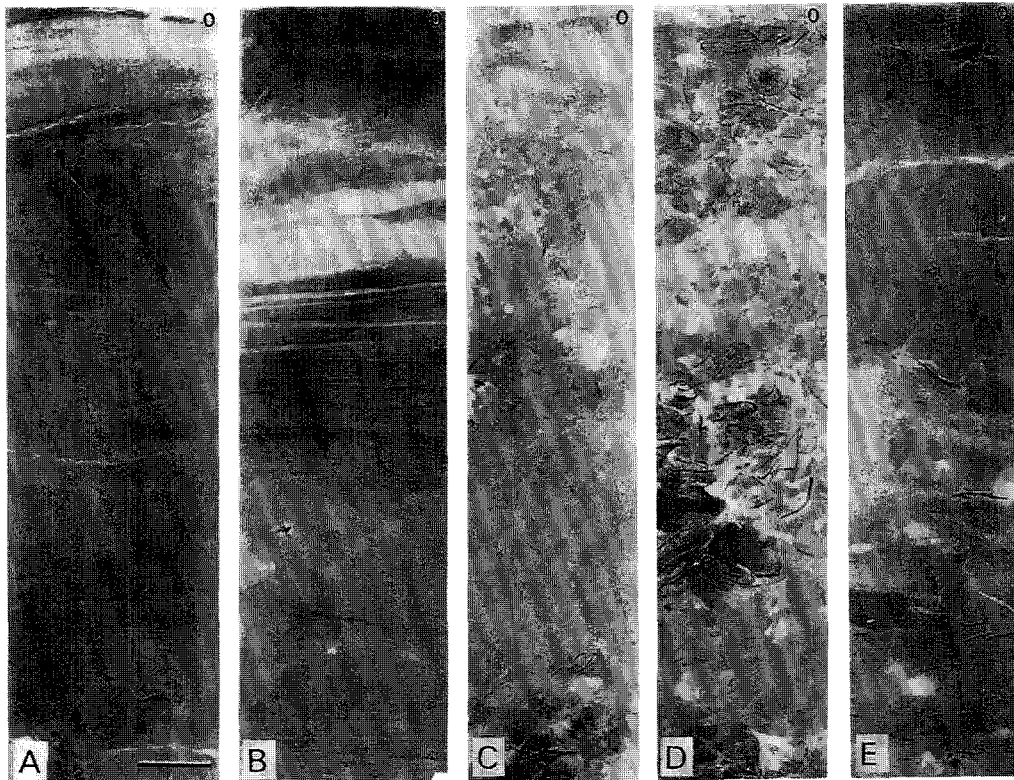


Fig. 7. Selected examples of X-ray radiographs for the cancore peels obtained in the middle flat of Gomso Bay. Scale bar is 1 cm. (A) Cancore peel taken at the middle flat near Mandolri in early autumn (September 1993): mud layer (light gray) deposited during summer is shown at the top of the radiograph. (B) Cancore peel taken at the same position in winter (January 1994): summer mud layers (light gray) are overlain by winter sand layers (dark gray). (C) (D) (E) Cancore peels at Sites SW-11, SW-14 and SW-17, respectively, from the middle flat of Line-SW in winter (January 1994): summer mud layers are not preserved.

