

함평만 조간대의 표층퇴적물과 집적률의 계절변화

류상옥 · 유환수 · 이종덕¹

전남대학교 해양학과

¹전북대학교 지구환경과학과

Seasonal Variation of Surface Sediments and Accumulation Rate on the Intertidal Flats in Hampyong Bay, Southwestern Coast of Korea

SANG OCK RYU, HOAN SU YOU AND JONG DEOCK LEE¹

Department of Oceanography, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

¹*Department of Earth and Environmental Science, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea*

한국 서해 남부 함평만 조간대의 현생퇴적작용을 규명하기 위하여 안악조간대와 시목조간대에 설정된 각각의 측선들에서 27개월(1994. 10~1996. 12) 동안 약 2개월 간격으로 표층퇴적물의 입도분포와 집적률 변화를 조사하였다. 계절에 따른 표층퇴적물의 입도분포 변화는 만입구 가까이 북측에 위치한 안악조간대보다는 만 안쪽의 남측에 위치한 시목조간대에서 뚜렷하였으며, 특히 만조선과 간조선 부근에서 크게 나타났다. 시목조간대에서는 여름철에 세립질퇴적물의 집적으로 인해 표층퇴적물의 입도가 세립해지는 반면, 겨울철에는 침식되어 조립한 입도분포를 나타내는 경향을 보였다. 연평균집적률은 3.7 mm/yr로 정상적 퇴적 경향을 보였다. 그러나 안악조간대에서는 겨울철에 세립질퇴적물이 집적되고 여름철에 침식되는 비정상적인 조간대 퇴적작용을 보였으며, -49.6 mm/yr의 연평균집적률로 침식이 진행되는 것으로 나타났다. 이곳의 침식우세작용은 중부조간대에 건설된 방조제에 의해 야기되는 조류의 방향과 세기 변화 때문으로 판단된다. 따라서 현재로서는 국부적인 결과만을 가지고 함평만 내의 모든 조간대에서 침식이 진행되고 있는 것으로 판단하기는 어려우며 전체적인 퇴적물 수송량에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 생각된다.

Grain-size distribution and accumulation rate of surface sediments on the tidal flats in Hampyong Bay, southwestern coast of Korea, were investigated in a sequential interval of 2 months for the period of 27 months (1994. 10~1996. 12). Seasonal variation of grain-size distribution is prevalent on the Shimock tidal flat in the southern side of the innerbay, rather than the Anarc tidal flat in the northern side around the baymouth. This variation, in particular, more distinctive in the areas around the both high and low tide water levels. The Shimock tidal flat shows typical seasonal variation of sedimentary processes, expected under monsoonal climate. Deposition of fine-grained sediments in summer dominates over erosion in winter, resulting in an annual accumulation rate of 3.7 mm/yr. In contrast, sedimentary processes on the Anarc tidal flat is abnormal that have experienced slight deposition of fine-grained sediments in the winter and severe erosion in the summer time, showing a negative annual accumulation rate of -49.6 mm/yr. Erosional processes in this area is interpreted due mainly to change of strength and direction of tidal currents, caused by the artificial construction of dyke for reclamation in the mid-tidal flat. As a result, It is immoderate to conclude whether sedimentary processes of Hampyong Bay is erosional or depositional at current situation. Further studies on sedimentary budget at the entrance to the bay are needed.

서 론

조간대 퇴적물의 입도분포와 집적률은 퇴적물의 종류와 공급원, 조류로의 특성, 조간대의 경사, 조류와 파랑 등에 의한 수력학적 조건, 해안지형, 생물의 종류와 밀도 등에 의해 좌우된다. 이와 같은 요인은 지역에 따라 다르게 나타나므로 조간대 퇴적물의 수평적인 분포는 지역적인 특성에 따라 크게 좌우된다(Klein

and Sanders, 1964). 한반도의 서해안의 기후는 전형적인 몬순 기후로서 겨울철에는 시베리아기단의 영향을 받아 북서풍이 우세하며, 여름에는 북태평양기단의 영향을 받아 남풍계열의 바람이 우세하여 퇴적작용에 중요한 영향을 미친다(Wells and Huh, 1984; Wells, 1988; Wells *et al.*, 1990; 장과 최, 1998). 특히 남서해안에 위치한 함평만은 만입구가 대단히 좁고 육지와 연결된 큰 규모의 수계가 존재하지 않은 반폐쇄 조수로형 만

(tidal inlet bay)임에도 불구하고 만입구가 북서 방향으로 열려 있어 계절에 따른 수력학적인 변화가 뚜렷하여 조간대에서 퇴적작용의 계절변화가 예측된다(류 등, 1997). 조간대에서 표층퇴적물의 계절적 변화에 관한 연구는 한국해양연구소(1994)를 필두로 지속적으로 이루어지고 있으나(한국해양연구소, 1995; 류 등, 1997; 장과 최, 1998), 그 기간이 대부분 1년 정도에 국한됨으로서, 일반적인 표층퇴적물의 계절적 변화 양상을 추정하는데는 미흡한 상태이다. 또한 조간대 퇴적물의 집적률에 관한 기존 연구의 대부분도 주상시추코아 또는 캔코아 시료를 Pb²¹⁰과 같은 방사성동위원소의 반감기를 이용하여 측정된 것으로(Alexander et al., 1991; 한국해양연구소, 1991, 1992), 현생퇴적환경에서 단기간의 환경 변화에 따른 퇴적환경 변화를 긴 반감기를 갖는 방사성동위원소를 이용하여 측정된 값으로 이해하기는 곤란하다. 따라서 본 연구는 한국 서해 남부 함평만 조간대의 현생퇴적작용의 계절변화를 규명하고자 함평만 내에 발달되어 있는 조간대들 중 만입구 북쪽에 위치하는 안악조간대와 최안쪽에 위치한

시목조간대에서 1994년 10월부터 1996년 12월까지 표층퇴적물의 입도분포와 집적률의 변화를 살펴보고자 한다.

