

한반도 서해안과 남해안의 반폐쇄된 만에서 조간대 퇴적물의 계절변화에 관한 비교 연구: 서해안의 함평만과 남해안의 광양만

류 상 옥*

전남대학교 지구환경과학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

Seasonal Variation Patterns of Tidal Flat Sediments in Semi-enclosed Hampyong and Kwangyang Bays, West and South Coasts of Korea

Sang-Ock Ryu*

Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

Abstract: To investigate the seasonal variation patterns of tidal flat sediments in semi-enclosed Hampyong and Kwangyang Bays, respectively west and south coasts of Korea, accumulation rate and grain-size in the sediments were monitored during 2~4 years. The mud flats in the northern and eastern parts of Hampyong Bay were eroded in summer and deposited in winter, but mixed flats in the southern part of the bay show reversed seasonal variations to the mud flats. These variations are most likely connected with wave actions induced by monsoon and physiographic setting of the tidal flats in the bay. In contrast, the tidal flats of Kwangyang Bay were eroded in summer and deposited in other seasons except summer, different from the case of Hampyong Bay. The physiography of Kwangyang Bay are characterized by dominant flood tides and weak wave actions. However, in summer, the surface sediments were abruptly eroded by occasional typhoons and heavy rainfall. These weather conditions appear to be important factors to accelerate erosion on the tidal flat in semi-enclosed bays, south coast of Korea.

Keywords: semi-enclosed tidal flat, seasonal variation, monsoon climate, typhoon, heavy rainfall

요 약: 한반도 서해안과 남해안에 위치한 반폐쇄된 함평만과 광양만에서 조간대 퇴적물의 계절변화를 조사하기 위하여 2~4년 동안 입도와 집적률에 대한 모니터링을 실시하였다. 함평만 조간대의 경우, 니질조간대에서는 겨울에 퇴적되고 여름에 침식되는 반면, 혼합조간대에서는 여름에 퇴적되고 겨울에 침식되는 상반된 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 함평만 조간대에서는 일차적으로 몬순계절풍에 의한 파랑의 발달과 조간대 지형이 퇴적물의 계절변화에 중요한 요소로 작용하기 때문이다. 그러나 광양만 조간대에서는 가을과 겨울, 봄에 퇴적되고 여름에 침식되어 함평만 조간대와는 다른 양상을 보였다. 이와 같은 현상은 광양만 조간대는 함평만 조간대와는 달리 지형적 특징에 따라 파랑의 발달이 제한되어 상대적으로 창조우세의 조류가 중요한 요소로 작용하기 때문이다. 그러나 여름에는 간헐적으로 발생하는 태풍과 폭우가 조간대의 침식을 가속화하며, 이러한 태풍과 폭우는 파랑의 발달이 제한된 남해안의 반폐쇄된 조간대에서 여름 동안 중요한 침식유발 요인으로 작용할 것으로 생각된다.

주요어: 반폐쇄형 조간대, 계절변화, 몬순계절풍, 태풍, 폭우

서 론

조간대(intertidal flat)는 평균간조선과 평균만조선

사이에 위치하는 완경사의 대지로서 해수의 주기적인 상승과 하강에 의해 노출과 침수가 반복되는 육지와 바다 사이의 전이지역(transitional zone)이다. 일반적으로 조간대는 하구(estuary)나 만(bay), 석호(lagoon) 등과 같은 반폐쇄된 환경(semi-enclosed environments) 내에 잘 발달되며, 조석과 파랑 등의 수력학적 조건과 기후 및 기상요소, 생물의 종류와 밀도 등에 의해

*E-mail: soryu@chonnam.ac.kr
Tel: 82-62-514-5323
Fax: 82-62-514-5324

계절변화를 달리하게 되는데, 이들 요인은 지역에 따라 각기 다르게 나타나므로 조간대 퇴적물의 계절변화는 지역적인 특성에 의해 좌우된다(Klein and Sanders, 1964).

조간대 퇴적물의 계절변화에 관한 연구는 온대지역을 중심으로 많은 학자들에 의해 연구되어 왔다(Anderson *et al.*, 1981; Wells and Coleman, 1981; Anderson, 1983; Anderson and Mayer, 1984; Dionne, 1984; Milliman *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1994, 1999; 류상욱외, 1999, 2001; Pejrup and Andersen, 2000; Andersen and Pejrup, 2001; Yang and Chun, 2001; Ryu, 2003). 온대지역의 경우, 극지방에 가까운 조간대에서는 빙원(ice floe)과 바람, 생물의 종류와 밀도 등에 의해 봄과 여름에 퇴적되고 겨울에 침식되는 계절변화를 보인다(Pejrup and Andersen, 2000; Andersen and Pejrup, 2001). 특히 빙원은 극지방에 가까운 온대지역의 니질조간대에서 퇴적물의 재동(reworking)과 이동, 집적에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Anderson, 1983; Dionne, 1984; Pejrup and Andersen, 2000).

그러나 적도지방에 가까운 한국의 서해안 조간대는 몬순계절풍과 겨울 동안 빈번하게 발생하는 폭풍, 여름에 간헐적으로 발생하는 태풍 등에 의해 매우 역동적인 해양환경을 유지한다. 이에 따라 개방형 조간대(open tidal-flat)에서는 몬순계절풍의 영향에 따라 파랑 에너지가 강화되는 겨울에는 침식되고 파랑에너지가 약화되는 여름에는 퇴적되는 이원적 계절변화를 보이는(Lee *et al.*, 1994; 1999; Yang and Chun, 2001) 반면, 반폐쇄형 조간대(semienclosed tidal-flat)에서는 파랑의 영향을 강하게 받는 곳에서는 개방형 조간대와 동일한 계절변화를 보이지만 파랑의 영향을 약하게 받는 조간대에서는 비정상적으로 여름에 침식되고 겨울에 퇴적되어 개방형 조간대와 상반된 경향을 보인다(류상욱외, 1999, 2001; Ryu, 2003). 이와 같은 조간대 퇴적물의 계절변화는 반폐쇄형 조간대 임에도 불구하고 계절풍의 영향을 강하게 받는 한국의 서해안 조간대에 국한된 결과로 계절풍의 영향을 상대적으로 약하게 받을 것으로 예측되는 남해안의 반폐쇄형 조간대에서는 아직까지 보고된 바 없다.

따라서 본 연구는 서해안과 남해안의 반폐쇄된 함평만과 광양만을 대상으로 조간대 퇴적물의 계절변화 양상을 제시하고, 계절변화를 유발하는 요인을 상호 비교하여 밝히는데 그 목적을 두고 있다.

지역 개관

한반도의 서해 남부에 위치하는 함평만은 최대 폭 12km, 길이 17km의 비교적 큰 만으로서, 육지와 연결된 큰 규모의 수계가 존재하지 않고 만 입구가 북서 방향으로 열려있는 반폐쇄형 만이다(Fig. 1). 주조류로(main tidal channel)는 폭이 좁고 만 입구에서 남동 해안을 따라 북서-남동 방향으로 발달되어 있으며, 조간대는 주조류로의 가장자리를 따라 발달되어 있으며 조간대 내에는 크고 작은 조간대사주(intertidal sand bar)와 조류로, 그리고 조류세곡(tidal creek) 등이 잘 발달되어 있다. 특히 상부조간대의 해안선 부근에는 2~5m 높이의 해안절벽이 노출되어 있고, 그 중 남동측 조간대의 해안선 부근에서는 해안침식이 활발하게 진행되고 있다(류상욱외, 1999; 장진호외, 1999; 임동일외, 2002). 표층퇴적물은 잔자갈에서 점토에 이르기까지 입도 범위가 대단히 넓으며 지역적인 특성에 따라 그 분포를 달리한다(Fig. 2). 조립질퇴적물은 주조류를 포함한 조하대와 남측 조간대에 우세하게 분포하며, 만 입구와 남측 조간대의 양방향에서 만의 중심으로 갈수록 세립해지는 2-모드 분포를 보인 반면, 세립질퇴적물은 함평만의 동·서측 조간대에 우세하게 분포하고 해안선 부근을 제외하고는 균질한 분포 양상을 보인다. 조석은 반일주조(semidiurnal tide)의 특징을 보이는데, 만 입구에서 조류의 최강유속은 창조시 125cm/sec, 낙조시 138cm/sec로 낙조류가 창조류보다 다소 우세한 편이다(National Geography Institute, 1983). 조차는 평균 315.4cm이며, 대조차와 소조차는 각각 425.3cm와 205.4cm이다(National Geography Institute, 1983). 1991부터 2000년까지 최근 10년간 목포기상대에서 관측된 기상 자료에 의하면 연구지역의 기온은 평균 14.1°C이며, 강수량은 평균 1,078.6mm로서 주로 여름(6~8월)에 집중된다(Table 1). 최대풍속은 연평균 15.5m/sec로 겨울에는 한랭건조한 북서풍 계열이, 여름에는 고온다습한 남풍 계열의 바람이 영향을 미치나 전체적으로는 북서풍이 대단히 우세하다. 풍속 13.9m/sec 이상의 폭풍은 평균 22.6일로서 주로 겨울(12~2월)에 집중되며 17m/sec 이상의 태풍은 주로 여름(6~9월)에 집중되어 평균 1.3회가 연구지역을 통과한다(Korea Meteorological Administration, 1991-2000).