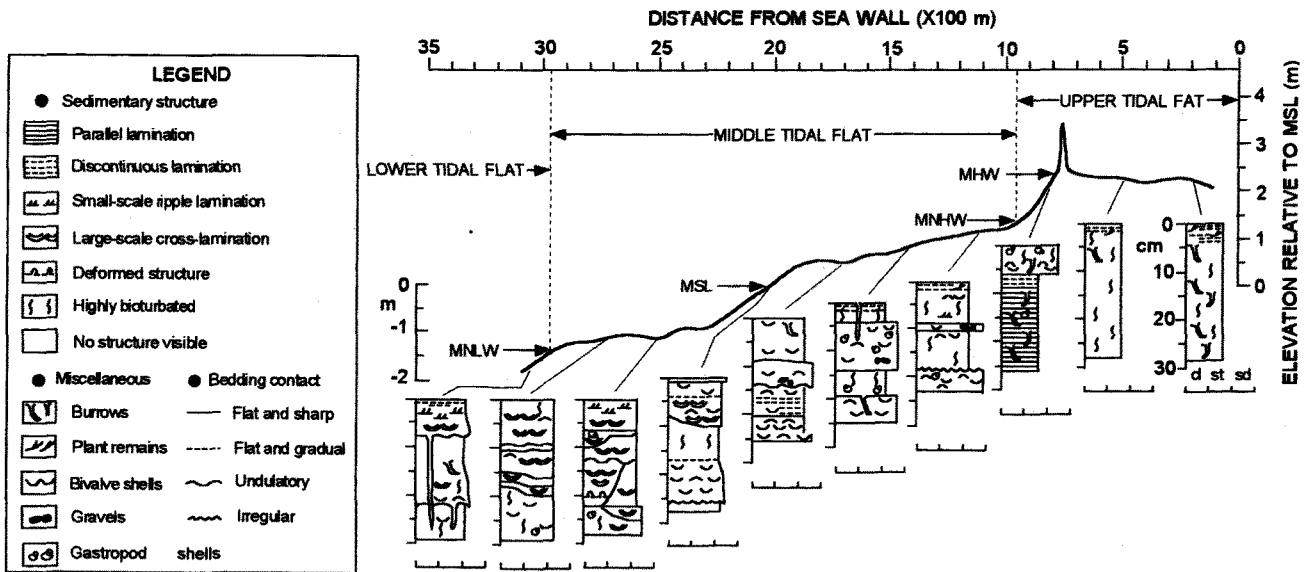


Fig. 8. Graphic summary of cancore peels along Line-SW: MHW=mean high water, MNHW=mean neap high water, MSL=mean sea level, MNLW=mean neap low water.

상호작용, 폭풍파와 만조의 결합, 연안수의 집적(coastal water setup) 등에 의해 해수면이 상승하고 창조류가 강화되어 조립 퇴적상의 경계가 육지쪽으로 이동한다(Aigner, 1985; Ren et al., 1986). 실제로 곶소만 조간대에서는 1992년 9월 23~25일에 지

나간 태풍 Ted에 의해 중·하부 조간대와 조간대사주가 광범위하게 침식되었고(Fig. 3), 쉘니어가 육지쪽으로 크게 이동하였으며(Table 1), 펄질과 모래질의 퇴적상 경계(평균입도 3 φ와 4 φ의 경계)도 육지방향으로 크게(800~900 m) 이동하였다(Fig. 4).

