

Article

강화 남부 갯벌의 퇴적환경 변화

우한준*¹ · 제종길²¹한국해양연구원 지구환경연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29²한국해양연구원 생태환경연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

Changes of Sedimentary Environments in the Southern Tidal Flat of Kanghwa Island

Han Jun Woo*¹ and Jong-Geel Je²¹Global Environment Research Laboratory, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea²Ecosystem and Environment Research Laboratory, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The southern tidal flat of Kanghwa Island with an area of approximately 90 km² is one of the biggest flats on the west coast of Korea. Surface sediments for sedimentary analyses were sampled at 83 stations in August 1997, September 1999 and August 2000. The very poorly-sorted mud sediments were predominant in the eastern part of the tidal flat, whereas the poorly-sorted sand-mud mixed sediments were dominant in the western part. The area of muddy sediment distribution diminished, but that of sandy mud sediment extended to southeastward tidal flat for three years. In the western part of tidal flat, deposition occurred during the period of spring to summer, whereas erosion occurred in winter. Sediment accumulation rates during three years indicated that the sediments deposited continuously in the eastern part of tidal flat, whereas eroded in the western part of tidal flat. Recently, construction of artificial structures such as new airport, island-connecting bridges and dikes near the tidal flat might change tidal current and river flow pattern. In order to reduce the ecological damage and to preserve tidal-flat environment, it is necessary to investigate long-term impacts on sedimentary environment and ecology.

Key words : 강화 갯벌(Kanghwa tidal flat), 퇴적환경(sedimentary environment), 집적률(accumulation rate), 인공구조물(artificial structure), 퇴적물(sediment).

1. 서 론

한반도 서해안은 수심이 얇고 넓은 대륙붕이 발달한 해역으로서 높은 조차에 의하여 연안에는 넓은 갯벌(tidal flat)이 분포한다. 갯벌은 다양한 생물들의 서식지가 될 뿐만 아니라 인근해역에 영양을 공급하며, 오염물질을 정화

시키는 등 생태계에 중요한 역할을 담당한다. 갯벌은 주변의 강과 외해에서 유입되는 퇴적물이 해수 순환에 의하여 집적됨으로서 생물다양성이 높아 연안 수산활동의 본거지가 됨으로서 인간생활과 밀접한 관계를 가지고 있다. 1960년대부터 서해안 갯벌들은 국토확장의 목적으로 대규모 간척사업에 의하여 농업, 공업, 신도시, 연안구조물 용지들로 변화하였다. 그러나 간척사업에 의한 가용면적

*Corresponding author. E-mail : hjwoo@kordi.re.kr

의 확대는 육지로부터 오염물질 유입에 따른 연안오염 증가, 해안선 변화에 따른 해류, 조류의 변화에 의하여 연안 퇴적물의 침식/퇴적 등의 부작용이 날이 갈수록 심각해지고 있다.

한국 서해안에 넓게 형성되어 있는 갯벌은 한강, 금강 등의 하구 환경에서 발달되어 있는 경우와 만 내부 그리고 연안에 발달되어 있는 경우 등 다양한 지리적인 특징을 가지고 있기 때문에 다양한 퇴적기작이 작용하고 있다. 지난 20년 동안 한반도 서해안의 인천, 군산, 영광, 남양만, 아산만, 곰소만, 대호, 백수 그리고 함평만 갯벌들에서 퇴적학적 연구가 진행되었다(정과 박 1978; Frey *et al.* 1989; Wells *et al.* 1990; Alexander *et al.* 1991; Lee *et al.* 1994; 장 등 1996; Koh 1997; Lee *et al.* 1999; 장 등 1999; Kim *et al.* 1999; Yang and Chun 2001). 이들 서해안 갯벌들의 일반적인 특징은 펄 퇴적물이 우세하고, 만조선에서 간조선으로 표층퇴적물의 입도가 조립해지는 경향을 보이며, 퇴적물은 생물에 의하여 교란되어 있고, 계절에 따라 퇴적과 침식이 반복되며, 북해나 북미 등의 갯벌

과는 달리 상향 조립화 층서(coarsening-upward sequence)를 보인다.

강화 갯벌은 우리나라의 대표적인 하구 갯벌로서 한강, 임진강, 예성강들로부터 유입된 퇴적물이 하구에 퇴적되어 형성되었다. 강화 갯벌은 영종 갯벌과 함께 독특한 지형, 멸종위기에 처한 동식물의 서식지, 생물의 산란지, 평균 20,000마리 이상 철새 도래지의 기능을 가지고 있는 것으로 평가된다(AWB 1990). 강화도의 현재 해안선은 고려시대 이후부터 간척사업에 의하여 90%이상 변화되었다(최 등 1998; 서울대학교 1998). 1910년과 1997년 지형도를 비교하면, 일제이후 간척사업으로 강화도 남부지역의 염생습지는 거의 사라지고, 간척사업과 한강담수의 유입에 따른 퇴적과 침식현상으로 석모수로쪽의 해안선은 바다쪽으로, 염하수로쪽은 오히려 강화도쪽으로 상당히 이동하였다(녹색연합·강화도 시민연대 1998). 최근 강화도 남쪽의 영종도 신공항과 해안 구조물 건설은 강화도 주변의 해안선을 변화시켜 조류의 흐름에 영향을 주는 것으로 보인다. 이에 따라 강화도 주변의 주기적인 퇴적물 순환에