남해안의 중앙부에 위치한 광양만은 동서 방향으로

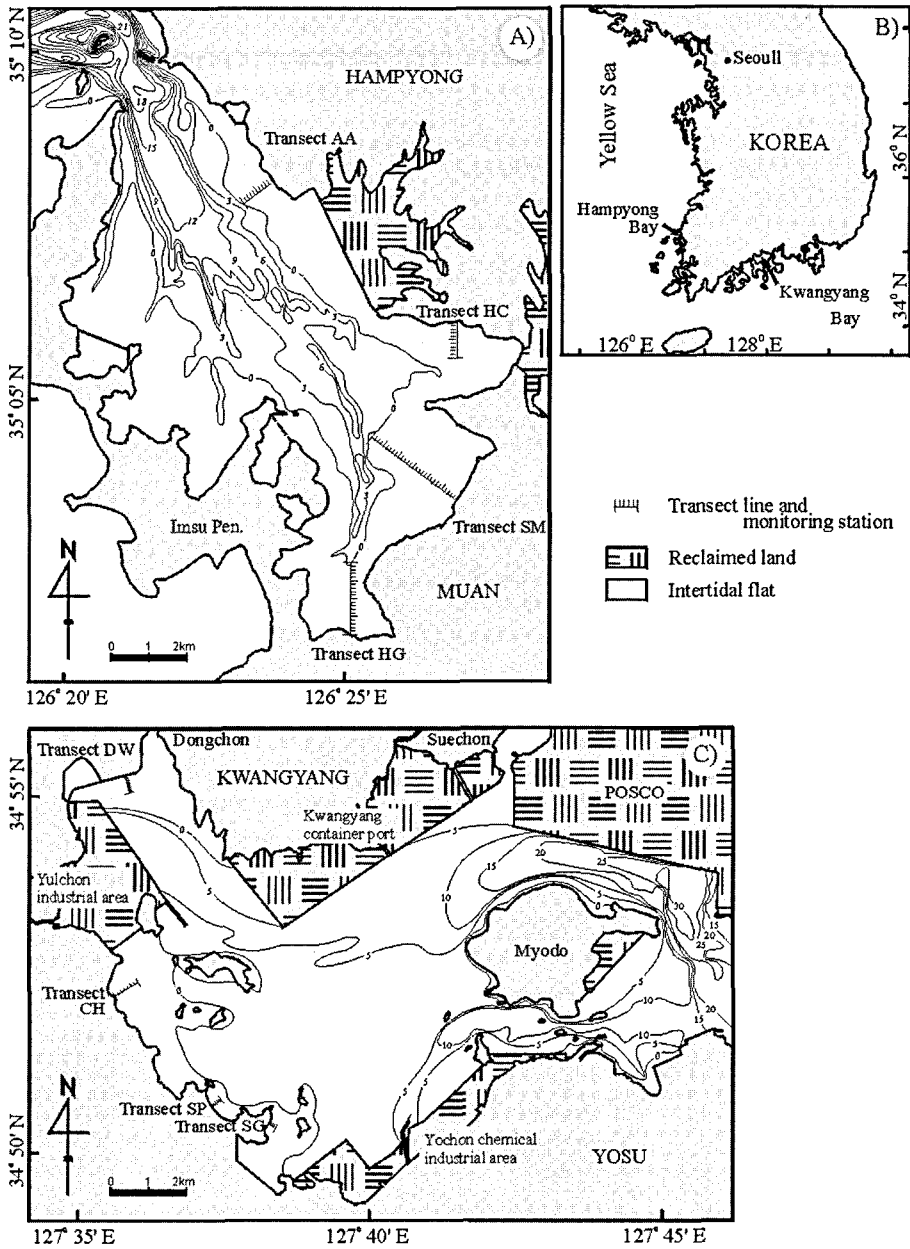


Fig. 1. Location map of Hampyong and Kwangyang Bays showing bathymetry and monitoring stations. Eight transects (Transects AA, HC, SM, HG, DW, CH, SP, and SG) across the tidal flat were subject to precise levelling at regular intervals of 50 or 100 m. Bathymetry (relative to MLWL) is from National Geography Institute (1983, 1990); depth in metre. A) Hampyong Bay, B) Index map, C) Kwangyang Bay.

신장되어 있으며, 여수반도와 남해도로 둘러 쌓여 만 입구가 동측으로 열려 있는 반폐쇄형 만이다(Fig. 1). 만 입구에 위치하는 묘도를 중심으로 북서측으로는 동천, 북측으로는 섬진강 지류인 수어천, 동측으로는 노랑해협을 통하여 진주만과 연결되어 있으며, 남측

으로는 여수해만으로 이어진다. 수심은 만의 서측과 남측이 얇아서 대체적으로 5m 이하이며, 묘도의 북측과 남측은 수심 20m 이상으로 수로가 발달되어 있다. 표층퇴적물은 4φ 이하의 퇴적물이 90% 이상이며, 이 중 60% 이상이 점토로 구성되어 있어 전체적으로 세

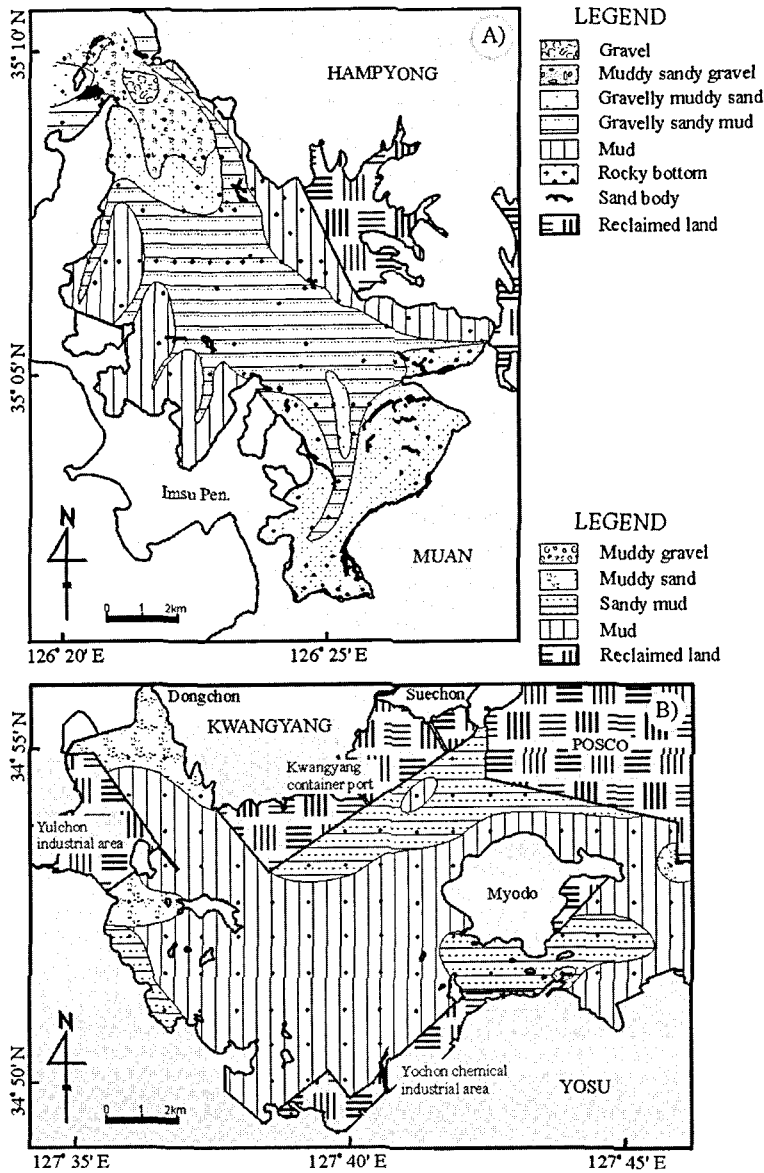


Fig. 2. Map showing distribution of surface sediments in Hampyong and Kwangyang Bays. Sedimentary facies were classified according to Folk' (1968) schme. A) Hampyong Bay, B) Kwangyang Bay.