지역개관

한국의 서해 남부에 위치하는 함평만은 최대 폭 12km, 길이 17 km의 비교적 큰 만으로서 육지와 연결된 큰 규모의 수계가 존재하지 않아 반폐쇄된 지형을 이루고 있다(Fig. 1). 만입구는 연구지역의 북서 방향에 위치하며, 최대 수심 23 m로서 매우 협소한 폭(약 1.8 km)과 급경사를 이루고 있다. 주조류로(main tidal channel)는 좁은 폭을 가지고 만입구에서 남동 해안을 따라 북서-남동 방향으로 길게 발달되어 있다. 조간대는 주조류로의 가장자리에서 해안선쪽으로 전개되어 있으며 조간대 내에는 크고 작은 조간대사주(intertidal sand bar)와 조류로, 그리고 조류세곡(tidal creek) 등이 잘 발달되어 있다. 특히 상부조간대의 해안선 부근에는 2~5 m 높이의 해안절벽이 노출되어 있고, 그

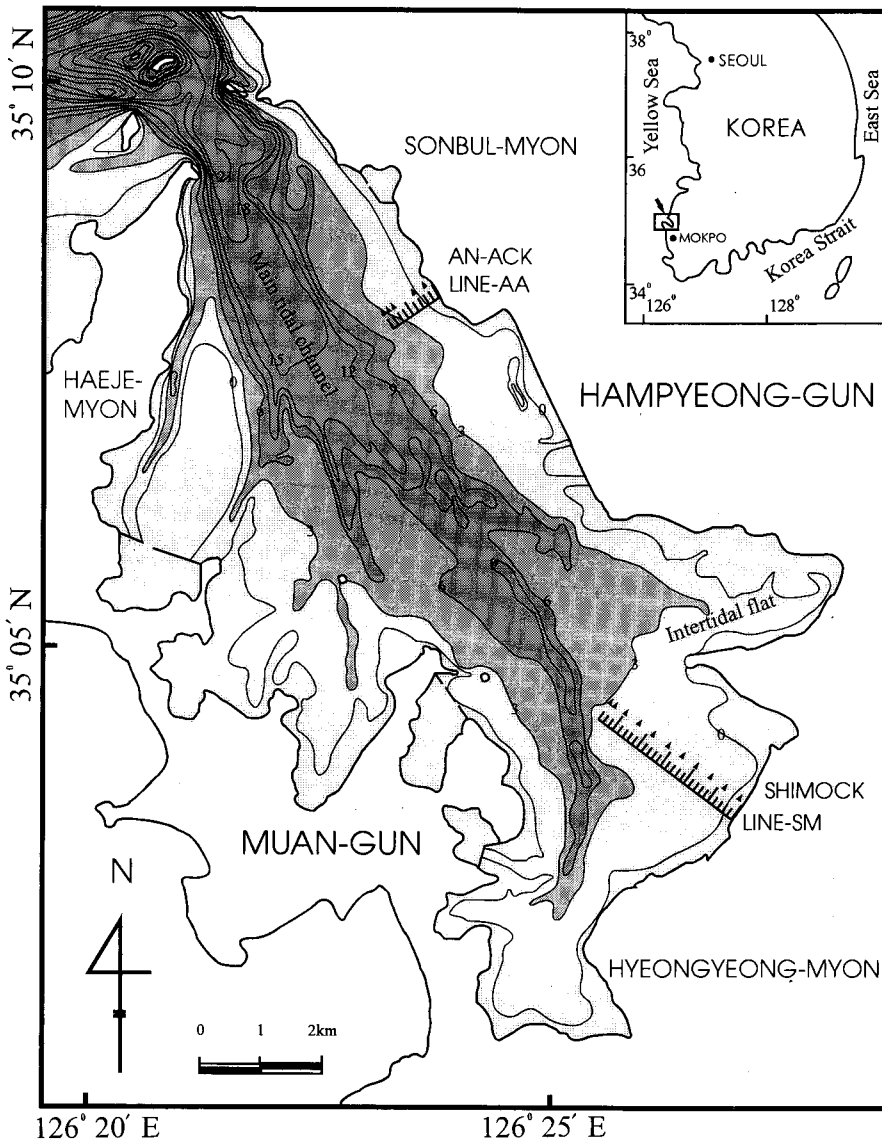


Fig. 1. Location map of Hampyeong Bay showing bathymetry and sampling stations in the study area. Two transects(Line-AA and Line-SM) across the tidal flat are subject to precise leveling at regular intervals of 100m; filled triangles represent locations of accumulation rate plates. Bathymetry(relative to mean sea level) is from National Geography Institute (1983); depth in meter. Note that the main tidal channel is narrow, extending from the bay-mouth along the southeastern coast of the bay, and the tidal flat lies on the margin of the main tidal channel.

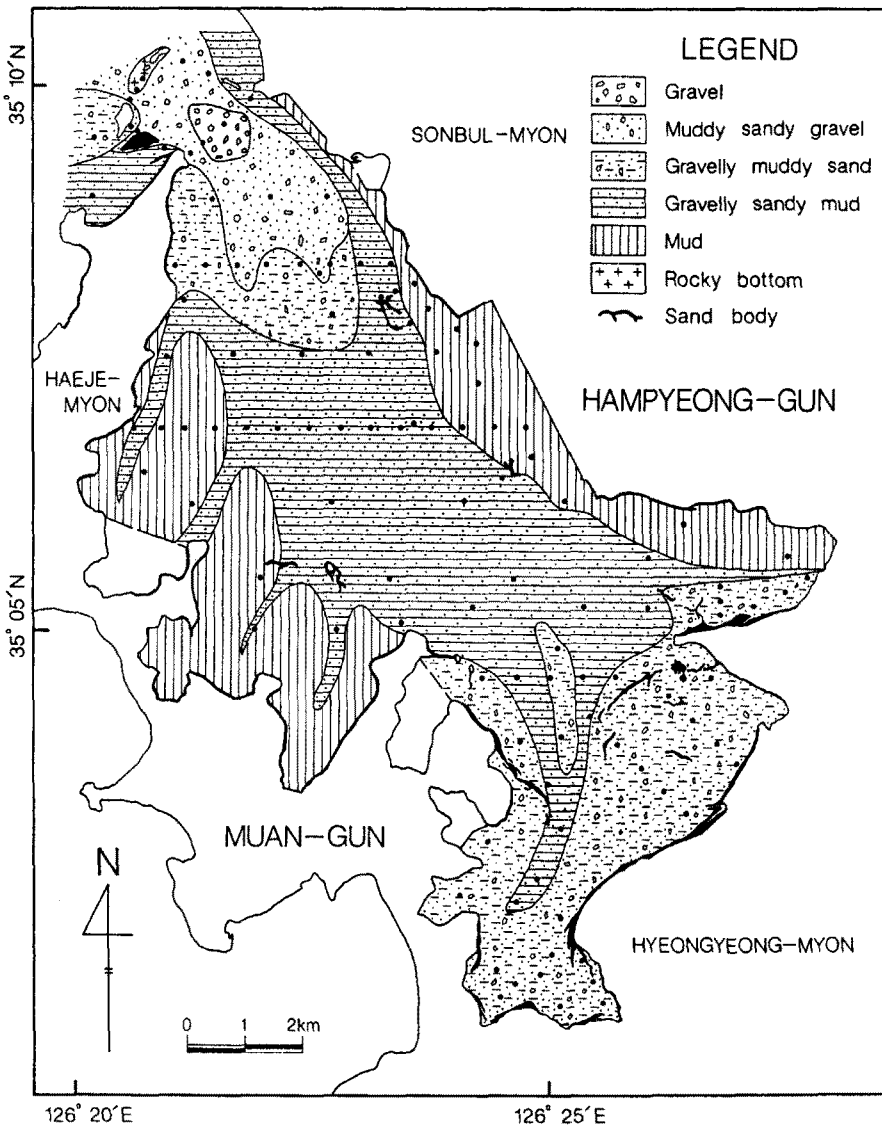


Fig. 2. Surface sediment distribution of Hampyeong Bay. Fine-grained sediments (mud) dominate over the tidal flat in the eastern and western side of the bay, whereas coarse sediments (muddy sandy gravel and gravelly muddy sand) cover the bay-mouth and the tidal flat in the southern side of the bay.