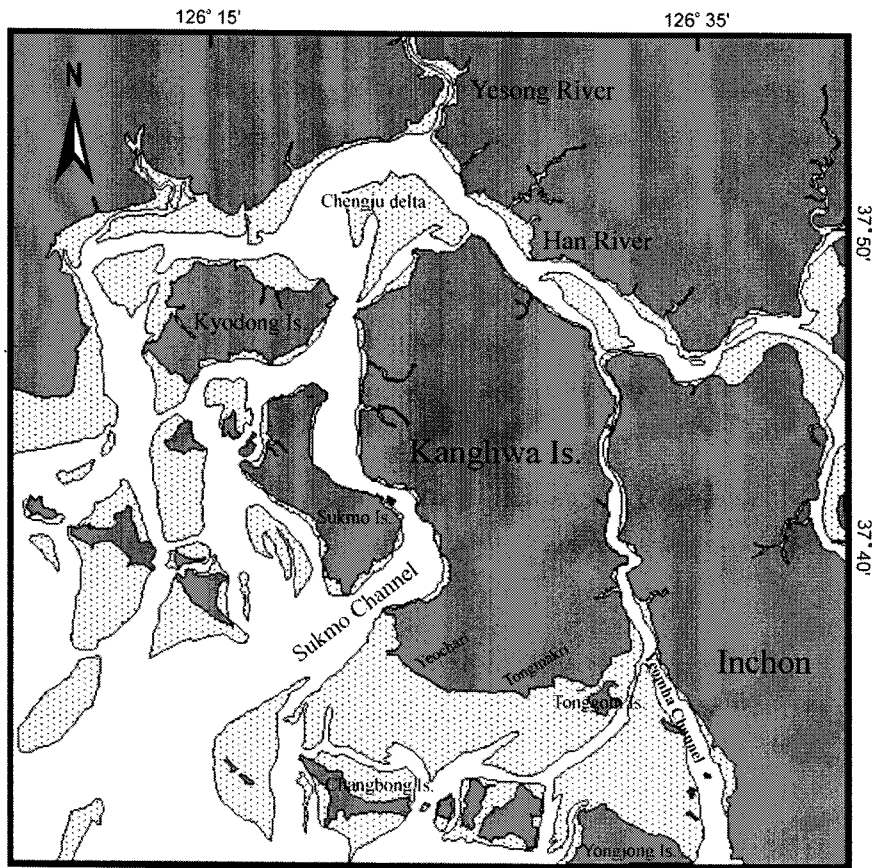


Fig. 1. Location map of Kanghwa Island with estuaries of Han and Yesong river systems. Dotted areas indicate tidal flats and sand bars.

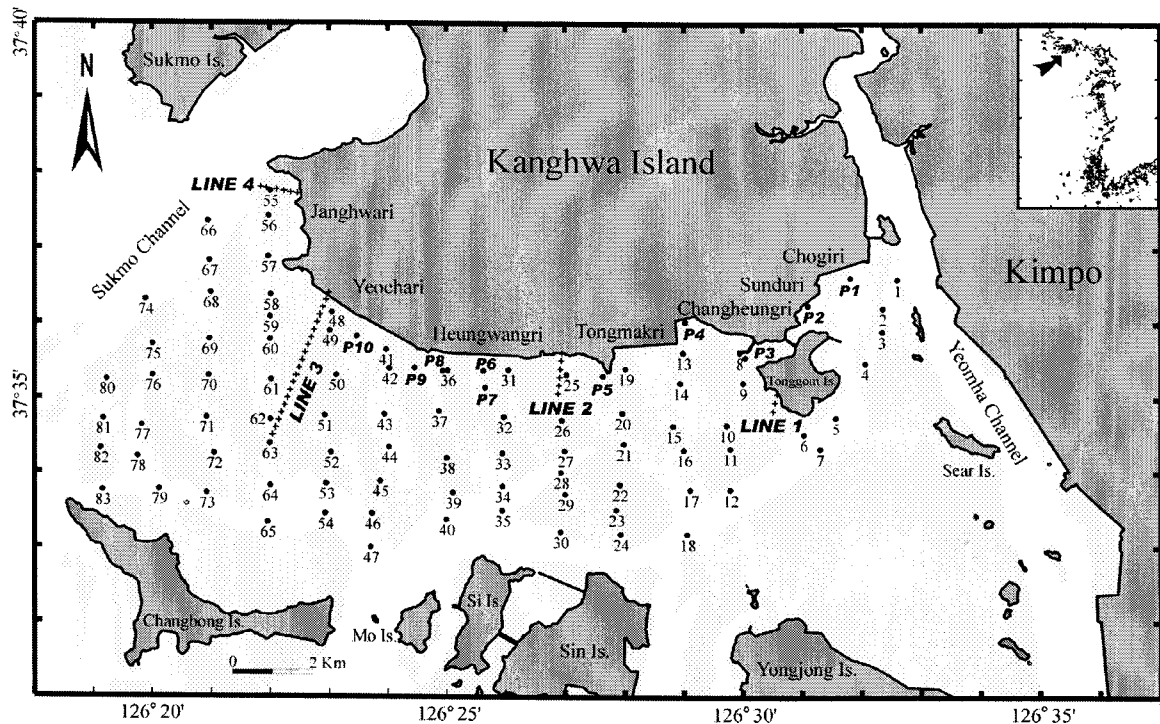


Fig. 2. Location map showing transect lines and 83 sampling locations of surface sediments. Stations P1 to P10 represent sites for measurements of short-term sediment accumulation.

변화가 일어나 갯벌 퇴적물 특성과 생태계의 지속적인 변화가 있을 것으로 보인다.

본 연구의 목적은 강화도 주변해역의 개발에 따른 강화도 남부 갯벌의 생태, 퇴적환경 및 지형 등에 변화가 예상됨으로써, 갯벌생태계에 영향을 미치는 퇴적학적 환경을 조사하고자 하는 것이다. 이러한 조사 목적을 위하여 강화도 남부 갯벌에서 1997년에서 2000년까지 퇴적환경 및 지형 변화에 관한 조사가 수행되었다. 이러한 자료들은 강화도 남부 갯벌의 생태계와 관련된 퇴적환경과 주변 변화에 의한 퇴적환경 변화 양상을 파악하고, 해안개발과 향후 환경 보존 관리 계획을 수립하는데 필요한 자료로서 활용될 것이다.

2. 지역개관 및 수리적 특성

강화도는 경기만 북부의 동경 126°21'~126°32', 북위 37°35'~37°50'에 위치한다(Fig. 1). 갯벌의 면적은 북부 청주사초를 포함하여 약최저저조면시 약 105 km²에 달하며, 여차리-동막리-동검리를 잇는 남부지역의 갯벌(Fig. 2)은 육지로부터 최대 거리 약 6 km, 면적은 약 90 km²로 강화도 전체 갯벌 면적의 약 86%를 차지한다(수로국 1981). 강화도 동부에는 300~1,500 m 폭의 비교적 좁은 염하수가 있고, 서부에는 약 1,200~3,800 m 폭의 석모수호가