립질퇴적물이 대단히 우세한 분포를 보인다(Fig. 2). 조석은 반일주조로 일조부등이 다른 지역에 비해 약하게 나타나며, 대조기의 평균조차는 290cm이다(National Geography Institute, 1990). 조류의 유속은 조하대에서 50~75cm/sec 범위이며, 수로에서 최고 100cm/sec에 이른다(포항종합제철주식회사, 1982). 1991년부터 2000년까지 최근 10년간 남해기상대에서 관측된 기상자료에 의하면 연구지역의 연평균 기온은

평균 14.1°C이고, 연평균 강수량은 1,893.5mm로서 주로 여름(6~8월)에 집중되며, 최대폭속은 연평균 9.2m/sec로 겨울에는 한랭건조한 북서풍 계열이, 여름에는 고온다습한 남풍 계열의 바람이 영향을 미치나 전체적으로는 북서풍이 대단히 우세하다(Table 1). 풍속 13.9m/sec 이상의 폭풍은 평균 1.0일로서 발생빈도가 대단히 낮으며 17m/sec 이상의 태풍은 주로 여름(6~9월)에 집중되어 연평균 1.2회가 연구지역을 통과한다

Table 1. Weather condition of Hampyong and Kwangyang Bays, based on annual reports of Korea Meteorological Administration (1991-2000). Note that the averaged wind direction is changed from northwesterly into southerly in the summer season (June to August) with a decrease in wind speed. Precipitation for the three months from June to August comprises approximately half the yearly total

	Region	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Averaged wind speed (m/s)	Hampyong Bay	4.8	5.0	4.5	4.1	4.0	3.4	3.8	3.5	3.6	3.9	4.1	4.2
	Kwangyang Bay	2.1	2.1	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8
Maximun wind speed (m/s) and direction (degree)	Hampyong Bay	16.0 NW	16.9 NW	15.8 NW	15.9 S	14.4 SE	14.7 S	13.2 SSW	16.2 S	14.8 NNW	15.3 NW	16.2 NW	16.4 NW
	Kwangyang Bay	9.8 NW	10.5 NW	9.3 NW	10.3 NW	8.8 WNW	8.5 SE	9.7 ESE	9.0 SW	8.3 NNE	8.2 WNW	8.8 WNW	9.6 WNW
Averaged storms (days/month)	Hampyong Bay	3.1	3.1	2.6	1.6	0.8	1.2	0.6	1.1	0.8	1.2	2.8	3.7
	Kwangyang Bay	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Averaged precipitation (mm/month)	Hampyong Bay	30.7	29.9	75.4	56.2	69.0	166.6	184.9	206.3	131.5	46.9	51.8	29.3
	Kwangyang Bay	37.1	43.2	120.2	143.0	195.5	270.7	347.0	380.0	185.3	72.7	69.1	29.8

(Korea Meteorological Administration, 1991-2000).

재료 및 방법

서해안의 함평만과 남해안의 광양만에서 조간대 퇴적물의 계절변화를 조사하기 위해 함평만과 광양만 조간대에서 총 8개의 측선(측선 AA, HC, SM, HG, DW, CH, SP, SG)을 설정하고, 그 측선상에서 표층 퇴적물과 집적물에 대한 모니터링을 실시하였다(Fig. 1). 함평만에서는 1995년 1월부터 1999년 2월까지 4년 동안 20회에 걸쳐 수행되었으며, 광양만에서는 2001년 5월부터 2003년 5월까지 2년 동안 14회에 걸쳐 반복하여 수행되었다. 조간대에서 시료채취는 표층 2cm 이내에서 플라스틱 스푼을 이용하였으며, 이들의 위치는 GPS(GARMIN 100 SRVY II, USA)를 사용하여 측정하였다. 집적물은 해저면 아래의 일정 깊이에서 30×30cm의 아크릴판을 기준점으로 설치하고, 주위 환경과 동화될 수 있도록 1~2개월을 기다린 다음, 해저면에서 기준면까지의 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 이때 아크릴판이 물의 침투에 의해 상하로 이동하는 것을 방지하기 위하여 아크릴판 곳곳에 구멍을 뚫었으며, 좌우로 이동되는 것을 방지하기 위해서 판의 모서리 부분에 구멍을 뚫고 PVC파이프로 고정하였다. 본 연구에 사용된 방법은 ±2mm의 오차범위를 갖는다(Pejrup and Andersen, 2000). 한편, 측선상의 고도는 레벨(Topcon AT-G3)을 사용하여 측량하였으며, 기준점 및 각 측정점의 고도는 국립지리원이 설치한 삼각점의 고도값을 기준으로 하였다.

퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의거하였으며, 측정된 자료는 그래픽 방법에 의해 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 통계적 입도 상수를 구하였다(Folk and Ward, 1957). 또한 10φ보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의한 균등분배방식을 이용하여 구분하였다.

결 과

지형 및 퇴적물 분포

지형은 그 지역의 수리환경 및 퇴적물의 이동양상 등에 따른 퇴적작용의 역사를 반영하는 중요한 요소이다. 따라서 조간대 지형을 파악하는 것은 조간대의 퇴적작용을 이해하는 가장 기본적인 요소라 할 수 있다. 서해 남부에 위치한 함평만 조간대는 퇴적물의 조직에 따라 니질조간대(mud flat)와 혼합조간대(mixed flat)로 구분된다. 니질조간대는 만의 동측과 서측에 위치하고 평균 6φ 내외의 세립질퇴적물이 우세하게 분포하는 조간대로(측선 AA, HC), 전반적으로 조간대의 발달이 빈약하고 위쪽으로 오목한(concave-upward) 지형단면을 보이며 조간대 내에는 조류로(tidal channel) 및 조류세곡(tidal creek)이 잘 발달되어 있다(Fig. 3A, B). 조류로는 폭이 좁고 수심이 깊으며 사행(meandering)하는 특징을 보이며, 조간대사주(sand bar and shoal)는 간조선 주변에 협소하게 분포한다. 혼합조간대는 만의 남측에 위치하고 조립질과 세립질퇴적물이 혼재(평균 1φ 내외)되어 분포하는 조간대로(측선 SM, HG), 조간대의 발달이 양호하고 위쪽으로 볼록한(convex-upward) 지형단면