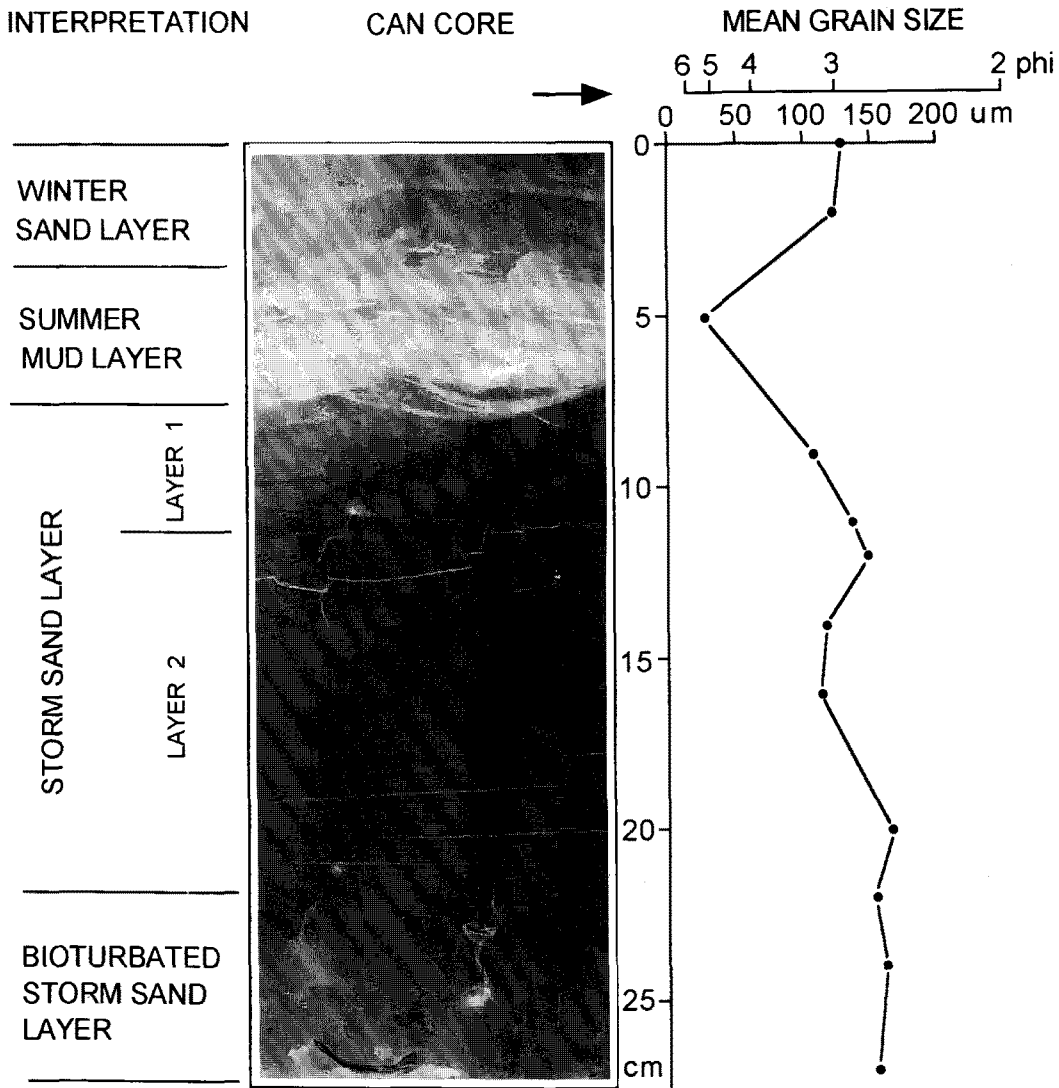


Fig. 9. X-ray radiograph showing the preservation style of sediments on the middle tidal flat of Gomsobay. Arrow indicates a landward direction. Sand-mud interlayers resulting from the seasonal changes of energy regime are shown at the upper part of core, but they are not preserved at the lower part. Storm sand layer shows sharp erosional contact, normal gradings, and the transition of sedimentary structures from low-angle cross-lamination (hummocky cross-strata) to small-scale ripple cross-lamination.

이와 같은 결과는 곰소만 조간대가 대조차 조간대로서 대체로 조석작용의 지배 하에 놓여있지만, 간헐적으로 태풍과 폭풍에 의해 크게 영향받고 있음을 나타낸다.