중 내측 시목조간대의 해안선 부근에서는 활발한 해안침식이 진행되고 있다.

함평만의 주변 육상지질은 만의 중부를 경계로 북서부 일대는 중생대 쥐라기의 편마상화강암이 분포하고 남동부 일대는 시대미상의 화강암질편마암이, 그리고 이들 사이에는 역시 시대미상의 소규모의 반상변정편마암이 대상으로 협재되어 있다(한국자원연구소, 1971).

함평만의 표층퇴적물은 잔자갈에서 점토에 이르기까지 입도 범위가 대단히 넓으며 지역적인 특성에 따라 그 분포를 달리한다(Fig. 2) 조립질퇴적물은 주조류료를 포함한 조하대와 남측조간대에 우세하게 분포하며, 만입구와 남측조간대의 양 방향에서 만의 중심으로 갈수록 세립해지는 2원적 분포 특징을 보인다(Fig. 2). 반면, 세립질퇴적물은 함평만의 동·서측조간대에 우세하게 분포하고 해안선 부근을 제외하고는 균질한 분포 특징을 보인다(Fig. 2).

조석은 반일주조로 일조부등이 심하게 나타나며 소조차는 205.4 cm, 대조차는 425.3 cm, 평균조차는 315.4 cm 이다(국립지리원, 1983). 조류는 함평만 입구에서 창조류 때 최강유속이

125 cm/sec, 낙조류 때 138 cm/sec로 낙조류 때 유속이 강한 낙조우세 환경이다(국립지리원, 1983).

1985부터 1996년까지 최근 12년간 목포측후소에서 관측된 기상 자료에 의하면 연구지역의 연평균기온은 13.9°C이며, 강수량은 1081.6 mm로서 주로 여름(6~8월)에 집중된다. 풍속은 연평균 4.2 m/sec로 겨울에는 한랭건조한 북서풍이, 여름에는 고온다습한 남풍 계열의 바람이 우세하다(Fig. 3). 풍속 13.9 m/sec 이상의 폭풍은 연평균 26일로서 주로 겨울(12~2월)에 집중되며 17 m/sec 이상의 태풍은 주로 여름(6~9월)에 집중되어 연평균 2.2회가 연구지역을 통과한다(기상청, 1985~1996).

재료 및 방법

함평만 조간대에서 표층퇴적물의 계절적 변화를 조사하기 위해 표층퇴적물의 분포 특징(류 등, 1997)을 토대로 만입구 주변 북측 안악조간대와 남측 시목조간대에 측선 AA와 측선 SM을 설정하였다(Fig. 1). 설정된 각 측선상에서 1994년 10월부터

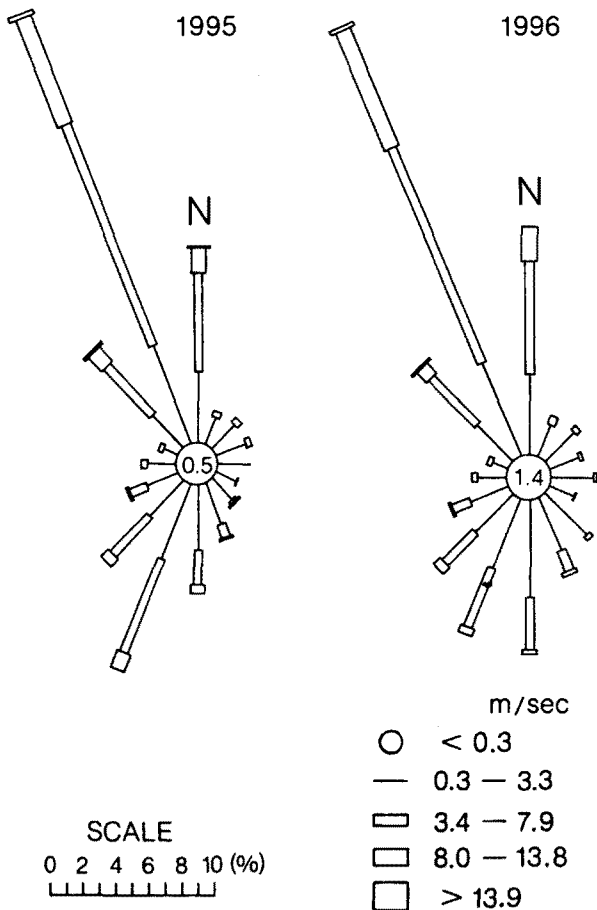


Fig. 3. Wind rose diagrams showing the variation of wind speed and direction in Mokpo area (Korea Meteorological Administration, 1995-1996). Note that NW winds is dominate in winter, and S winds is dominate in summer.

1996년 12월까지 27 개월 동안 약 2 개월 간격으로 표층퇴적물의 입도분포와 집적률 변화를 관측하였다. 집적률은 지형적 특성과 거리(300 m 간격)를 고려하여 측선 AA에서는 5 개 정점, 측선 SM에서는 11 개 정점에서 측정하였다(Fig. 1). 집적률의 측정 방법은 퇴적물 표면 아래의 일정 깊이에 30×30 cm의 아크릴판을 기준점으로서 설치하고 주변 환경과 평행상태가 되도록 1~2 개월을 기다린 다음, 표면에서 기준면까지의 깊이를 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 이때 아크릴판이 물의 침투에 의해 상하로 이동하는 것을 방지하기 위하여 아크릴판에 구멍을 뚫었으며, 좌우로 이동되는 것을 방지하기 위해서 판의 모서리 부분에 구멍을 뚫고 PVC 파이프로 고정하였다. 측선 상에서 말뚝의 위치는 GPS(GARMIN 100 SRVY II, USA)를 사용하여 측정하였고, 측선 상의 고도는 레벨(Topcon AT-G3)을 사용하여 측정하였으며, 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 입도상수를 구하였다(Folk and Ward, 1957). 또한 10φ보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의

한 균등분배 방식을 이용하여 구분하였다.