있다. 강화도 서부에는 석모도, 교동도가 있고, 이외에도 영종도, 불음도, 장봉도, 세어도 등 수많은 유무인도가 산재한다. 한강과 강화도의 염하수로 입구인 유도 북서부에는 장방형의 사초가, 예성강과 석모수호가 만나는 지점에는 역 델타형의 삼각주인 청주사초가 발달하고 있다. 외포리 검조소의 1998년도 1년간 예보자료에 의한 강화도 주변해역 조석특징은(국립해양조사원 1998), 조고의 기준면은 평균해면하 4.57 m로 약최저저조면에 해당한다. 조석은 전형적인 일일 2주기로 년중 25회의 고고조와 저고조의 반복이 뚜렷하고, 월간변화는 7월을 제외하고는 전 기간에 걸쳐 조금과 사리의 부등현상이 뚜렷하다. 즉, 사리기간은 조금기간보다 2일 정도 길며, 조차는 약 2 m 정도 차이가 난다. 최대조차는 대부분이 8 m 정도이나, 극최대조차는 11월의 사리 1일후인 5일에 10 m, 최소조차는 상현후 2일후에 약 4 m이다. 조류는 장봉수로 등 남부에서는 창조시 2.7~4.7 knt/h, 낙조시 2.4~3.3 knt/h로 창조류가 우세하나, 석모수호에서는 창조시 2.2~5.1 knt/h, 낙조시 2.7~6.7 knt/h로 낙조류가 우세하다(수로국 1981). 한강수 유입의 영향을 받는 북부와 염하수호에서는 5월과 8월중 낙조류는 3.5~3.7 knt/h, 창조류는 2.2~3.5 knt/h로 전반적으로 낙조류가 우세하다(수로국 1981). 장과 오(1991)에 의하여, 1988년에 조사된 부유퇴적물의 농도는 염하수호에서 5월중 표층 150.8~1,074.0 mg/l, 저층 208.0~

1,397.6 mg/l이며, 8월에는 표층 88.8~1,170.8 mg/l, 저층 257.6~2,921.2 mg/l로서 대체로 8월에 농도가 높고, 그 변화폭도 크게 나타난다. 부유퇴적물은 낙조류가 진행되면서 농도가 서서히 증가하며 창조시는 낙조시보다 낮은 농도를 보임으로서 외해로부터 유입보다는 강 상류로부터 유출되는 부유퇴적물이 많음을 시사한다(장 과 오 1991).

강화도 남부 갯벌은 서해로 유입되는 한강의 지류와 본류의 영향을 동시에 받으며, 염하수로와 석모수로에서 유입되는 담수와 조석에 따른 해수의 혼합으로 염분도의 뚜렷한 구배를 나타내는 기수의 특성을 보여 주변에는 다양한 환경들이 조성되어 있다. 이 갯벌에는 모래, 펄, 혼합갯벌 등 다양한 종류의 갯벌이 존재하며, 이러한 갯벌들은 서로 다른 수리적, 화학적, 퇴적학적 요인들이 서로 다르게 작용하므로 생물들에게 다양한 서식지를 제공한다. 그러나 이 지역은 수도권 개발에 따른 한강종합개발공사, 주변의 매립에 따른 인공 구조물 설치, 인천 신공항 건설 등 인위적인 개발 압력으로 자연갯벌의 훼손 가능성이 높은 곳이다.

3. 재료 및 방법

강화 갯벌의 표층 퇴적환경을 파악하기 위하여 강화 남부에서 83정점에서 표층퇴적물을 채취하여 분석하였으며, 갯벌 퇴적작용의 결과를 나타내는 지형변화는 4개의 측선을 설정하여 약 3개월 간격으로 퇴적물 두께를 측정하여 단기간의 집적률을 계산하였다(Fig. 2). 4개의 측선에서는 100 m 또는 200 m 간격으로 광과거리 측정기(Wild T2 Universal Theodolite and Geodimeter 220)와 수준의(Pentax Pal 2S Level)를 이용하여 갯벌이 노출되는 시간에 정밀한 수준측량을 실시하였다. 수준측량에 앞서 출발 기준점은 연속해서 재측량이 가능하도록 영구보존을 위한 표석을 세웠다. 출발 기준점의 위치는 DGPS를 이용하여 결정하였고, 측선은 갯벌을 가로질러 바다쪽으로 설정하였다. 표고는 표척(Staff)을 측량지점에 세우고 고도를 알고있는 육상지점에서 Pentax Pal 2S Level을 사용하여 측량하였다. 측선들은 약 3개월마다 퇴적물 높이를 연속적으로 측정하여 집적률 변화를 파악하였다. 퇴적물의 집적률 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 기준면으로서 갯벌 퇴적물의 약 20~30 cm 깊이에 30 cm×30 cm 크기의 스테인레스 판을 설치하였다. 기준면이 설치된 곳은 주위 환경과 평형상태에 도달한 후 갯벌 표층에서 기준면(스테인레스 판)까지 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하고, 주기적으로 반복 측정하여 퇴적물 단기 집적률 변화를 계산하였다.

조사지역의 전반적인 표층퇴적물 분포특성 및 변화를 파악하기 위하여 강화도 남부 갯벌 83정점은 1997년 8월,

1999년 9월 그리고 2000년 8월에 만조시 선박을 이용하여 Grab sampler로 표층퇴적물을 채취하였다(Fig. 2). 현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 약 5 g을 1,000 ml 비이커에 담아 조개껍질 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거하였다. 또한 유기물 제거를 위하여 10% 과산화수소수(H₂O₂)로 24시간 이상 반응시켰다.

입도 분석이 준비된 시료는 4.0 ϕ 체를 이용하여 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 4.0 ϕ 이하의 모래 시료는 0.5 ϕ 간격으로 Gradex 2000 입도 분석기(Particle size analyzer)로 약 10분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였다. 4 ϕ 이하의 펄 시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2 g을 취해 80 ml의 0.1% calgon 용액을 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5100을 사용하여 입도 무게 백분율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도 등의 통계변수들을 구하였다.

4. 결 과

표층퇴적물의 입도특성 및 퇴적상

1997년 8월의 표층퇴적물은 6개의 퇴적상(mud, sandy mud, sand, muddy sand, slightly gravelly mud or slightly gravelly sandy mud, slightly gravelly muddy sand or gravelly muddy sand)으로 구성된다(Fig. 3a). 표층퇴적물은 해안선에서 바다 방향으로 조립해지는 경향을 보인다. 조사지역의 동쪽은 동검도를 중심으로 분급이 매우 불량한 펄(mud) 퇴적상이 우세하며, 약 6.0~7.0 ϕ 의 평균입도를 갖는다. 모래펄(sandy mud) 퇴적상은 조사지역 남부에서 여차리 방향인 북서로 넓게 분포한다. 모래(sand) 퇴적상은 석모수로 남쪽과 장봉도 북쪽의 수로 부근에 분포하며, 펄모래(muddy sand) 퇴적상은 장봉도 북쪽 수로 근처에서 북쪽으로 길게 분포한다. 자갈(gravel)이 포함된 모래나 펄 퇴적물은 동막리 연안과 장봉도와 신도 중간의 수로 부근에서 분포한다. 전반적으로 강화도와 장봉도 사이에는 모래 퇴적물이 상대적으로 많이 분포하며, 동검도 방향으로는 펄 퇴적물이 상대적으로 많이 분포한다.