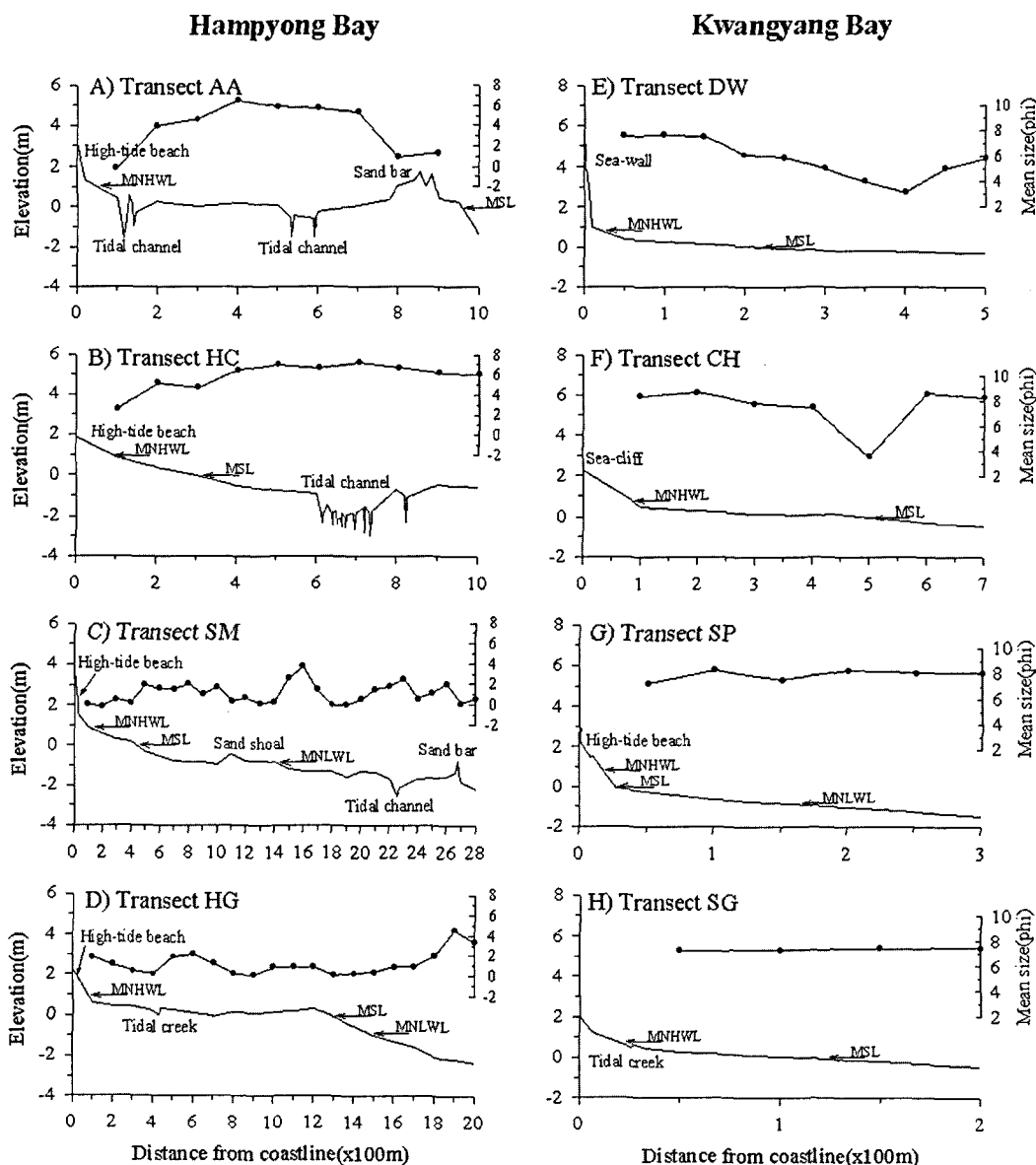


Fig. 3. Elevation and mean grain-size of transect lines (Transects AA, HC, SM, HG, DW, CH, SP, and SG) across the tidal flat of Hampyong and Kwangyang Bays in Jan. 1995 and May 2001. MNHWL = mean neap high water level; MSL=mean sea level; MNLWL=mean neap low water level. For location, see Fig. 1.

을 보이며 조간대 내에는 크고 작은 조간대사주가 잘 발달되어 있다(Fig. 3C, D). 조간대사주는 조간대 곳곳에 다양한 형태로 분포하고 있으며(Fig. 2A), 조류로는 니질조간대에 비해 상대적으로 폭이 넓고 수심이 얕으며 끈게 뻗어 있어 니질조간대와는 다른 형태를 보인다.

이에 반해 남해 중앙부에 위치하는 광양만 조간대

는 만의 서측을 따라 협소한 분포를 보이며, 전체적으로 평균 8φ 내외의 니질퇴적물이 우세하게 분포한다(Fig. 2B). 조간대 내에는 조류로 및 조류세곡, 조간대사주의 발달이 대단히 미약하고, 만조선 주변을 제외하고는 전체적으로 매우 평탄한 지형단면을 보여 함평만 조간대와는 뚜렷하게 다른 경향을 보인다(Fig. 3E, F, G, H).

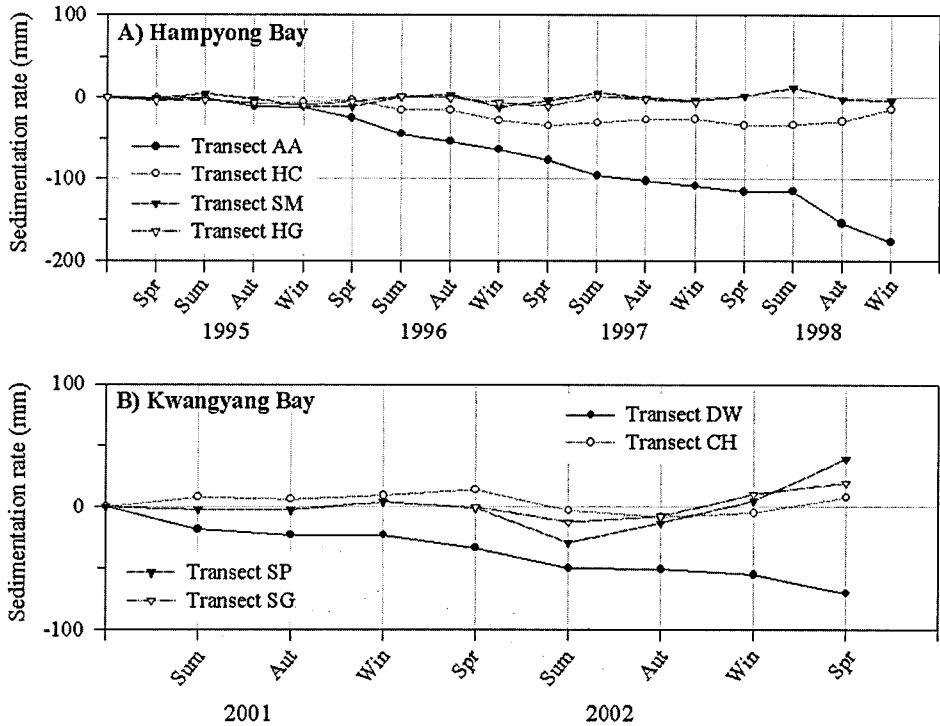


Fig. 4. Seasonal variation in surficial accumulation on the Hampyeong and Kwangyang Bay tidal flats. Each curves represent the mean sedimentation rate during the one season. For location of measuring sites, see Fig. 1.

퇴적물의 계절적 변화

Fig. 4는 함평만과 광양만 조간대의 8개 측선에서 2~4년 동안 모니터링된 퇴적물의 계절적 변화를 도시한 것이다. 함평만 조간대의 경우, 니질조간대(측선 HC)에서는 규칙적이지는 않으나 봄과 여름을 중심으로 침식되고 가을과 겨울을 중심으로 퇴적되는 경향을 보인다. 그러나 조간대 후면에 인위적인 매립에 의해 호안(sea-wall)이 건설된 측선 AA에서는 계절에 무관하게 지속적으로 침식되는 경향을 보인다(Fig. 4A, Table 2). 반면 혼합조간대(측선 SM, HG)에서는 겨울에 침식되고 여름에 퇴적되는 뚜렷한 계절변화를 보인다(Fig. 4A, Table 2). 광양만 조간대의 경우, 만의 북서측에 위치하고 조간대 후면에 인위적인 매립에 의해 호안이 건설된 측선 DW에서는 계절에 무관하게 지속적으로 침식되며, 특히 봄과 여름에 침식이 가속화되는 경향을 보인다(Fig. 4B, Table 3). 만의 서측에 위치하는 측선 CH에서는 여름과 가을에 침식되고 겨울과 봄에 퇴적되는 경향을 보인다. 또한 남서측에 위치하는 측선 SP와 SG에서는 가을과 겨울, 봄에는 퇴적되고 여름에는 뚜렷하게 침식되는 경

향을 보인다(Fig. 4B, Table 3).

한편, 함평만과 광양만 조간대에서 모니터링된 퇴적물은 지형적 특성에 따라 서로 다른 양상을 보인다(Tables 2 and 3). 함평만 조간대의 퇴적물은 $-0.9 \sim -44.1 \text{ mm yr}^{-1}$ 범위로 관측된 모든 측선에서 침식되는 경향을 보였다. 측선 HC, SM, HG에서는 $-0.9 \sim -3.5 \text{ mm yr}^{-1}$ 범위로 수 mm yr^{-1} 의 침식율을 보이는데 반해, 조간대 후면에 인위적인 매립에 의해 호안이 건설된 측선 AA에서는 -44.1 mm yr^{-1} 로 활발하게 침식되는 경향을 보였다(Table 2). 광양만 조간대의 경우, 만의 북서측에 위치하고 조간대 후면에 인위적인 매립에 의해 호안이 건설된 측선 DW에서는 -35.2 mm yr^{-1} 로 활발하게 침식되는 경향을 보였다. 그러나 만의 서측에 위치하는 측선 CH와 남서측에 위치하는 측선 SP, SG에서는 각각 $+4.0 \text{ mm yr}^{-1}$, $+19.7 \text{ mm yr}^{-1}$, $+19.5 \text{ mm yr}^{-1}$ 로 측선 DW와는 상반되게 퇴적되는 경향을 보였으며, 특히 측선 SP와 SG에서는 대단히 높은 퇴적률을 보여 광양만 조간대의 퇴적현상이 남서측 조간대를 중심으로 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다(Table 3).