결 과

지 형

조간대에 있어서 지형은 퇴적작용과 퇴적양상을 결정짓는 중요한 요인으로 작용하며, 그 지역의 수리환경 및 퇴적물의 이동양상 등에 따른 퇴적작용의 역사를 반영하는 중요한 요소이다. 안악조간대(측선 AA)는 대부분의 지역이 평균해수면(MSL) 상위에 위치하고 있으며, 비교적 평탄한 경사(0.16~0.39°)를 보이고 만조선에서 간조선 방향으로 약 1 km 정도 발달되어 있다(Fig. 4A). 조간대 내에는 폭 1~2 m, 깊이 1~2 m의 조류로와 사행성조류로가 잘 발달되어 있으며(Fig. 5A), 간조선 부근에는 길이 1~1.5 km, 폭 100~150 m, 높이 1~1.5 m의 조간대사주(sand bar)가 발달하고(Fig. 5B), 만조선 부근에는 소규모 해변이 존재하고 있어 전체적으로 위쪽으로 오목한 지형단면을 보인다(Fig. 4A). 반면, 시목조간대(측선 SM)는 대부분의 지역이 평균해수면보다 아래에 위치해 있으며 해안선에서 간조선 방향으로 완만한 기울기(0.05~1.89°)를 가지고 약 3 km까지 발달되어 있다(Fig. 4B). 조간대 내에는 폭 50~80 m, 깊이 1~1.5 m의 조류로가 북서-남동 방향으로 발달되어 있으며, 조간대 곳곳에는 크고 작은 조간대사주(sand shoal)가 지형적인 특징에 따라 해안선에 평행하거나(Fig. 5D) 수직인 방향(Fig. 5E)으로 분포하고 있다. 또한 해안선에서 육지 방향으로 2~5 m 높이의 해안절벽이 노출되어 있다(Fig. 5C).

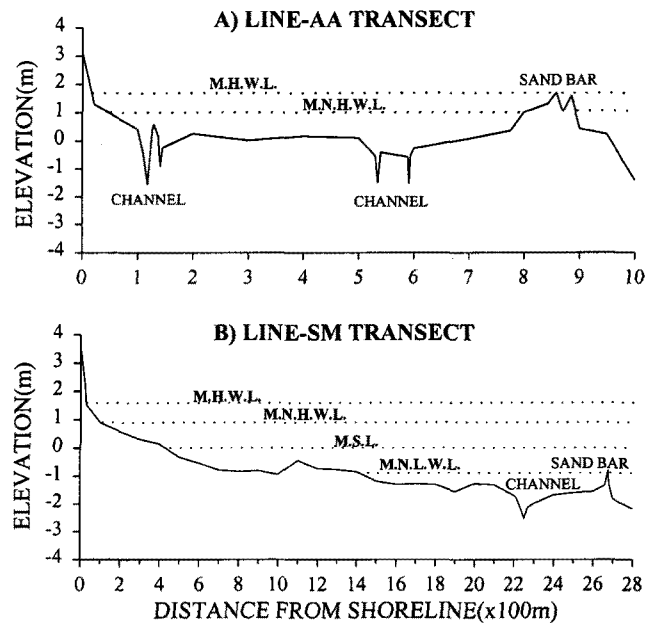


Fig. 4. Elevation feature of Line-AA and Line-SM transecting the mud and mixed flat of Hampyong Bay. Note a sand bar of Line-AA above MNHWL(mean neap high water level) and the tidal channel of Line-AA below MSL(mean sea level). A sand shoal and a sand bar of Line-SM above MNLWL(mean neap low water level), and the tidal channel of Line-SM below MLWL(mean low water level). For location, see Fig. 1.