Fig. 10은 퇴적물 입도, 집적률, 퇴적구조 등의 계절적 변화에 기초한 조간대 퇴적층의 형성과정에 대한 모델로서 태풍과 겨울 폭풍에 대한 조간대의 반응이 조간대의 위치에 따라 매우 다름을 보여주고 있다. 즉 상부 조간대에서는 대체로 퇴적작용이 우세하여 파랑 에너지가 약한 여름에 주로 퇴적이 이루어지고, 파랑 에너지가 강한 태풍과 겨울 폭풍 때에도 소량의 퇴적이 일어난다(Table 2; Fig. 10). 따라서 이 곳에서는 계절에 관계 없이 지속적으로 퇴적이 이루어져 평행염리구조와 생물의 굴착구조(burrows)가 우세한 필질 퇴적층이 형성된다(Table 2; Fig. 10). 그러나 중·하부 조간대에서는 대체로 여름(fairweather of summer)에 퇴적되고, 태풍 때 침식되며(Table 2; Fig. 10), 겨울에는 다시 폭풍에 의해 다량의 모래가 곰소만의 외부로부터 유

입되어 재동면(reactivation surface)과 연흔사층리구조가 우세한 모래질 퇴적층(폭풍 퇴적층)이 형성된다(Table 2; Fig. 10). 그리고 중부 조간대의 상부역(upper middle flat)에서는 부분적으로 태풍의 침식으로부터 잔류된 여름의 필질 퇴적층이 겨울의 모래질 퇴적층에 의해 피복되는 특징을 보인다(Figs. 9, 10). 전반적으로 곰소만의 중·하부 조간대에서 모래질 퇴적물의 유입과 집적이 주로 겨울에 집중되는 까닭은 아마도 겨울철에 해태양식을 위한 구조물에 의해 중·하부 조간대의 에너지가 급격히 감소되기 때문인 것으로 판단된다. 실제로 곰소만의 중·하부 조간대에서는 상부 조간대와 반대로 여름에 조립하고, 겨울에 세립한 특징을 보인다(Fig. 4).

한편 만돌리 부근의 중부 조간대에서 획득한 캔코아 자료는 폭풍 퇴적층의 형성과 보존에 관한 중요한 사실들을 지시해 준다. 즉 만돌리의 중부 조간대 상부에서 약 1년 동안 퇴적층의 형성과정을 추적한 결과, 에너지 조건의 계절적 변화를 반영하