Table 2. Sedimentation rates along transect lines on the Hampyong Bay tidal flat during 1995-1998

Sites	Seasonal sedimentation rates (mm)				ASR (mm yr ⁻¹)
	Spring (3-5)	Summer (6-8)	Autumn (9-11)	Winter (12-2)	
1995					
Transect AA	-2.1	+1.1	-10.1	-1.0	
Transect HC	-0.4	-1.6	-6.2	+2.6	
Transect SM	-0.5	+5.4	-6.4	-8.8	
Transect HG	-3.8	+0.5	-3.0	-2.8	
1996					
Transect AA	-13.0	-19.7	-9.1	-9.9	
Transect HC	+2.7	-12.4	+0.1	-12.9	
Transect SM	-1.2	+12.3	+2.7	-15.3	
Transect HG	+4.2	+6.2	-1.6	-5.7	
1997					
Transect AA	-13.7	-18.9	-6.4	-5.8	
Transect HC	-6.2	+3.6	+4.0	+0.5	
Transect SM	+7.9	+10.0	-6.8	-2.8	
Transect HG	-4.4	+11.9	-3.5	-3.4	
1998					
Transect AA	-7.2	+0.9	-38.8	-22.6	
Transect HC	-7.6	+0.3	+4.5	+15.0	
Transect SM	+5.3	+10.2	-13.5	-2.3	
Transect HG	?	?	?	?	
Average					
Sites	1995-1998	1995-1998	1995-1998	1995-1998	
Transect AA	-9.0	-9.2	-16.1	-9.8	-44.1
Transect HC	-2.9	-2.5	+0.6	+1.3	-3.5
Transect SM	+2.9	+9.5	-6.0	-7.3	-0.9
Transect HG	-1.3	+6.2	-2.7	-4.0	-1.8

ASR: Annual sedimentation rate, +: Deposition, -: Erosion

입도의 계절적 변화

Fig. 5는 함평만과 광양만 조간대의 8개 측선에서 2~4년 동안 모니터링된 퇴적물의 평균입도(mean grain-size) 변화를 도시한 것이다. 함평만 조간대의 경우, 니질조간대(측선 AA, HC)에서는 다소의 예외는 있으나 주로 겨울에 세립해지고 여름에 조립해지는 경향을 보인다(Fig. 5A). 이와 같은 변화는 만 입구에 근접한 측선 AA에서 뚜렷하게 나타난 반면, 만 입구에서 멀리 떨어져 있는 측선 HC에서는 상대적으로 미약하게 나타난다. 그러나 혼합조간대(측선 SM, HG)에서는 여름을 중심으로 세립해지고 겨울을 중심으로 조립해져 니질조간대와는 상반된 경향을 보인다(Fig. 5A).

한편 광양만 조간대의 경우, 만의 북서측에 위치한 측선 DW에서 평균입도는 가을과 겨울, 봄에는 뚜렷한 계절변화를 보이지 않지만 여름에는 조립해지는 경향을 보인다. 반면, 만의 서측과 남서측에 위치

하는 측선 CH와 SP, SG에서는 겨울을 중심으로 다소 세립해지고 여름을 중심으로 다소 조립해지는 경향을 보인다(Fig. 5B).

Fig. 6은 함평만과 광양만 조간대의 측선 AA, SM, CH에서 한번의 조사기간 동안 채취·분석된 각 측선의 모든 퇴적물을 평균하여 도시한 것으로, 계절에 따른 조립 또는 세립 꼬리의 수직적 증감과 최빈값(mode)의 이동에 의한 입도점미(size grading) 현상을 잘 보여준다. 함평만 니질조간대의 측선 AA에서는 봄에는 -2~1φ 범위와 5~6φ 범위에서 최빈값을 보이나, 여름에는 세립계층의 최빈값이 4~5φ 범위로 이동되고 조립계층의 함량이 상대적으로 증가하여 조립해지는 경향을 보인다. 그러나 겨울에는 세립계층의 최빈값이 5~6φ 범위로 다시 이동되고 세립계층의 함량이 상대적으로 증가하여 세립해지는 경향을 보인다(Fig. 6A). 반면 혼합조간대의 측선 SM에서는 봄에는 -1~0φ 범위와 5~6φ 범위에서 최빈값을 보이나,

Table 3. Sedimentation rates along transect lines on the Kwangyang Bay tidal flat during 2001-2003

Sites	Seasonal sedimentation rates (mm)				ASR (mm yr ⁻¹)
	Summer (6-8)	Autumn (9-11)	Winter (12-2)	Spring (3-5)	
<i>2001-2002</i>					
Transect DW	-18.6	-4.8	0.0	-10.2	
Transect CH	+7.8	-1.6	+3.2	+4.8	
Transect SP	-2.5	-0.3	+7.0	-5.2	
Transect SG	?	?	?	?	
<i>2002-2003</i>					
Transect DW	-16.6	-0.7	-4.3	-15.2	
Transect CH	-17.3	-5.2	+3.2	+12.9	
Transect SP	-28.8	+16.6	+18.0	+34.6	
Transect SG	-12.4	+4.5	+18.4	+9.1	
Average					
Sites	2001-2003	2001-2003	2001-2003	2001-2003	
Transect DW	-17.6	-2.8	-2.2	-12.7	-35.3
Transect CH	-4.8	-3.4	+3.2	+8.9	+3.9
Transect SP	-15.7	+8.2	+12.5	+14.7	+19.7
Transect SG	-12.4	+4.5	+18.4	+9.1	+19.6

ASR: Annual sedimentation rate, +: Deposition, -: Erosion

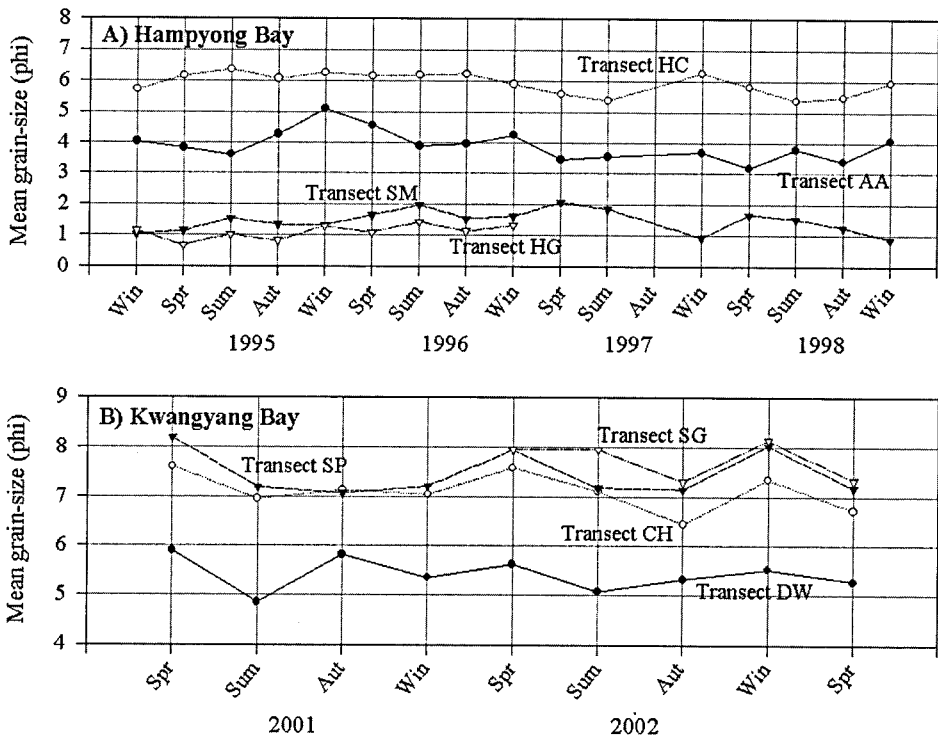


Fig. 5. Mean grain-size variations of surface sediment on the Hampyong and Kwangyang Bay tidal flats. Each curves represent an average of mean grain-size from all surface samples taken during the corresponding seasons. For location of measuring sites, see Fig. 1.