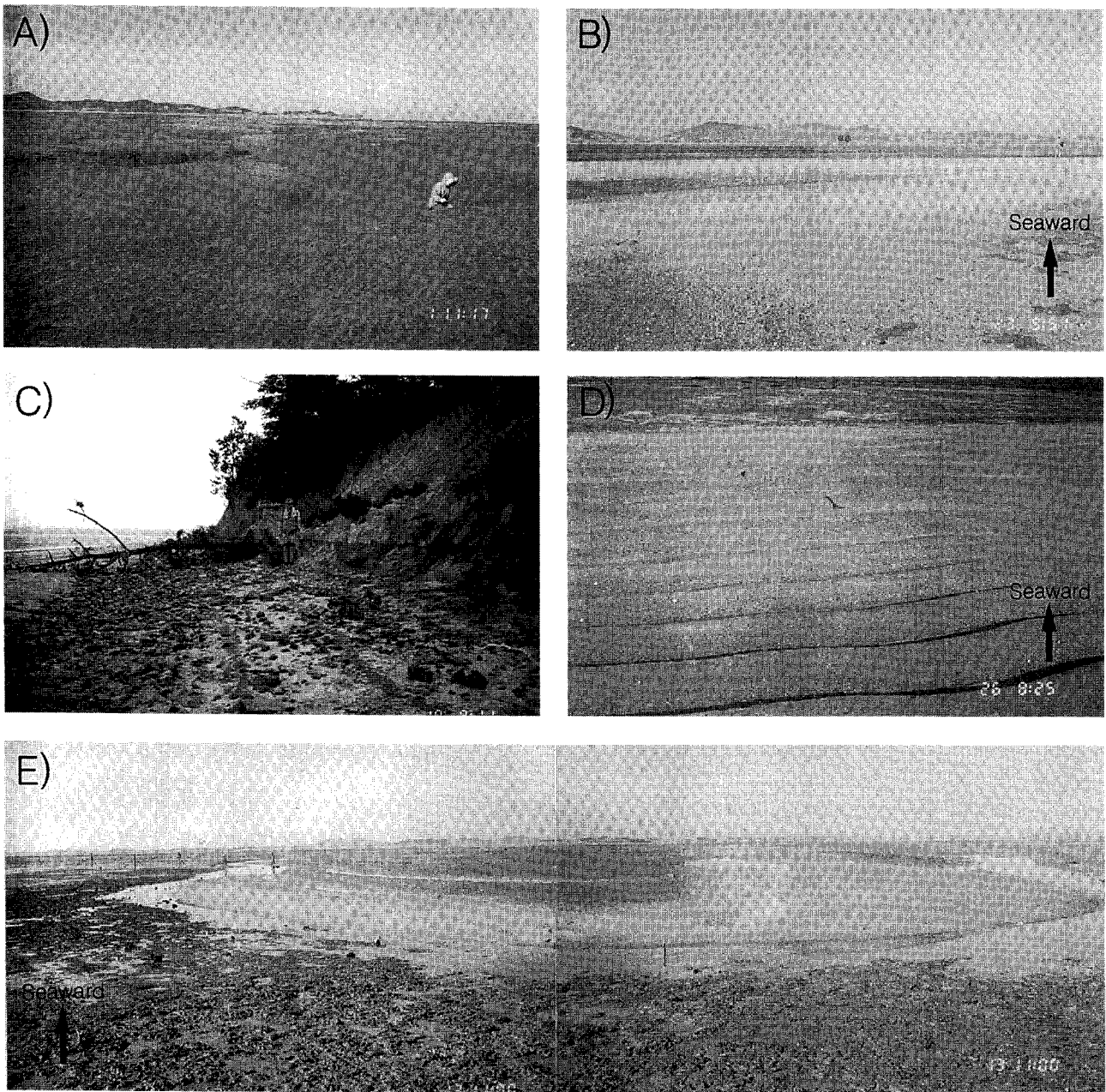


Fig. 5. A) Meandering tidal channel (width 1~2 m, depth 1~2 m) in the Anarc tidal flat. B) Bifurcated sand bar on the lower part of the Anarc tidal flat. Note the sand bar developed parallel to the coastline. C) Sea cliffs around the upper part of the Shimock tidal flat which has been formed by the coastal erosion, resulting to the deposition of immature sands and gravels on small beach. D) Sand bar on the lower part of Shimock tidal flat. Note the sand bar developed parallel to the coastline, the straight ripple mark on the sand bar in autumn. E) Sand bar on the middle part of Shimock tidal flat. Note the sand bar developed perpendicular to the coastline.

측선상의 표층퇴적물 분포

측선 AA와 SM에서 조사기간 동안 모니터링된 표층퇴적물의 입도분포 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 측선 AA의 대부분 지역(AA2~AA7)은 평균입도 4.6~6.7 ϕ 범위의 실트질퇴적물이 비교적 균질한 분포를 보였다(Fig. 6). 그러나 만조선 부근의 소규모 해빈(AA1)과 간조선 부근의 사주 주변(AA8, AA9)에서는 평균입도 0.7~1.1 ϕ 범위의 역질과 사질퇴적물이 우세하게 분포하고 있다. 특히 만조선 부근(AA1~AA3)에서는 해안선에서 바다쪽으로 갈수록 조립질퇴적물의 함량이 감소하는 경향을 보이는데 이

는 해안침식에 의해 해안절벽으로부터 조립질퇴적물이 공급되고 있음을 시사한다(Fig. 6).

한편, 측선 SM의 대부분 지역은 평균입도 0.3~2.5 ϕ 범위의 사질퇴적물이 우세하게 분포하고 있으나, 조건대 중부의 조류로 측면(SM16과 SM23)에서는 사질퇴적물의 함량이 감소하고 실트질퇴적물의 함량이 상대적으로 증가(평균입도 3.7와 3.3 ϕ)하는 경향을 보였다(Fig. 6). 따라서 측선 SM에서는 조류로의 측면을 제외하고는 측선상에서 뚜렷한 입도변화를 보이지 않았다.

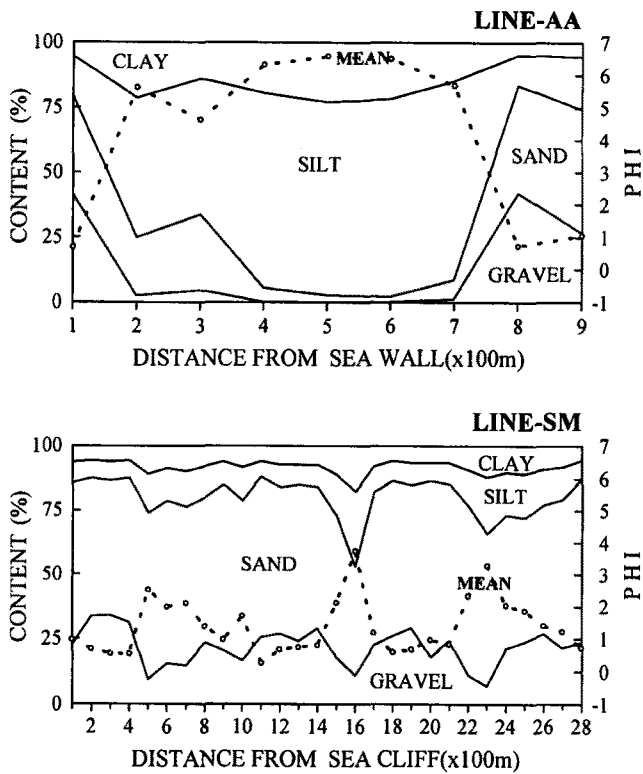


Fig. 6. Textural and statistical coefficient of surface sediments along Line-AA and Line-SM transect. Note that sediments generally fine on the Line-AA, coarse on the Line-SM.

표층퇴적물 입도의 계절적 변화

측선 AA와 SM에서 조사기간 동안 모니터링된 표층퇴적물의 평균입도 변화를 Fig. 7에 도시하였다. 측선 AA의 경우, 평균 입도의 변화폭은 조립질퇴적물의 공급이 활발한 만조선 부근과 간조선 부근의 사주 주변에서 비교적 크게 나타났으며, 니질퇴적물이 우세한 중간대 중부에서는 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 7). 평균입도의 변화폭이 큰 만조선과 간조선 부근에서는 겨울을 중심으로 평균입도가 세립해지고 여름을 중심으로 평균입도가 조립해지는 경향을 보였다(Fig. 8). 그러나 세립질퇴적물이 우세하게 분포하는 중간대 중부에서는 계절에 따른 뚜렷한 입도변화를 보이지 않았다(Fig. 8).

측선 SM의 경우, 평균입도의 변화폭은 측선 AA에 비해 전체적으로 크게 나타났는데, 사주를 포함한 간조선 주변과 중간대 중부의 조류로 측면(SM16)에서 특히 크게 나타났다(Fig. 7). 측선 SM은 측선 AA와는 반대로 대부분의 지역이 여름을 중심으로 평균입도가 세립해지고 겨울을 중심으로 평균입도가 조립해지는 경향을 보였다(Fig. 8). 그러나 평균입도의 변화폭이 큰 간조선 부근에서는 태풍 페이(Faye)가 통과한 1995년 여름에 조립해지는 경향을 보였다(Fig. 8).