표층퇴적물의 평균입도는 1.96~7.57 ϕ 의 범위를 나타내고 있다(Fig. 4a). 평균입도는 연구지역 동부에서 서부로 조립해지며, 선두리 남부 조간대에서 6.0 ϕ 이상의 세립한 입도를 보이며, 장봉도 북쪽 수로 근처와 석모수로 남쪽에서 4.0 ϕ 이하의 조립한 입도를 보인다. 동막리 남부에서 여차리 방향의 서북으로 5.0~5.5 ϕ 의 입도를 나타내고 있다. 분급도는 동검도에서 여차리 방향인 서북쪽으로 매우

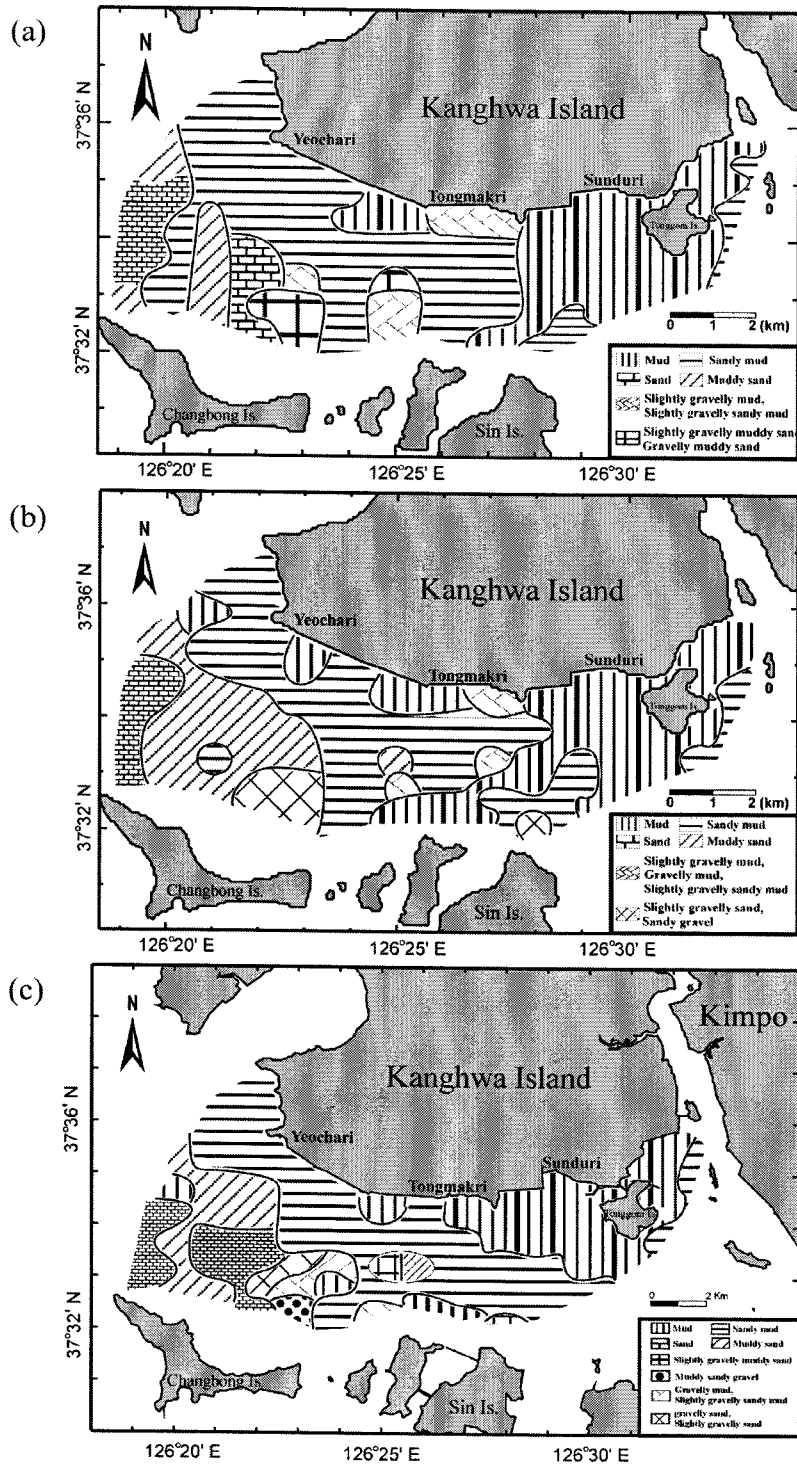


Fig. 3. Distribution of surface sediment facies on Kanghwa tidal flat in (a) August 1997, (b) September 1999 and (c) August 2000.

불량(very poorly sorted)하며, 장봉도 방향으로 상대적으로 점차 양호해지는 경향을 보인다(Fig. 5a).

1999년 9월의 표층퇴적물은 6개의 퇴적상(mud, sandy mud, sand, muddy sand, slightly gravelly mud or grav-