여름에는 세립계층의 최빈값이 7~8φ 범위로 이동되고 세립계층의 함량이 상대적으로 증가하여 세립해지

는 경향을 보인다. 그러나 겨울에는 세립계층의 최빈값이 5~6φ 범위로 다시 이동되고 조립계층의 함량이

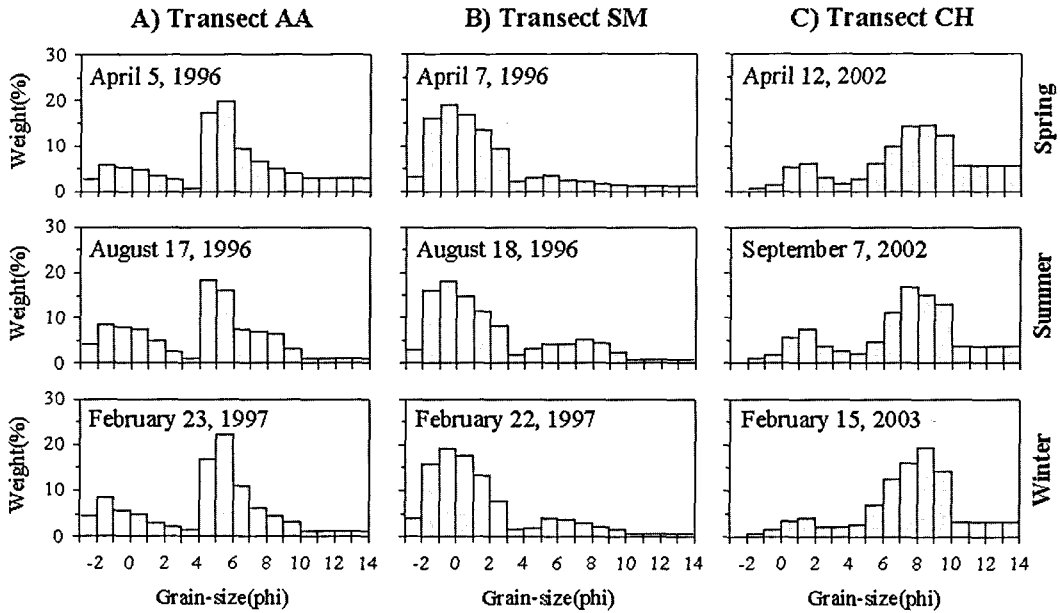


Fig. 6. Average size-frequency curves showing drastic seasonal changes. Each histogram represents an average of size data from all surface samples taken along Transects AA, SM, and CH, during the corresponding survey. For location, see Fig. 1.

상대적으로 증가하여 조립해지는 니질조간대와는 상반된 경향을 보인다(Fig. 6B).

한편 광양만 조간대의 측선 CH에서는 봄에는 1~2φ 범위와 8~9φ 범위에서 최빈값을 보이며, 10φ 이하의 점토 함량비가 20% 이상으로 매우 높다. 그러나 여름에는 세립계층의 최빈값이 7~8φ 범위로 이동되고 10φ 이하의 점토 함량비가 뚜렷하게 감소하여 상대적으로 조립해지는 경향을 보인다. 또한 겨울에는 세립계층의 최빈값이 8~9φ 범위로 다시 이동되고, 10φ 이하의 점토 함량비는 뚜렷한 변화를 보이지 않으나 조립계층의 함량비가 감소하여 상대적으로 실트(4~9φ 범위) 함량비가 증가하는 입도의 점이현상을 보인다(Fig. 6C).

토의 및 결론

함평만과 광양만은 홀로세 이전 한국의 서해 남부 와 남해 중부 쪽으로 뻗어있던 강골짜기(river valley)가 홀로세 해수면 상승으로 침수된 반폐쇄형 만이다(추용식의, 2000). 이러한 반폐쇄형 만에서는 퇴적물의 이동과 집적이 일차적으로 조석에 의해 조절되는 특징을 보인다. 이에 따라 반폐쇄형 만에서는 일반적으로 사질조간대(sand flat)보다는 니질조간대(mud

flat)의 발달이 우세하고, 조간대 퇴적물은 침식지연(scour lag) 및 퇴적지연(settling lag) 작용에 의해 고조선 방향으로 세립해지는 경향을 보이며, 전반적으로 사주(sand bar)의 발달이 제한되는 특징을 보인다(Postma, 1961; Frey et al., 1989; Wells et al., 1990; Alexander et al., 1991). 그러나 만 입구가 매우 좁은 반폐쇄된 만 내에 발달한 함평만 조간대는 니질조간대 뿐 아니라 혼합조간대(mixed flat)가 잘 발달되어 있고 저조선 방향으로 세립해지는 경향을 보이며, 사주가 잘 발달되어 있어 반폐쇄된 만 내의 일반적인 조간대 특징들과는 다른 양상을 보인다(류상옥외, 1997). 또한 만 입구가 북서 방향으로 열려 있고 북서-남동 방향으로 전개되는 주요류로(main tidal channel)의 발달양상이 계절풍의 방향과 일치되어 주요류로의 측면에 위치하는 조간대(측선 AA, HC)와 전면에 위치하는 조간대(측선 SM, HG)가 뚜렷하게 대비되는 특징을 보인다. 주요류로의 측면에 위치하는 조간대는 니질퇴적물이 우세하게 분포하고 대부분의 지역이 평균해수면보다 높은 곳에 위치하여 대기 중에 노출되는 시간이 많으며, 조류로 및 조류세곡의 발달이 현저하고 사행하는 특징을 보인다. 그러나 주요류로의 전면에 위치하는 조간대는 사질 퇴적물이 우세하게 분포하고 대부분의 지역이 평균해수

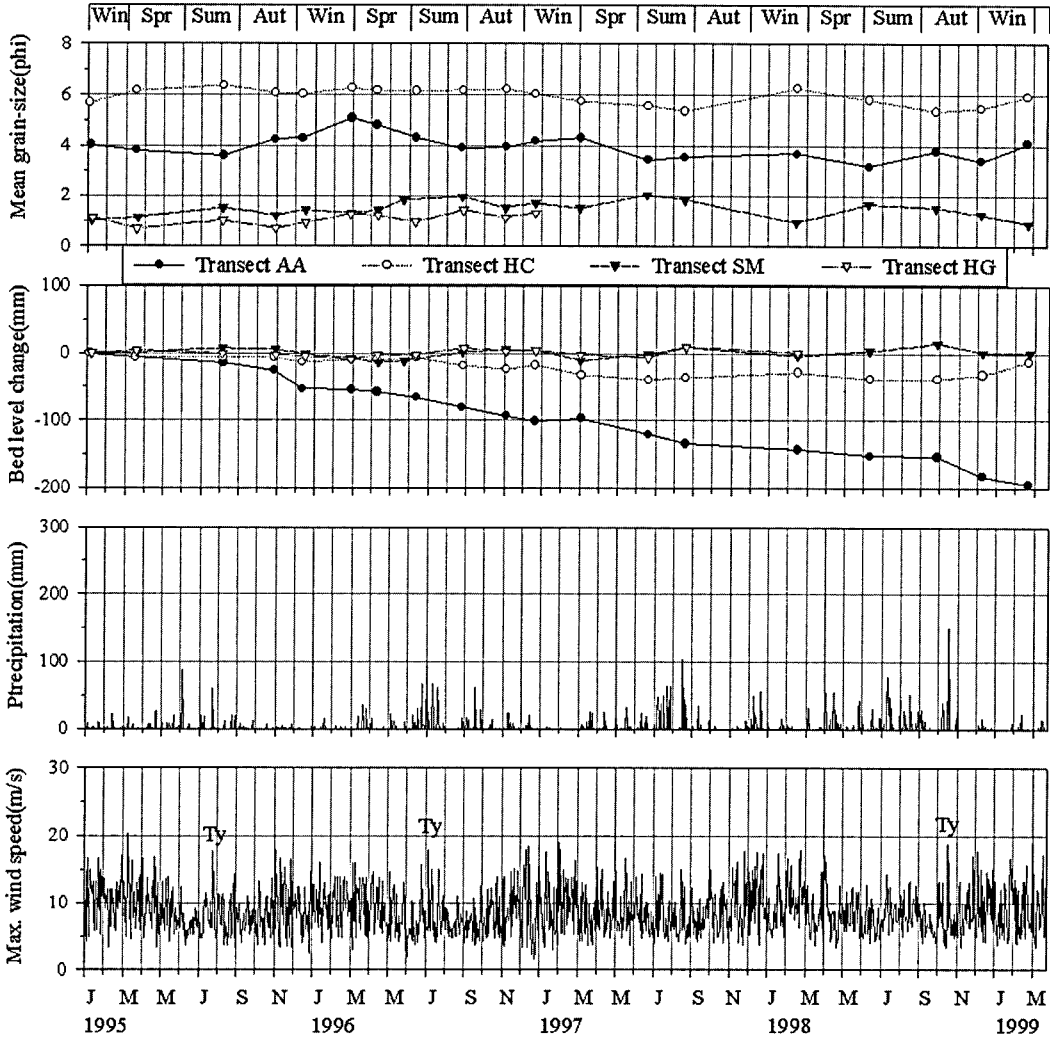


Fig. 7. Seasonal variation of mean grain-size and sedimentation rate on the Hampyong Bay tidal flats during the survey period.