집적물의 계절적 변화

측선 AA와 SM에서 표층퇴적물의 집적률을 조사한 결과 표층퇴적물의 집적 양상이 지형과 고도, 계절에 따라 크게 다를 수 있었다. 측선 AA의 경우, 5 개 지점에서 관측한 결과 조립질퇴적물이 우세한 만조선 부근에서는 여름과 겨울에 퇴적되

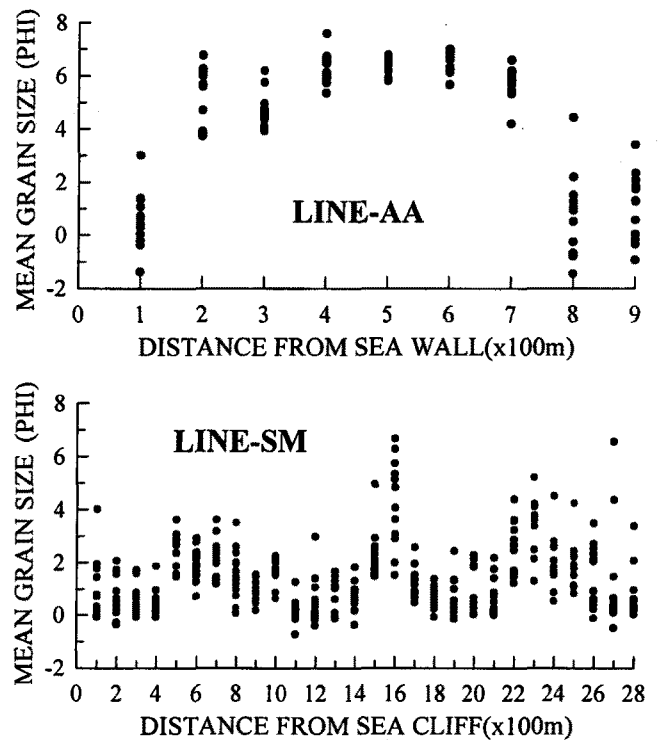


Fig. 7. Variation range of mean grain size along the Line-AA and Line-SM for the period of 27 months

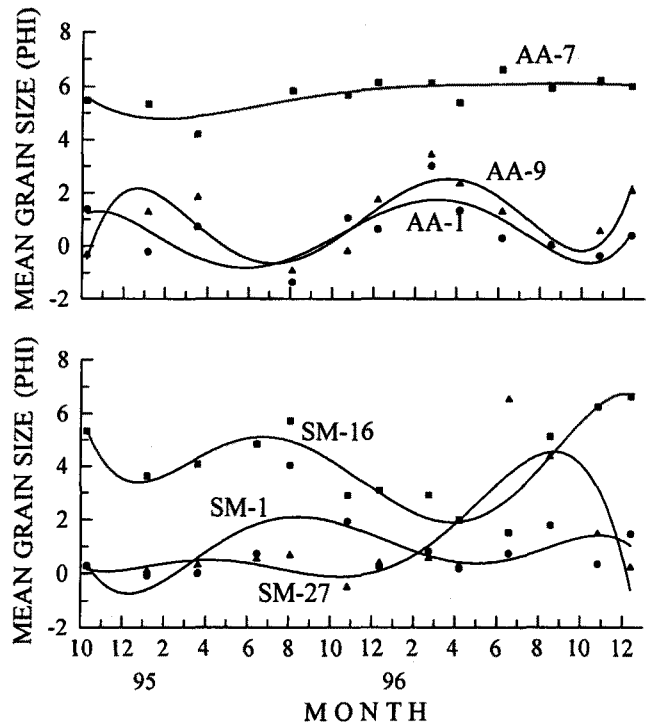


Fig. 8. Seasonal variation of mean grain size at the selected stations along Line-AA and Line-SM transect.

고 봄과 가을에 침식되는 경향을 보였다. 그러나 세립질퇴적물이 우세하게 분포한 중간대 중부에서는 겨울을 중심으로 소량의 니질퇴적물이 집적되거나 침식률이 대단히 낮은 반면, 여름에는 침식률이 크게 증가하여 전체적으로는 여름을 중심으로 침식이 가

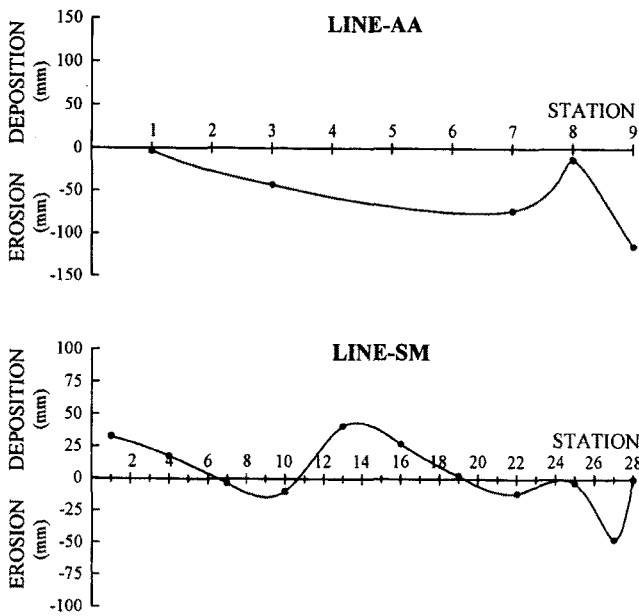


Fig. 9. Accumulation rates(mm) along Line-AA and Line-SM transects. At the Anarc tidal flat(Line-AA), erosion rate increase from upper to lower flat except sand bar around lower flat. On the other hand, accumulation rates on the Shimock tidal flat (Line-SM) show alternative, deposition and erosion with regional features.

속되는 경향을 보였다. 한편, 간조선 부근의 사주 주변에서는 사주의 정부(crest)와 곡(trough)에서 다른 양상을 보였다. 사주의 정부에서는 겨울에 퇴적되고 여름에 침식되는 반면, 바다 방향의 곡에서는 계절에 무관하게 지속적으로 침식되는 경향을 보였다. 그러나 태풍의 영향을 받은 1995년 여름에는 일시적으로 퇴적되는 경향을 보였다(Table 1).

측선 SM의 경우, 11 개 지점에서 관측한 결과 만조선 부근을 제외한 대부분의 지역이 여름을 중심으로 퇴적되고 겨울을 중심으로 침식되는 경향을 보였다. 그러나 간조선 부근은 태풍의

영향을 받은 1995년 여름의 경우 침식되는 경향을 보였는데, 이는 태풍의 영향이 간조선 부근에 집중됨을 의미하는 것으로 고평만 조간대에서 보고된 바 있다(장과 최, 1998). 한편, 만조선 부근에서는 계절에 무관하게 침식되는 경향을 보였으며, 퇴적물의 침식이 여름보다는 겨울에 전반적으로 우세하게 나타났다(Table 1). 특히, 해안침식이 활발히 진행된 1996년 겨울에는 급격한 퇴적현상을 보였는데(Table 1), 이는 만조선 부근의 퇴적현상이 해안침식과 밀접한 연관을 갖는 것을 의미한다.

연평균집적률

측선 AA와 SM에서 조사기간 동안 집적률을 모니터링한 결과, 함평만 조간대의 연평균집적률은 -23.0 mm/yr로 침식되는 경향을 보였다. 측선 AA의 경우, 5 개 지점에서 집적률을 측정된 결과 연평균집적률은 -49.6 mm/yr로 5 개 전 지점에서 침식이 일어났다(Table 1). 해안선에서 100 m 떨어진 만조선 부근에서는 -3.4 mm/yr의 침식이 일어났으며, 바다 방향으로 가면서 -43.2 mm/yr, -73.3 mm/yr, -13.3 mm/yr, -11.8 mm/yr로 간조선 부근의 사주를 제외하고는 만조선에서 간조선 방향으로 갈수록 침식률이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 9).