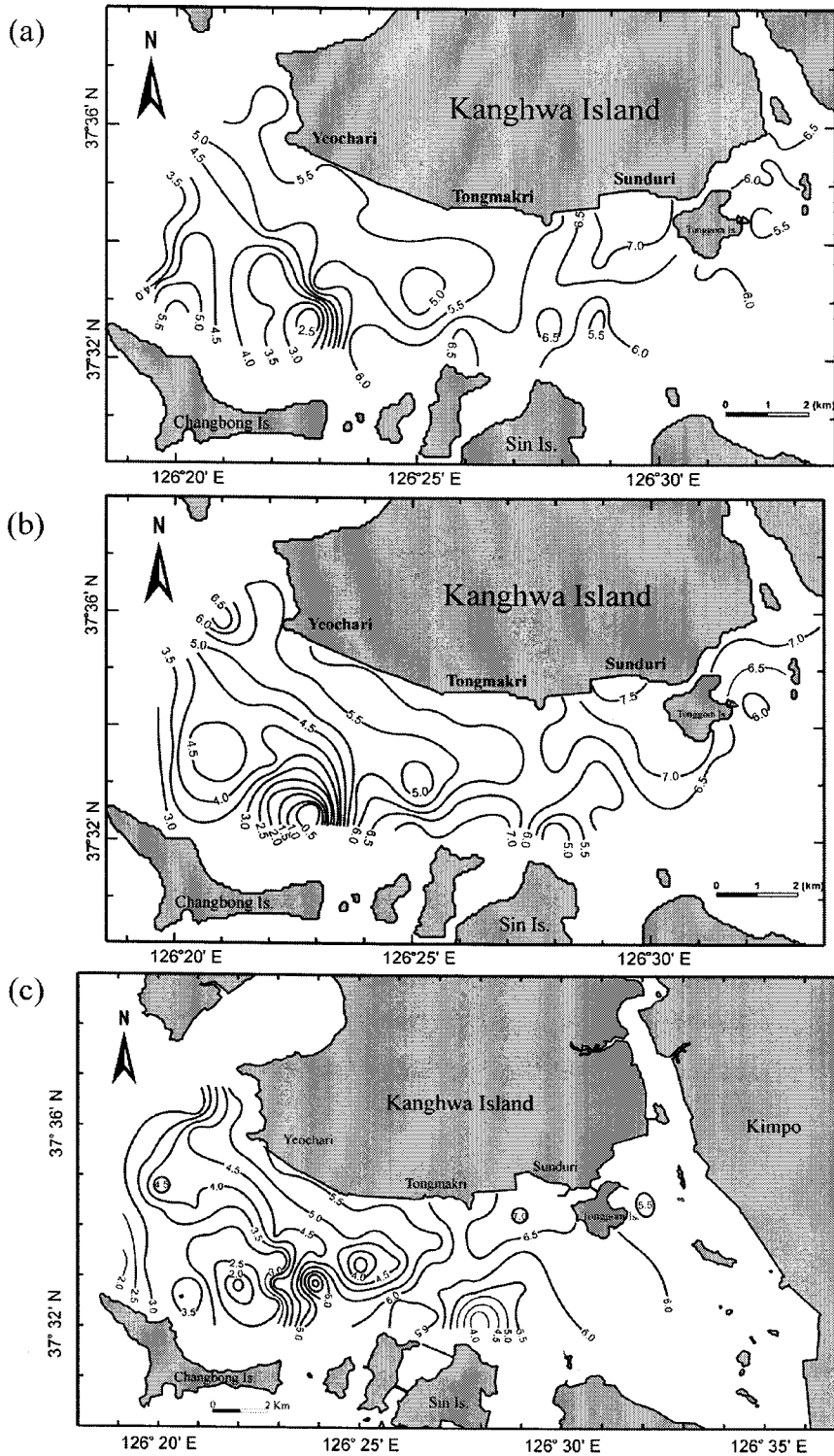


Fig. 4. Mean grain size (ϕ) of surface sediments in (a) August 1997, (b) September 1999 and (c) August 2000.

elly mud or slightly gravelly sandy mud, slightly gravelly sand or sandy gravel)으로 구성된다(Fig. 3b). 펄 퇴적

상은 여차리와 동막리 연안 및 동검도를 중심으로 선두리 갯벌에서 신도 방향으로 길게 분포한다. 모래펄 퇴적상은

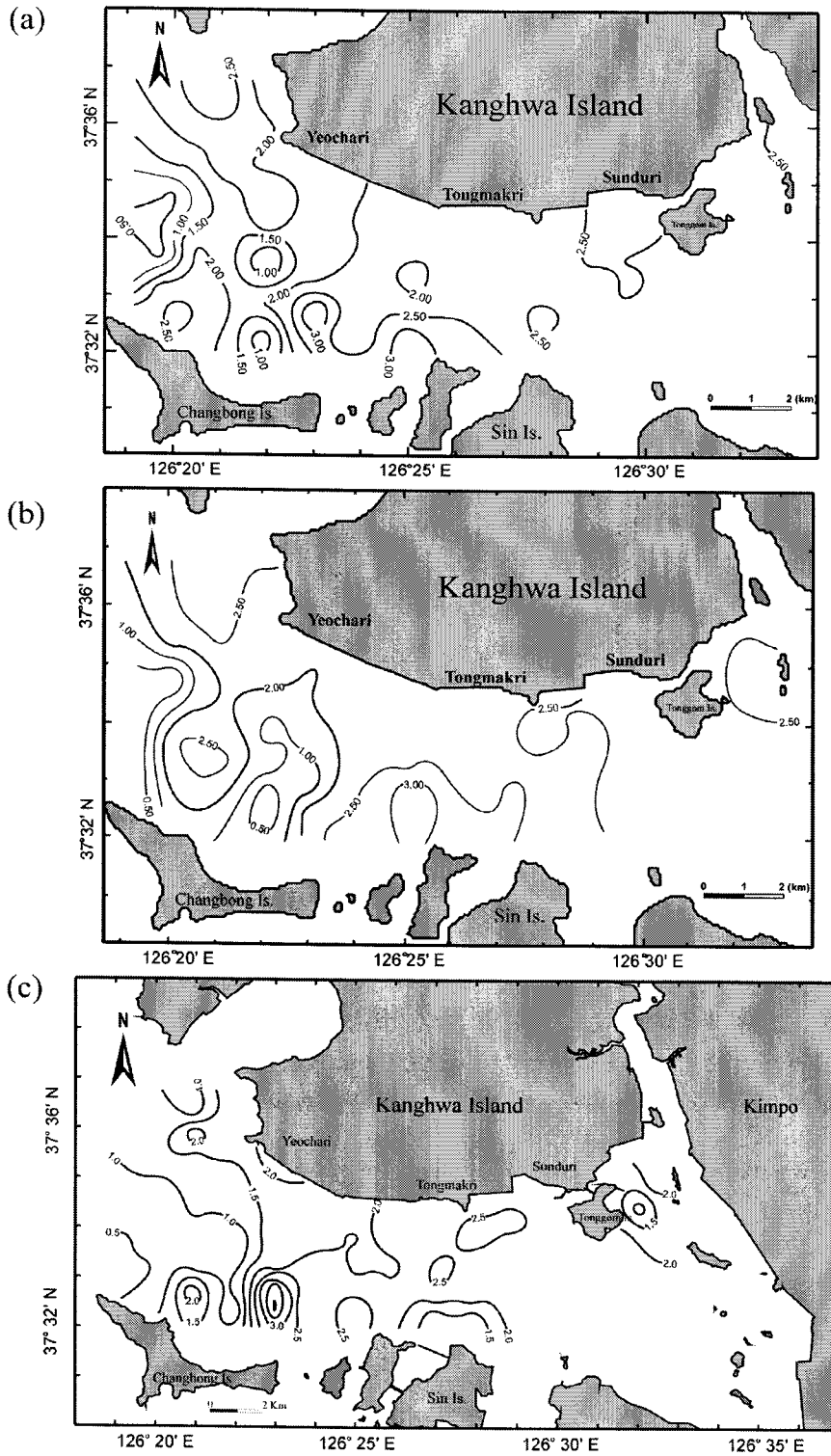


Fig. 5. Sorting values of surface sediments in (a) August 1997, (b) September 1999 and (c) August 2000.