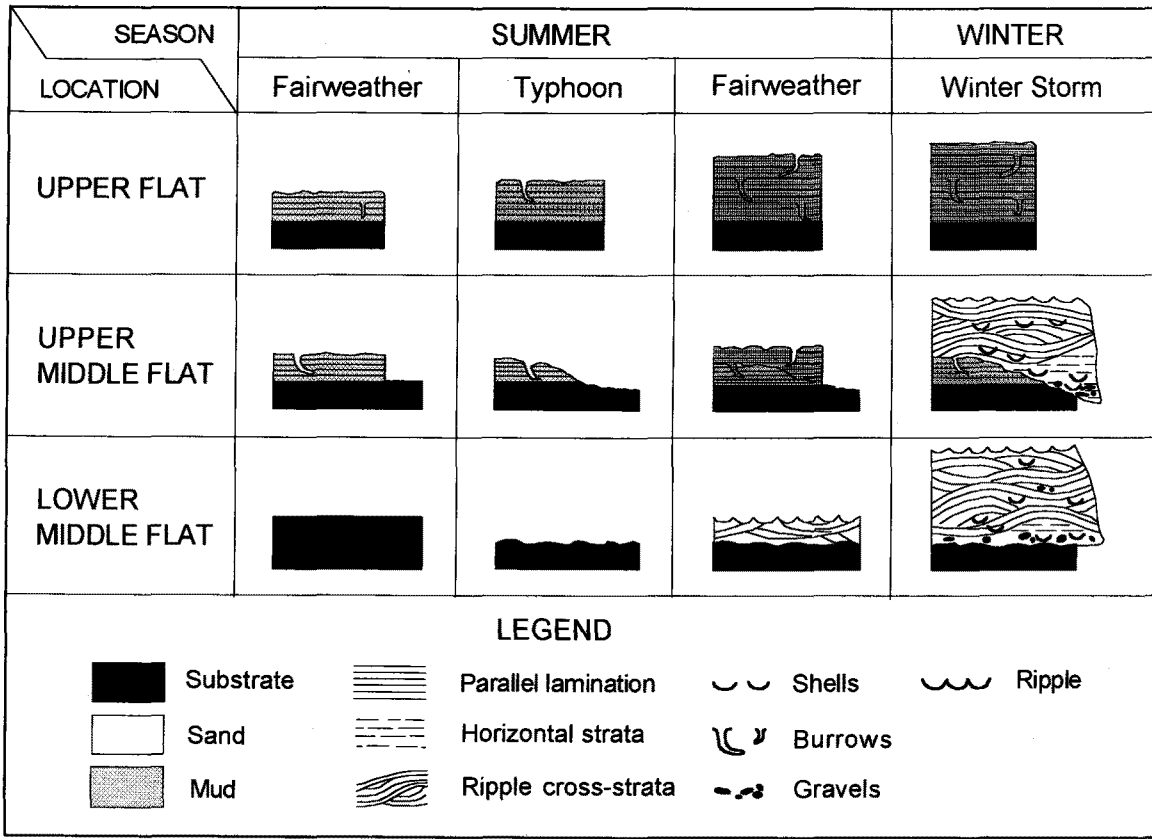


Fig. 10. A model showing the formation of tidal-flat sediments for a year. The upper flat is characterized by continuous mud deposition throughout the year. The upper middle flat experiences alternations of mud deposition in fairweather and mud erosion by typhoons during summer, and sand deposition in winter. The lower middle to lower flat is characterized by sand deposition which is insignificant in summer but becomes overwhelming in winter, but the sand layers are eroded during typhoons.

는 펄-모래의 교호층이 주로 퇴적층의 상부에 보존되었고, 그 하부에는 침식면, 언덕사층리, 연흔사층리, 대칭성 연흔, 정점이 층리 등이 포함된 10~15 cm 두께의 폭풍 퇴적층이 위치하였다 (Fig. 9). 그리고 최하부에는 생물교란된 폭풍 퇴적층이 위치하였다 (Fig. 9). 이와같은 퇴적층의 보존모습은 곰소만의 퇴적환경과 관련하여 다음의 두가지 사실을 지시해주는 것으로 생각된다.

첫째, 퇴적층의 보존과정에 대한 문제이다. 즉 파랑 에너지가 약한 여름에는 퇴적이 주로 조석작용에 의해 조절됨으로써 중부 조간대의 상부역과 상부 조간대에 펄이 집적되나, 파랑 에너지가 강한 겨울에는 중부 조간대의 상부역까지 다량의 모래가 공급됨으로써 모래층이 형성된다. 따라서 계절에 따른 에너지 조건의 변화가 펄-모래의 교호층으로서 퇴적층의 상부에 보존된다. 그러나 퇴적층의 하부로 갈수록 이러한 교호층이 보존되지 않고 폭풍 퇴적층의 출현빈도가 증가하는 사실은 교호층 역시 차후의 강한 폭풍에 의해 재동됨을 나타내며, 이 경우 비교적 조립한 폭풍 퇴적층만이 보존될 수 있음을 지시한다. 그리고 최하부에 보존된 생물교란 퇴적층은 조립한 폭풍 퇴적층이 시간이 흐름에 따라 생물작용에 의해 교란된 것으로 판단된다.

둘째, 조간대층의 퇴적상 해석에 있어 폭풍 퇴적층의 중요성에 대한 문제이다. 위에서 언급된 교아의 채취 지점은 평균 해수면으로부터 약 +1.8 m 높이에 위치한, 만조선에 가까운 지점이다. 따라서 조류의 유속만을 고려할 때, 이 지점은 저에너지

환경으로서 주로 펄이 집적되어야 할 곳이다. 그러나 이 곳에서는 실제로 모래 퇴적상이 우세하고, 모래층 내에는 파랑의 영향을 반영하는 퇴적구조들이 포함되어 있어 폭풍파(storm wave)의 영향이 상부 조간대 근처까지 확장되고 있음을 반영한다. 따라서 곰소만 입구역의 중·하부 조간대에서는 고에너지 조건 하에서 폭풍파의 영향이 더욱 클 것이므로 폭풍파에 의해 재동된 퇴적층(폭풍 퇴적층)이 많을 것으로 사료된다.