측선 SM의 경우, 11 개 지점에서 집적률을 측정된 결과 연평균집적률은 3.7 mm/yr로 5 개 지점에서 퇴적되고 6 개 지점에서 침식되어 지역적인 특징에 따라 퇴적과 침식이 교호되는 경향을 보였다(Fig. 9). 지형적으로 고도가 높은 만조선 부근과 조간대 중부의 사주에서는 24.0 mm/yr로 퇴적되는 경향을 보였으며, 지형적으로 고도가 낮은 조간대 중부와 간조선 부근에서는 -11.7 mm/yr로 침식되는 경향을 보였다(Table 1).

토 의

한국의 서해 남부에 위치한 함평만 조간대는 중조차환경으로 계절에 따른 파랑조건의 변화가 뚜렷한 곳이다. 그러나 조간대는 일차적으로 조석에 의해 퇴적작용이 조절되며, 조석작용에 의해

Table 1. Accumulation rates of surface sediment in Hampyong Bay tidal flat

Line	Position Station	Accumulation rates (mm)												Duration (days)	Depth difference (mm)	Annual accumulation rate (mm/yr)
		Jan.	Mar.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.			
Line -AA	AA-1	install		?	11.4	-9.6	-1.0	5.4	-8.3	-2.3	3.5	-2.5	-2.5	625	-5.9	-3.4
	AA-3	install	2.8	?	-34.8	-12.6	0.5	6.8	-0.5	-30.3	-2.0	?	?	592	70.1	-43.2
	AA-7	install	?	-29.9	-12.8	0.2	-3.6	-2.4	-3.4	-41.6	-17.4		-14.7	625	-125.6	-73.3
	AA-8	install	0.8	?	16.8	-10.2	6.5	-12.0	-2.5	-3.4	-17.9	-6.3	2.5	707	-25.7	-13.3
	AA-9	install	-31.2	?	20.3	84.3	-142.1	-2.5	?	?	-17.6	-24.9	-16.2	413	-129.9	-114.8
Line -SM	SM-1						install	-7.9	-2.9	-0.5	-0.9	5.5	39.2	367	32.5	32.3
	SM-4	install	-4.9	4.2	20.0	-10.4	-6.9	-23.0	-16.0	23.7	38.1	-8.1	16.5	707	33.2	17.1
	SM-7	install	-16.2	-17.8	30.8	-1.3	-5.4	4.3	-3.9	-16.0	13.7	2.3	1.6	707	-7.9	-4.1
	SM-10	install	-3.6	-18.9	12.5	4.3	-5.1	1.8	-6.6	-10.9	21.2	-7.7	-7.2	707	-20.2	-10.4
	SM-13	install	38.3	27.1	?	?	?	-9.6	-17.7	10.6	22.6	-8.8	1.9	578	64.4	40.7
	SM-16	install	-4.0	-2.5	-3.4	20.3	3.5	-7.4	1.7	6.6	21.0	16.7	-0.3	707	52.2	26.9
	SM-19	install	-6.6	9.8	0.1	34.0	-31.6	-8.9	3.3	-2.2	13.0	13.8	-20.9	707	3.8	2.0
	SM-22	install	4.3	-10.7	11.1	-26.0	1.2	-18.4	0.1	2.0	15.6	0.9	-3.4	707	-23.3	-12.0
	SM-25	install	0.8	-2.5	-22.1	11.2	3.6	-2.0	12.8	-22.2	38.5	-24.3		623	-6.2	-3.6
	SM-27	install		-11.9	-14.6	-21.4	-11.7	-11.1	-9.3	15.8	13.3	-20.4		547	-71.3	-47.6
	SM-28	install					install	5.1	-11.8	7.9	11.2	-27.1	14.1	367	-0.6	-0.6

형성된 조류로는 퇴적물의 주요 이동통로로서 퇴적물의 이동, 분산 및 집적에 중요한 역할을 한다(Wells *et al.*, 1990). 이와 같은 파랑 조건의 변화는 조류로의 특성과 함께 조간대의 퇴적 작용에 큰 영향을 미친다. 함평만의 경우, 주조류로가 만의 중심부를 따라 북서-남동 방향으로 골게 발달되어 있어 주조류로의 가장자리를 중심으로 발달한 조간대는 주조류로와의 관계에 따라 수력학적 에너지 조건이 큰 차이를 보인다(Fig. 1). 실제로 함평만의 북쪽에 위치한 안악조간대는 주조류로의 측면에 위치하고, 대부분의 지역이 평균해수면보다 위쪽에 위치하여 저에너지상태가 유지된 반면, 남쪽의 시목조간대는 주조류로의 전면에 위치하고 대부분의 지역이 평균해수면보다 낮아 비교적 고에너지상태가 유지된다(Figs. 1, 4). 따라서 겨울 동안에는 강한 북서계절풍에 의한 표면마찰력이 해저에 전달되면 해저퇴적물은 재부유되고(Kang and Choi, 1984; 최, 1993), 재부유된 퇴적물은 창조시 만 내로 유입되어 저에너지상태가 유지된 안악조간대에 부분적으로 집적되는 것으로 생각된다. 그러나 고에너지상태가 유지된 남쪽의 시목조간대에서는 만입구를 통해 공급된 부유퇴적물이 집적되지 못하고 기존의 니질층까지 침식되어 만 내에 부유(suspension)상태로 존재하거나 비교적 파랑에너지가 낮은 만 내의 남쪽 조하대에 집적된 것으로 생각된다(Fig. 2). 한편, 여름에는 남풍계열로 바람의 방향이 바뀌면서 파랑에너지가 약화되어 만입구를 통해 공급되는 부유퇴적물의 함량이 크게 감소하고 유입된 부유퇴적물의 대부분은 만의 남쪽 시목조간대를 중심으로 집적된 반면, 북측 안악조간대는 부유퇴적물의 공급량 감소와 더불어 낙조시 상대적으로 강한 유속에 의해 기존의 니질층까지 침식되는 것으로 해석된다(Fig. 8). 그러나 자연의 퇴적작용에는 조석이나 파랑의 작용과 같이 오랜 동안 지속되고 반복되는 정규작용이 존재하는가 하면, 폭풍이나 태풍과 같이 짧게 간헐적으로 발생하는 격변작용이 존재하여 계절에 따른 퇴적상의 변화가 단순하지만은 않다(Reading, 1986). 실제로 함평만 조간대에서는 1995년 8월 태풍 페이가 통과한 후 여름의 퇴적양상과는 달리 지형적 특징에 따른 수력학적 변화에 따라 퇴적물의 분포 양상과 집적률이 좌우되는 경향을 보였으며, 이와 같은 태풍의 영향은 간조선 부근에 집중되는 경향을 보였다(Table 1). 한편, 만의 남쪽 시목조간대에서 나타난 겨울 동안의 침식우세 현상과 여름 동안의 퇴적우세 현상은 남양만 조간대(Wells *et al.*, 1990)와 곰소만 조간대(장과 최, 1998)에서 보고된 바 있다. 남양만 조간대와 곰소만 조간대가 함평만의 시목조간대와 유사한 계절적 변화를 보이는 이유는 이들 조간대가 보호섬 없이 외해와 직접 연결된 조간대로 겨울에는 강한 북서계절풍에 의해 외해로부터 전달된 고에너지를 직접 받고 여름에는 상대적으로 저에너지환경이 조성되어 함평만의 시목조간대와 유사한 지형적 특징을 갖기 때문이다.