신도 북부에서 선두리 쪽으로 그리고 장봉도와 신도 사이에서 동막리 쪽과 여차리 쪽의 서북방향으로 길게 분포한

다. 모래 퇴적상은 석모수로 남부에서 분포하며, 펄모래 퇴적상은 장봉도 북부에서 석모수로 쪽의 서북방향으로

분포한다. 자갈이 포함된 펄 퇴적상은 동막리 연안과 동막리에서 신도쪽으로 부분적으로 분포하며, 자갈이 포함된 모래 퇴적상은 장봉도 북쪽의 수로 근처에서 분포한다.

표층퇴적물의 평균입도는 $-0.90 \sim 7.87 \phi$ 의 범위를 나타내고 있다(Fig. 4b). 평균입도는 연구지역 동부에서 서부로 조립해지며, 선두리에서 신도쪽의 갯벌에서 6.0ϕ 이상의 세립한 입도를 보이며, 장봉도 북쪽 수로 근처와 석모수로 남쪽에서 4.0ϕ 이하의 조립한 입도를 보인다. 동막리 남부에서 여차리쪽의 서북방향으로 $5.0 \sim 6.0 \phi$ 의 입도를 나타내고 있다. 분급도는 여차리 갯벌에서 동쪽으로 선두리 갯벌까지 그리고 석모수로 북부에서 장봉도 쪽의 갯벌에서 매우 불량($\sigma > 2 \phi$, very poorly sorted)하며, 여차리에서 장봉도쪽으로 분급도가 불량에서 점차 양호해지는 경향을 보인다(Fig. 5b).

2000년 8월의 표층퇴적물 퇴적상은 펄(mud), 모래펄(sandy mud), 모래(sand), 펄모래(muddy sand), 자갈이 약간 함유된 펄모래(slightly gravelly muddy sand), 펄모래자갈(muddy sandy gravel), 자갈펄 또는 자갈이 약간 함유된 모래펄(gravelly mud or slightly gravelly sandy mud) 그리고 자갈이 함유된 모래(gravelly sand or slightly gravelly sand) 등 8개의 퇴적상으로 구성된다(Fig. 3c). 동막리를 중심으로 동쪽은 펄 성분이 우세하고 서쪽은 모래가 함유된 다양한 형태의 퇴적상이 나타난다. 펄 퇴적상은 동막리 연안 및 동검도를 중심으로 초지리 방향과 동막리 방향으로 분포하며, 동막리 방향으로 연안으로부터 거리가 점차 줄어들며 분포한다. 또한 신도 북쪽의 수로 가까운 곳과 서쪽의 석모수로 인근에서 일부 나타난다. 모래펄 퇴적상은 장화리부터 선두리까지 길게 분포하며 동막리를 중심으로 장화리, 여차리 갯벌은 연안쪽에 선두리 갯벌은 수로쪽으로 분포한다. 또한 동검도 동쪽의 염하수로를 따라 분포한다. 모래 퇴적상은 신도 북부의 수로 부근, 장봉도 북부 갯벌과 석모수로 남부 인근 갯벌에 나타난다. 펄모래 퇴적상은 장봉도 북쪽에서 여차리 갯벌 중앙부를 거쳐 석모수로 방향으로 분포한다. 자갈이 약간 함유된 펄모래 퇴적상은 홍왕리와 시도 중간 갯벌에 일부 나타난다. 펄모래 자갈 퇴적상은 장봉도 동쪽 수로 부근에서 일부 나타난다. 자갈펄 또는 자갈이 약간 함유된 모래펄 및 자갈이 함유된 모래 퇴적상은 홍왕리 갯벌의 장봉도 동부와 가까운 곳에 나타난다. 자갈을 포함하는 모래 퇴적물은 장봉도와 시도 사이의 수로와 가까운 갯벌에서 나타나며 이 지역에는 다양한 퇴적물이 나타난다.

2000년 8월의 표층퇴적물의 평균입도는 $1.17 \sim 7.54 \phi$ 의 범위를 나타내고 있다(Fig. 4c). 평균입도는 동부에서 서부쪽으로 조립해지며, 선두리 갯벌의 연안이 가장 세립하며, 장봉도 북부의 수로 근처에서 $2.0 \sim 3.0 \phi$ 의 범위로 조립하다. 장화리, 여차리, 홍왕리 연안 갯벌은 $4.0 \sim 6.0 \phi$ 의 점

토 크기 평균입도 분포를 보인다. 2000년 8월의 표층퇴적물의 분급도는 장봉도 북부에서 석모수로 중간 사이 갯벌은 양호하나, 전반적으로 불량 또는 매우 불량하다(Fig. 5c).

갯벌의 집적을 변화

조사 지역 갯벌의 단기 퇴적을 변화시키기 위한 축선 4개와 축선 보안을 위한 정점 10개(P1~P10)를 선정하였다(Fig. 2). 4개의 축선은 1997년(축선 1, 2, 4)과 1998년(축선 3)에, 정점들은 2000년 5월에 설정하였다. 단기 퇴적률의 변화는 2000년 11월까지의 자료를 이용하여 분석하였다. 각 정점간의 거리가 축선 1과 4는 100 m이며, 축선 2와 3은 200 m이다.

1997년 8월부터 측정된 축선 1, 2, 4의 퇴적물 두께는 Fig. 6에 나타내었다. 축선 1이 위치한 동검도 갯벌을 약 3년 동안 관측한 결과에 의하면, 1997, 1998년 겨울, 1999년 여름, 2000년 봄에는 침식이 우세하였으나, 측정기간동안 전반적으로 퇴적되고 있었다. 2000년 5월부터 11월까지의 측정 결과는 봄부터 가을까지 퇴적이 계속 진행되었다. 1997년 12월부터 2000년 11월까지 3년 동안의 축선 1의 집적을 변화는 3.10 cm에서 14.50 cm가 퇴적되었으며, 해안선에서 바다 쪽으로 퇴적률이 상대적으로 높아졌다(Table 1). 3년 동안의 연평균 퇴적률은 $1.03 \sim 4.83$ cm/yr이다.