면 근처나 낮은 곳에 위치하여 대기 중에 노출되는 시간이 상대적으로 짧으며, 조류로 및 조류세곡의 발달이 미약하고 직선에 가까운 형태를 보인다. 이와 같은 복잡한 특징들은 조간대 퇴적물의 계절변화에 있어서 뚜렷한 차이를 유발한다.

겨울에는 빈번하게 발생하는 폭풍(북서풍) 등에 의해 파랑에너지가 강화되고 해저퇴적물이 재부유되면서 조간대로 공급되는 부유퇴적물의 농도는 뚜렷하게 증가한다(Chough and Kim, 1981; Wells and Huh, 1984; Wells, 1988; Wells *et al.*, 1990). 이에 따라 니질조간대(측선 HC)에서는 부유퇴적물의 공급 증가와 상대적으로 낮은 파랑에너지에 의해 퇴적되고 세립해지는 경향을 보인다. 그러나 조간대 후면에 인위

적인 매립에 의해 호안이 건설된 측선 AA에서는 평균입도는 세립해지나 침식되는 양상을 보인다. 반면, 혼합조간대(측선 SM, HG)에서는 부유퇴적물의 공급은 증가하나 상대적으로 강한 파랑에너지에 의해 재부유(resuspension)되는 퇴적물의 양이 많아 침식되고 조립해져 서해안의 개방형 조간대와 유사한 계절변화(Chun *et al.*, 1998, Lee *et al.*, 1999)를 보인다(Figs. 4 and 6).

한편, 서해안의 여름은 간헐적으로 발생하는 태풍 등에 의해 파랑에너지가 강화되기도 하지만 태풍이 서해안을 직접 통과하지 않는 한 파랑의 영향은 겨울에 비해 현저히 감소하고, 부유퇴적물의 농도 또한 감소하는 경향을 보인다. 이에 따라 혼합조간대는 저

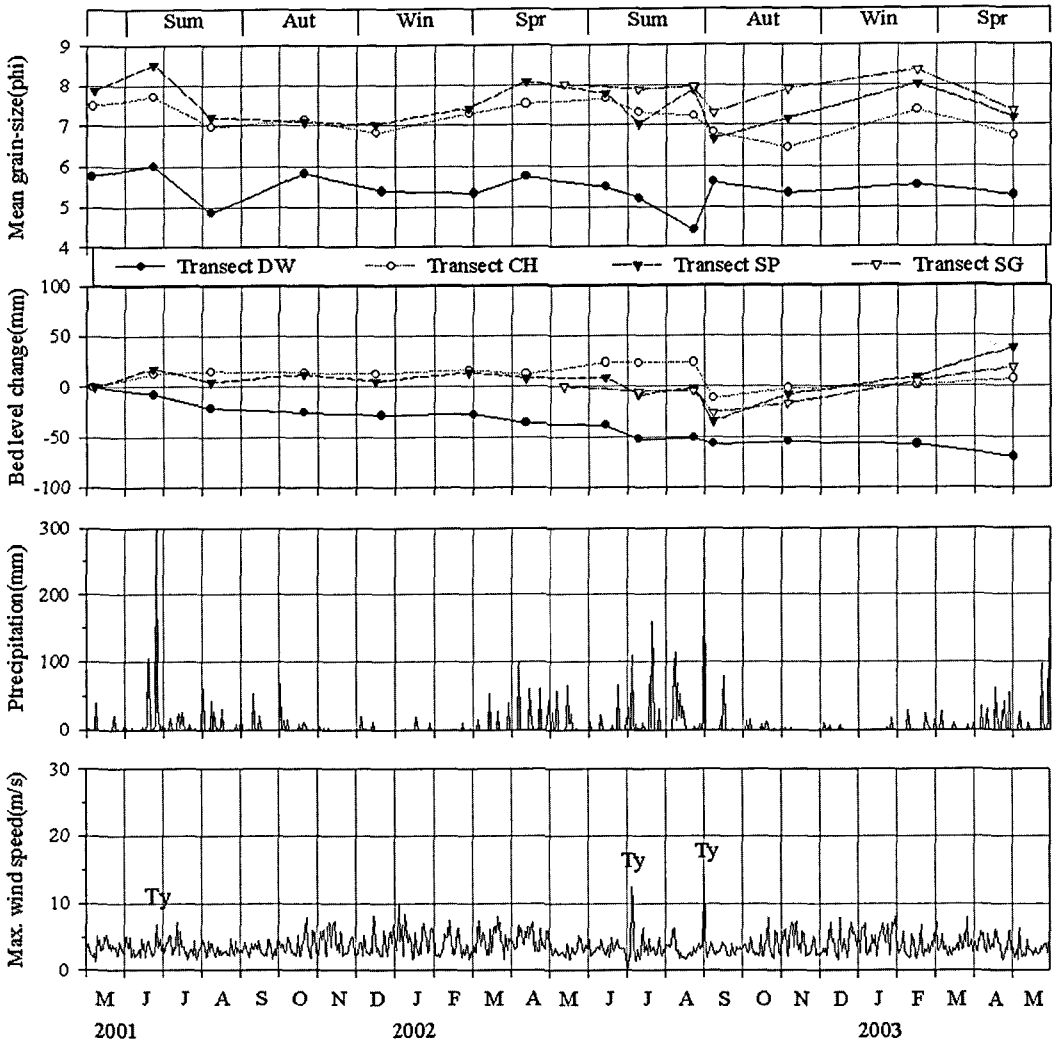


Fig. 8. Seasonal variation of mean grain-size and sedimentation rate on the Kwangyang Bay tidal flats during the survey period. Meteorological data suggest that the erosional effect on the tidal flat might come from heavy rainfall and typhoon.

에너지 조건하에서 부유퇴적물의 활발한 집적과 니질 조간대에서 침식된 세립질퇴적물이 혼합조간대로 이동될 가능성, 혼합조간대의 만조선 주변에서 발생된 해안 침식작용이 봄에 활발하여 주로 여름에 조간대로 유입(해안선의 후퇴는 5, 6월에 가장 두드러짐)되는 현상 등에 의해 퇴적되고 세립해지는 경향을 보인다. 그러나 만 입구에 근접하여 간헐적으로 발생하는 태풍(typhoon) 등에 의해 파랑의 영향을 상대적으로 강하게 받는 니질조간대에서는 침식되고 조립해지며, 이러한 침식현상은 만 입구에 근접한 측선 AA에서 뚜렷하게 나타난다(Fig. 7).

광양만 조간대는 주변에 인위적인 매립에 따라 지

형변화가 가속화되고 있는 측선 DW를 제외하고는 가을과 겨울, 봄에는 퇴적되고 세립해지며, 여름에 침식되고 조립해지는 경향을 보인다(Figs. 4 and 6). 겨울을 중심으로 나타난 퇴적현상은 파랑이 우세한 겨울 동안 서해안의 개방형 조간대가 침식되는 현상과는 상반된 결과로, 이는 광양만의 지형적 특성상 파랑의 발달이 극히 제한되어 상대적으로 창조우세의 조류에 의해 퇴적작용이 좌우되기 때문이다(박용안의, 1984; 박일흠과 이문옥, 1999). Kim and Kang(1991), 류상옥(2003)은 만 입구에서 부유퇴적물의 수지균형에 관한 연구를 통해 만 내부로 유입되는 부유퇴적물의 양이 외부로 유출되는 양에 비해 많아 만의 서

측을 중심으로 순수퇴적이 이루어진다고 보고한 바 있다.