한편, 서해 연안에 대한 기존의 연구 결과에 의하면, 한국해양연구소(1991)는 서해 남부 연안역의 집적률을 약 6 mm/yr로 보고하였으며, Alexander *et al.*(1990)은 남양만 조간대의 전반적인 집적률을 2.0~8.6 mm/yr(지역적으로 20 mm/yr 이상도 존재)로 보고하였고, 장(1995)은 서해 곰소만 조간대의 집적률을 41 mm/yr로 보고하여 서해의 조간대가 퇴적우세 환경임을 보고한 바 있다. 그러나 함평만 조간대의 연평균집적률은 안악조간대에

서 -49.6 mm/yr, 시목조간대에서 3.7 mm/yr로 안악조간대에 침식이 집중되는 경향을 보였는데(Table 1), 저에너지 환경에서 퇴적물의 부가(accretion)에 의해 조간대가 발달함을 고려할 때 매우 독특한 현상이다. 이와 같은 현상은 만 내의 간척지 매립으로 해안선이 단조로워져 만 내의 조류순환과 에너지의 분산 양상이 변화되었기 때문으로 생각되며, 더불어 조하대 내의 골재채취에 따른 해저지형의 변화도 만의 평형상태를 유지하기 위해 조간대에서 침식현상을 유발하는 것으로 보인다. 따라서 현재로서는 국부적인 결과를 가지고 함평만 내에 발달하고 있는 모든 조간대에서 침식이 진행되고 있는 것으로 판단하기는 어려우며 전체적인 퇴적물 수송량에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 생각된다.

결론

함평만의 북측 만입구 가까이에 위치하는 안악조간대는 대부분 지역이 평균해수면 상위에 위치해 있으며 비교적 평탄한 경사(0.16~0.39°)를 보이고 니질퇴적물이 우세하게 분포한다. 반면, 만의 남측에 위치하는 시목조간대는 대부분의 지역이 평균해수면보다 아래에 위치해 있고 해안선에서 간조선 방향으로 완만한 기울기(0.05~1.89°)를 가지고 발달되며 조립질퇴적물이 우세하게 분포한다. 계절에 따른 표층퇴적물의 입도분포 변화는 안악조간대보다는 시목조간대에서 크게 나타났으며, 특히 만조선과 간조선 부근에서 크게 나타났다. 시목조간대에서는 여름철에 세립질퇴적물의 집적으로 인해 표층퇴적물의 입도가 세립해지는 반면, 겨울철에는 침식되어 조립한 입도분포를 나타내는 경향을 보였다. 연평균집적률은 3.7 mm/yr로 정상적으로 퇴적되어 가는 경향을 보였다. 그러나 안악조간대에서는 겨울철에 세립질퇴적물이 집적되고 여름철에 침식되는 비정상적인 조간대 퇴적작용을 보였으며, -49.6 mm/yr의 연평균집적률로 침식이 진행되는 것으로 나타났다. 이곳에서의 침식우세작용은 중부조간대에 건설된 방조제에 의해 야기되는 조류의 방향과 세기 변화로 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 현재로서는 국부적인 결과를 가지고 함평만 내에 발달하고 있는 모든 조간대에서 침식이 진행되고 있는 것으로 판단하기는 어려우며 전체적인 퇴적물 수송량에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 생각된다.

사사

본 연구는 '98년도 한국과학재단 국내 박사후 연수과정(Post-Doc.)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구 수행을 위하여 오랜 기간 동안 반복하여 어려운 야외조사와 시료분석에 도움을 준 전남대학교 해양학과 김민지 양과 권병택, 박래환 군에게 감사하며, 본 논문의 내용을 세밀하게 검토하여 유익한 조언을 주신 익명의 심사위원과 편집위원장님께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립지리원, 1983. 연안해역 기본조사 보고서(법성포 지구), 60 pp.
 기상청, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996. 기상연보.

- 류상옥, 유환수, 전승수, 1997. 한국 서해 남부 함평만 표층퇴적물의 분포 및 특성. *한국지구과학회지*, **18**: 367-378.
- 장진호, 1995. 한국 서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용. 박사학위논문, 서울대학교, 192 pp.
- 장진호, 최진용, 1998. 조간대 퇴적물의 계절적 집적양상과 보존: 한국 서해안의 곰소만. *한국해양학회지*, **3**: 149-157.
- 최진용, 1993. 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구. *한국해양학회지*, **28**: 272-280.
- 한국해양연구소, 1991. 한국 서남해안 조간대의 종합조사연구(III). 162 pp.
- 한국해양연구소, 1994. 방조제축조에 따른 퇴적환경 변화 연구(II). 174 pp.
- 한국해양연구소, 1995. 서해 중부 연안역의 퇴적현상 연구. 158 pp.
- Alexander, C.R., C.A. Nittrouer, D.J. DeMaster, Y.A. Park, and S.C. Park, 1991. Macrotidal mudflats of the southwestern Korea coast: a model for interpretation of intertidal deposits. *Jour. Sed. Petrol.*, **61**: 805-824.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, **27**: 3-26.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In: *Procedures in sedimentary Petrology*, edited by Carver, R.E., Wiley-Inter Science, New York, pp. 49-67.
- Kang, S.W. and J.K. Choi, 1984. Surface waves and bottom shear stresses in the Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 118-124.
- Klein, G. deV. and J.E. Sanders, 1964. Comparison of sediments from Bay of Fundy and Dutch Waden Sea tidal flats. *Jour. Sed. Petrol.*, **34**: 19-24.
- Reading, H.G., 1986. Facies. In: *Sedimentary Environments and Facies* (2nd ed.), edited by Reading, H.G., Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 4-19.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, **83**: 273-284.
- Wells, J.T., C.E.Jr. Adams, Y.A. Park and E.W. Frankenberg, 1990. Morphology, sedimentology and tidal channel processes on a high-tidal-range mudflat, west coast of Korea. *Mar. Geol.*, **95**: 111-130.
- Wells, J.T. and O.K. Huh, 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by Ichiye, T., Elsevier, Amsterdam, pp. 387-397.

1998년 4월 11일 원고 접수

1999년 2월 20일 수정본 채택