축선 2가 위치한 동막리 갯벌에서는 1997년 겨울, 1999년 여름, 2000년 봄에 주로 침식되었으나, 전반적으로 3년 동안 퇴적작용이 우세하게 나타났다(Fig. 6). 2000년 5월부터 11월까지의 측정 결과는 봄에서 여름까지 해안선 쪽과 바다 쪽에 일부 침식되었으나, 이 기간동안 전반적으로

Table 1. Sediment accumulation rates(ΔD) on lines 1, 2 and 4 over three years (December 1997–November 2000). Positive values indicate deposition and negative values indicate erosion.

| St. | Depth(cm) from surface to datum | | ΔD (cm) | Annual accumulation rate(cm/yr) |
|------|---------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------------|
| | Dec. 1997 | Nov. 2000 | | |
| L1-1 | 30.00 | 33.10 | 3.10 | 1.03 |
| L1-2 | 30.30 | 36.50 | 6.20 | 2.07 |
| L1-3 | 37.70 | 52.20 | 14.50 | 4.83 |
| L2-2 | 23.70 | 26.00 | 2.30 | 0.77 |
| L2-3 | 21.50 | 23.50 | 2.00 | 0.67 |
| L2-4 | 24.20 | 26.30 | 2.10 | 0.70 |
| L2-5 | 23.60 | 22.70 | -0.90 | -0.30 |
| L4-2 | 21.30 | 15.00 | -6.30 | -2.10 |
| L4-4 | 19.70 | 15.00 | -4.70 | -1.57 |
| L4-6 | 20.70 | 8.00 | -12.70 | -4.23 |
| L4-8 | 16.10 | 17.70 | 1.60 | 0.53 |

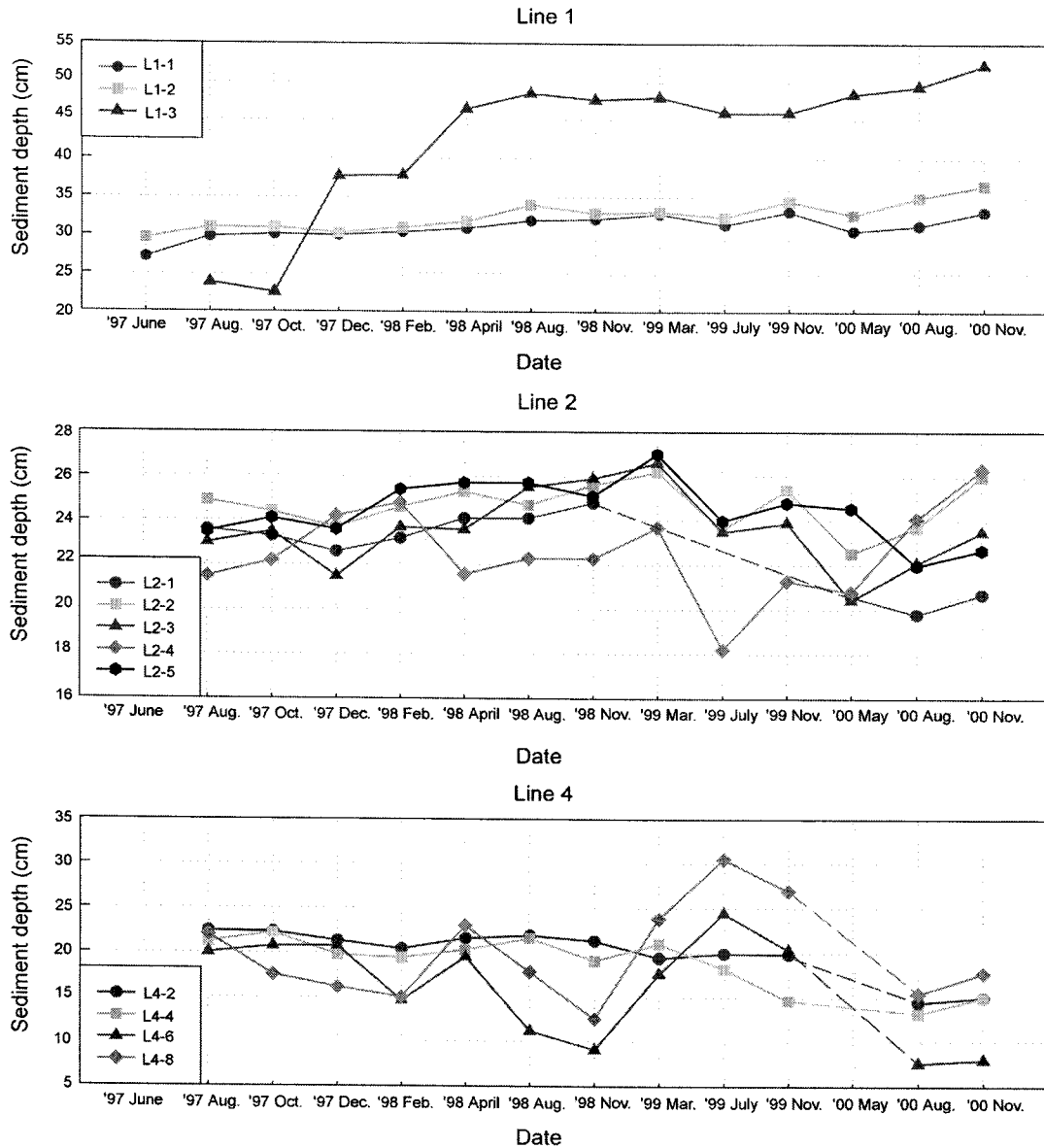


Fig. 6. Sediment depth(cm) from surface to datum on lines 1, 2, and 4 during 1997-2000.

퇴적이 진행되었다. 1997년 12월부터 2000년 11월까지 3년 동안의 집적률 변화에 의하면, 해안선에서 800 m(정점 2, 4)까지는 2.00 cm에서 2.30 cm가 퇴적되어 연평균 퇴적률은 0.67~0.77 cm/yr이다(Table 1). 해안선에서 1000 m 지점(정점 5)에는 3년 동안 0.90 cm 침식되어 연평균 침식률은 -0.30 cm/yr이다.