그리고 태풍과 겨울 동안의 집적률 자료는 태풍과 겨울 폭풍의 독특한 기능을 암시해 준다. 즉 곰소만의 중·하부 조간대에서 태풍을 전후로 한 시기의 평균 집적률은 대체로 음의 값을 보여 (Table 2; Fig. 6) 태풍이 퇴적기능보다 침식기능이 우세함을 반영한다. 그러나 겨울의 평균 집적률은 대체로 양의 값을 보이고 (Table 2; Fig. 6), 겨울에 형성된 모래층 내에는 다수의 침식면 또는 재동면이 존재하여 (Figs 8, 9) 겨울 폭풍이 퇴적 기능과 침식 및 재동 기능을 함께 가지고 있음을 보여준다. 따라서 곰소만의 중·하부 조간대에서 흔하게 관찰되는 폭풍 퇴적층은 간헐적이고 침식적인 태풍보다는 주로 빈번하고 퇴적기능이 강한 겨울 폭풍(winter storm)에 의해 형성되는 것으로 보인다.

결론

1. 곰소만에서 조간대 지형의 계절적 변화는 주로 조간대사주

(intertidal sand shoal)와 쉐니어(chenier)의 이동에 의해 표시된다. 즉 겨울과 태풍 때에는 조간대사주와 쉐니어가 육지쪽으로 크게 이동하고, 여름에는 조간대사주와 쉐니어의 이동이 제한된다. 그리고 태풍 때 중·하부 조간대에서 광범위한 침식이 일어나며, 여름에 중·상부 조간대에서는 세립 퇴적물이 집적된다.

2. 퇴적물의 계절적 입도변화는 대체로 하부 조간대와 상부 조간대에서 작고, 중부 조간대에서 크다. 특히 중부 조간대의 상부역(upper middle flat)에서는 겨울에 1.5~3 ϕ 범위의 평균입도가 여름에 2.5~5 ϕ 범위로 세립해지고, 태풍 때 다시 1.5~2 ϕ 범위로 조립해진다. 여름철 평균입도의 세립화는 대부분 5.5 ϕ 모드의 펄질 퇴적물의 집적에 의해 야기된다.

3. 곰소만 조간대는 전체적으로 퇴적이 우세한 환경이다(연평균 41 mm/yr). 그러나 퇴적물의 집적양상은 조간대의 위치와 계절에 따라 크게 다르다. 즉 상부 조간대에서는 지속적으로 퇴적이 이루어지고, 겨울(0.5 mm/month)보다 여름(6.4 mm/month)에 퇴적이 우세한 반면, 중부 조간대에서는 여름(4.4 mm/month)보다 겨울(9.8 mm/month)에 퇴적이 우세하고, 태풍(-1.5 mm/month) 때 간헐적으로 침식된다. 그리고 하부 조간대에서는 주로 겨울(19 mm/month)에 퇴적되고, 여름(-0.6 mm/month)과 태풍(-15 mm/month) 때 침식된다. 곰소만의 중·하부 조간대에서 주로 겨울에 퇴적이 우세한 까닭은 해태양식을 위한 구조물 때문인 것으로 판단된다.

4. 에너지 조건의 계절적 변화는 주로 중부 조간대의 상부역(upper middle flat)에서 펄질 모래의 교호층(mud-sand interlayer)으로서 보존된다. 그러나 퇴적층의 하부로 갈수록 폭풍 퇴적층의 출현빈도가 증가한다.