한편, 여름 동안의 침식현상은 간헐적으로 발생한 태풍과 폭우(heavy rain-fall)에 기인한 것으로 Fig. 8에 잘 나타나고 있다. 2001년 여름에는 우리나라에 영향을 미치는 태풍이 1개 발생하여 광양만 주변에 강한 바람은 동반하지 않았으나 300mm/일 이상의 폭우를 내렸고, 그 때 조간대는 침식되는 경향을 보였다. 2002년 여름에는 2개의 태풍(Rammasun, Rusa)이 광양만 주변에 13m/s 이상의 강한 바람과 200mm/일 내외의 폭우를 동반하였고, 그 때 조간대는 짧은 기간에 뚜렷하게 침식되는 경향을 보였으며, 특히 8월말에 발생한 태풍 루사(Rusa)는 조간대 퇴적물의 침식과 조립화를 가속시켰다. 상기내용을 토대로 살펴볼 때, 간헐적으로 발생하는 태풍과 폭우는 파랑의 발달이 제한된 남해안의 반폐쇄된 조간대에서 여름 동안 중요한 침식유발 요인으로 작용할 것으로 생각된다. 그러나 여름에도 강한 바람과 폭우가 발생되지 않는 기간에는 퇴적물은 뚜렷한 변화를 보이지 않았으며, 평균입도는 조립해지거나 세립해지거나 또는 뚜렷한 변화를 보이지 않는 등 다양한 형태로 나타났다(Fig. 8).

사 사

본 연구를 위해 현장조사와 실내분석에 많은 도움을 준 김영선, 김 석군에게 고마움을 전합니다. 또한 본 논문의 세밀한 심사와 유익한 조언을 해주신 김 여상 교수님과 이희준 박사, 이연규 교수님, 그리고 김정렬 편집위원장님께 심심한 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 류상옥, 2003, 한반도 남해안 광양만 표층퇴적물 입도의 시·공간적 변화. 한국해양학회지 「바다」, 8, 127-135.
- 류상옥, 김주용, 장진호, 2001, 서해남부 무안만의 표층퇴적물 분포와 조간대 퇴적물. 한국지구과학회지, 22, 30-39.
- 류상옥, 유환수, 이종덕, 1999, 함평만 조간대의 표층퇴적물과 집적물의 계절변화. 한국해양학회지 「바다」, 4, 127-135.
- 류상옥, 유환수, 전승수, 1997, 한국 서해 남부 함평만 표층퇴적물의 분포 및 특성. 한국지구과학회지, 18, 367-378.
- 박용안, 이창복, 최진혁, 1984, 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, 19, 82-88.
- 박일홍, 이문옥, 1999, 광양만의 해수유동 및 SS 확산에 관한 수치실험. 여수대학교논문집, 14, 629-642.
- 임동일, 정희수, 추용식, 박광순, 강시환, S-Y Yang, 2002, 한국 서해 남부 함평만의 해안선 변화 연구 I. 해안절벽의 침식과 후퇴. 한국해양학회지 「바다」, 7, 148-156.
- 장진호, 김여상, 조영길, 1999, 해안침식이 우세한 반폐쇄적 조간대의 퇴적작용: 한국 서해안의 함평만. 한국해양학회지 「바다」, 4, 117-126.
- 추용식, 이희준, 박은순, 이연규, 정갑식, 2000, 만 입구에서 부유퇴적물 거동과 플럭스: 한반도 서해 남부 함평만의 여름철 특성. 한국해양학회지 「바다」, 5, 105-118.
- 포항중합제철주식회사, 1982, 광양만 수리모형실험 및 조사 보고서. 건설부, 322 p.
- Alexander, C. R., Nittrouer, C. A., DeMaster, D. J., Park, Y. A., and Park, S. C., 1991, Macrotidal mudflats of the southwestern Korea coast: a model for interpretation of intertidal deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61, 805-824.
- Anderson, F. E. and Mayer, L. M., 1984, Seasonal and spatial variability of particulate matter of a muddy intertidal flood front. *Sedimentology*, 31, 383-394.
- Anderson, F. E., 1983, The northern muddy intertidal: a seasonally changing source of suspended sediments to estuarine waters-a review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 40, 143-159.
- Anderson, F. E., Black, L., Watling, L. E., Mook, W., and Mayer, L. M., 1981, A temporal and spatial study of mudflat erosion and deposition. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 729-736.
- Andersen, T. J. and Pejrup, M., 2001, Suspended sediment transport on a temperate, microtidal mudflat, the Danish Wadden Sea. *Marine Geology*, 173, 69-85.
- Chough, S. K. and Kim, D. C., 1981, Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: a steady-state model. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 721-728.
- Chun, S. S., Lee, H. J., Ryu, S. O., and Yang, B. C., 1998, Seasonal and local variation of sedimentation on the wave-dominated tidal flats, southwestern coast of Korea: comparison between inner-bay and open tidal flats. 15th International Sedimentological Congress, Alicante, Spain. (Abstract), 257 p.
- Dionne, J. C., 1984, An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montagny, Middle St. Lawrence Estuary. *Marine Geology*, 54, 149-166.
- 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.
- Folk, R. L., 1968, *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, Austin, Texas, 170 p.
- Frey, R. W., Howard, J. D., Han, S. J., and Park, B. K., 1989, Sediments and sedimentary sequences on a mod-

- ern macrotidal flat, Inchon, Korea. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59, 28-44.
- Ingram, R. L., 1971, Sieve analysis. In Carver, R.E. (ed.), *Procedures in sedimentary petrology*, Wiley-Inter Science, New York, 49-67.
- Kim, D. C. and Kang, H. J., 1991, Suspended sediment budget in Gwangyang Bay through the Yeosu Sound. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 24, 31-38.
- Klein, G. de V. and Sanders, J. E., 1964, Comparison of sediments from Bay of Fundy and Dutch Wadden Sea tidal flats. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34, 19-24.
- Korea Meteorological Administration, 1991, Annual Climatological report. Report 91-32-2-32. Seoul, 139 p.
- Korea Meteorological Administration, 1992, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 160 p.
- Korea Meteorological Administration, 1993, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 242 p.
- Korea Meteorological Administration, 1994, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 242 p.
- Korea Meteorological Administration, 1995, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 244 p.
- Korea Meteorological Administration, 1996, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 241 p.
- Korea Meteorological Administration, 1997, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 244 p.
- Korea Meteorological Administration, 1998, Annual Climatological report. Report 09200-73320-26-7. Seoul, 247 p.
- Korea Meteorological Administration, 1999, Annual Climatological report. Report 11-1360000-000016-10. Seoul, 248 p.
- Korea Meteorological Administration, 2000, Annual Climatological report. Report 11-1360000-000016-10. Seoul, 254 p.
- Lee, H. J., Chu, Y. S., and Park, Y. A. 1999, Sedimentary processes of fine-grained material and the effect of seawall construction in the Daeho macrotidal flat-nearshore area, northern west coast of Korea. *Marine Geology*, 157, 171-184.
- Lee, H. J., Chun, S. S., Chang, J. H., and Han, S. J., 1994, Landward migration of isolated shelly sand ridge (chenier) on the macrotidal flat of Gomso Bay, west coast of Korea: controls of storms and typhoon. *Journal of Sedimentary Research*, 64, 886-893.
- Milliman, J. D., Shen, H. T., Yang, Z. S., and Meade, R. H., 1985, Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Continental Shelf Research*, 4, 37-46.
- National Geography Institute, 1983, Basic research report on nearshore environments of Korea. Seoul, Korea. 60 p.
- National Geography Institute, 1990, Basic research report on nearshore environments of Korea. Seoul, Korea. 63 p.
- Pejrup, M. and Andersen, T. J., 2000, The influence of ice on sediment transport, deposition and reworking in a temperate mudflat area, the Danish Wadden Sea. *Continental Shelf Research*, 20, 1621-1634.
- Postma, H., 1961, Transport and accumulation of suspended matters in the Dutch Wadden Sea, Netherlands. *Journal of Sea Research*, 1, 148-196.
- Ryu, S. O., 2003, Seasonal variation of sedimentary processes in a semi-enclosed bay: Hampyong Bay, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, 481-492.
- Wells, J. T. and Huh, O. K., 1984, Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea. In Ichiye, T. (ed.), *Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. Elsevier, Amsterdam, 387-397.
- Wells, J. T., 1988, Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Marine Geology*, 83, 273-284.
- Wells, J. T. and Coleman, J. M., 1981, Physical processes and fine-grained sediment dynamics, coast of Surinam, South America. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 1053-1068.
- Wells, J. T., Adams, C. E., Park, Y. A., and Frankenberg, E. W., 1990, Morphology, sedimentology and tidal channel processes on a high-tide-range mudflat, west coast of South Korea. *Marine Geology*, 53, 1-22.
- Yang, B. C. and Chun, S. S., 2001, A seasonal model of surface sedimentation on the Baeksu open-coast intertidal flat, southwestern coast of Korea. *Geosciences Journal*, 5, 251-262.