5. 위의 결과들을 종합해 볼 때, 곰소만 조간대와 유사한 다른 서해 조간대에서도 겨울 폭풍과 태풍에 의해 재동된 퇴적층(폭풍 퇴적층)이 많을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 박사후 연수과정(Post-Doc.)에 대한 학술진흥재단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 먼저 학술진흥재단의 관계자 여러분께 감사드립니다. 세밀한 검토와 수정을 통해 본 논문의 질을 높여주신 두 분의 심사위원과 편집위원장님께도 심심한 사의를 표합니다. 아울러 조간대의 수준측량과 퇴적물의 입도분석에 도움을 주신 한국해양연구소의 권수재 선생님과 김광산 선생님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

국립지리원, 1981. 연안해역 기본조사 보고서(석포지구), 56 pp.
 기상청(Korea Meteorological Administration), 1991. 한국기후표: 월평균값(1961-1991), 357 pp.

장진호, 1995. 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용. 서울대학교 박사학위논문, 192 pp.
 장진호, 진승수, 권수재, 신동혁, 한상준, 박용안, 1993. 황해 곰소만 조간대에 발달한 쉐니어(chenier)의 퇴적학적 특성과 진화. 한국해양학회지, 28: 212-228.
 장진호, 박용안, 한상준, 1996. 한국 서해안 곰소만 조간대의 제4기 층서와 해수면 변화. 한국해양학회지, 바다, 1: 59-72.
 한국해양연구소, 1993. 제4기 해수면 변화의 모델개발 및 퇴적환경 변화에 대한 종합연구(II). BSPN 00186-606-5, 120 pp.
 Aigner, T., 1985. Storm Depositional Systems: Dynamic Stratigraphy in Modern and Ancient Shallow Marine Sequence. Springer-Verlag, Berlin, 174 pp.
 Hequette, A. and P.R. Hill, 1993. Storm-generated currents and offshore sediment transport on a sandy shoreface, Tibjak Beach, Canadian Beaufort Sea. Mar. Geol., 113: 283-304.
 Howard, J.D. and H.-E. Reineck, 1981. Depositional facies of high-energy beach-to-offshore sequence: comparison with low energy sequence. Bull. Am. Asso. Petrol. Geol., 65: 807-830.
 Kumar, N. and J.E. Sanders, 1976. Characteristics of shoreface storm deposits: modern and ancient examples. J. Sediment. Petrol., 46: 145-162.
 Morton, R.A., 1981. Formation of storm deposits by wind-forced currents in the gulf of Mexico and the North sea. In: Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin, edited by Nio, S.D., R.T.E. Shuttenehl and Tj.C.E. van Weering, Int. Asso. Sedimentol., Spec. Publ., 5: 385-396.
 Nelson, C.H., 1982. Modern shallow water graded sand layers from storm surges, Bering Shelf: a mimic of Bouma sequences and turbidite systems. J. Sediment. Petrol., 52: 537-545.
 Reading, H.G., 1986. Facies. In: Sedimentary Environments and Facies (2nd edn.), edited by Reading, H.G., Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 4-19.
 Ren, M.E., R. Zhang and J. Yang, 1986. Tidal mudflat of Wanggang, Jangsu Province: a case study. In: Modern Sedimentation in the Coastal and Nearsore Zones of China, edited by Ren, M.E., Springer-Verlag, Berlin, pp. 88-106.
 Wanless, H.R., K.M. Tyrell, L.P. Tedesco and J.J. Dravis, 1988. Tidal-flat sedimentation from Hurricane Kate, Caicos Platform, British West Indies. J. Sediment. Petrol., 58: 724-738.
 Wang, B.C. and D. Eisma, 1988. Mud flat deposition along the Wenzhou coastal plain in the southern Zhejiang, China. In: Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies, edited by de Boer, P.L., A. van Gelder and S.D. Nio, Boston Reidel Publications, Amsterdam, pp. 233-263.

1998년 4월 16일 원고 접수

1998년 6월 20일 수정본 채택