장화리 갯벌 측선인 4에서는 100 m 간격으로 9 정점을 설정하였으나, 5 정점에서는 퇴적률 판이 측정기간 중에 유실되어 4 정점의 자료만 사용하였다. 측선 4는 1997년 가을부터 1998년 겨울까지 그리고 1998년과 1999년은 가

을철에 주로 침식이 일어났으며, 1998년과 1999년은 봄에서 여름까지 그리고 2000년은 가을철에 주로 퇴적되었다. 측선 4는 3년 동안 불규칙적으로 퇴적과 침식이 진행되었으며 전체적으로 침식이 우세하게 나타났다(Fig. 6). 1997년 12월부터 2000년 11월까지 3년 동안의 집적률 변화에 의하면 해안선에서 600 m(정점 2, 4, 6)까지는 4.70 cm에서 12.70 cm가 침식되어 연평균 침식률은 -1.57~-4.23 cm/yr이다(Table 1). 해안선에서 800 m 지점(정점 8)에는 3년 동안 1.60 cm 퇴적되어 연평균 퇴적률은 0.53 cm/yr이다.

Table 3. Sediment accumulation rates(ΔD) on line 3 over two years (November 1998-November 2000). Positive values indicate deposition and negative values indicate erosion.

| St. | Depth(cm) from surface to datum | | ΔD (cm) | Annual accumulation rate(cm/yr) |
|-------|---------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------------|
| | Nov. 1998 | Nov. 2000 | | |
| L3-1 | 19.50 | 16.50 | -3.00 | -1.50 |
| L3-3 | 19.40 | 12.60 | -6.80 | -3.40 |
| L3-4 | 15.00 | 6.90 | -8.10 | -4.05 |
| L3-5 | 22.80 | 7.10 | -15.70 | -7.85 |
| L3-7 | 10.60 | 7.50 | -3.10 | -1.55 |
| L3-9 | 24.30 | 16.10 | -8.20 | -4.10 |
| L3-11 | 21.50 | 24.70 | 3.20 | 1.60 |
| L3-12 | 22.10 | 22.00 | -0.10 | -0.05 |
| L3-13 | 46.10 | 42.90 | -3.20 | -1.60 |
| L3-14 | 26.50 | 38.50 | 12.00 | 6.00 |
| L3-15 | 30.40 | 19.50 | -10.90 | -5.45 |
| L3-16 | 28.30 | 21.60 | -6.70 | -3.35 |
| L3-17 | 12.60 | 13.20 | 0.60 | 0.30 |

여차리 갯벌 축선인 3에서 200 m 간격으로 1998년 7월부터 2000년 11월까지 관측하였으며 해안선으로부터 1500 m 이상은 수로와 모래둔덕의 이동이 진행되는 지역으로 퇴적률 변화보다 지형변화에 따라 퇴적과 침식이 좌우되는 지역이다. 따라서 단기간 퇴적률 변화는 해안선에서 1600 m 지점까지 결과를 분석하였다. 해안선에서 1600 m(정점 8)까지 계절적으로 1998년은 여름철, 1999

년은 겨울에서 봄까지 퇴적이 우세하나 이 외의 기간 동안은 전반적으로 침식이 우세하게 나타난다(Table 2). 1999년과 2000년의 11월에는 해안선에서 600 m 안쪽은 퇴적이 일어난다. 해안선에서 1600 m까지 1998년 11월부터 2000년 11월까지 2년 동안의 집적률 변화는 3.00 cm에서 15.70 cm가 침식되어 연평균 침식률은 $-1.50 \sim -7.85$ cm/yr이다(Table 3).

강화 남부 갯벌 전반의 퇴적률을 파악하기 위하여 초지리에서 홍왕리 갯벌까지 정점 10개(P1~P10)를 선정하여 2000년 5월에 퇴적률 판을 설치하였다(Fig. 2). 초지리와 선두리 갯벌의 정점인 P1~P4는 2000년 5월에서 11월까지 1.60 cm에서 3.20 cm가 퇴적되었다(Table 4). P3인 장흥리 갯벌 정점에서 가장 높은 퇴적률을 나타내었으며, 봄부터 겨울까지 연속적으로 퇴적이 일어났다. 반면에 동막리에서 홍왕리 갯벌의 정점인 P5~P9는 2000년 5월에서 11월까지 -2.00 cm에서 -7.50 cm가 침식되었다. 침식은 홍왕리 갯벌에서 상대적으로 크게 나타나며 P9 정점에서 -7.50 cm로 가장 높게 나타났다. 정점 P5와 P7은 여름철에 퇴적이 되었으나, 정점 P6, P8, P9는 봄부터 가을까지 연속적으로 침식되었다. 홍왕리 갯벌인 정점 10은 여름철에 침식되었으나 가을에 퇴적되어 이 기간 동안 변화가 없었다.

5. 토 의

강화도 남부 갯벌 표층퇴적물의 1997, 1999, 2000년

Table 2. Sediment depth (cm) from surface to datum on line 3 during 1998-2000. Bold values indicate deposition.

| St. | '98 | '98 | '98 | '99 | '99 | '99 | '00 | '00 |
|-------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | July | August | November | March | July | November | August | November |
| L3-1 | 19.5 | 19.9 | 19.5 | 18.7 | 18.2 | 20.6 | 16.0 | 16.5 |
| L3-2 | 18.6 | 20.4 | 20.3 | 21.4 | - | - | 12.7 | 16.9 |
| L3-3 | 19.0 | 20.8 | 19.4 | 18.5 | 13.0 | 21.0 | 11.3 | 12.6 |
| L3-4 | 17.0 | 17.4 | 15.0 | 15.9 | 11.6 | 17.1 | 10.3 | 6.9 |
| L3-5 | 20.0 | 19.5 | 22.8 | 28.0 | 23.0 | 7.3 | 16.2 | 7.1 |
| L3-6 | 15.5 | 14.0 | 17.1 | 15.0 | 14.8 | - | - | - |
| L3-7 | 16.3 | 19.2 | 10.6 | 11.3 | 15.3 | 14.7 | 8.11 | 7.5 |
| L3-8 | 15.4 | 9.7 | 9.0 | 12.9 | 13.7 | 12.6 | - | - |
| L3-9 | 29.7 | 26.0 | 24.3 | 23.6 | 29.2 | 20.8 | 23.7 | 16.1 |
| L3-10 | 24.5 | 18.0 | 13.3 | 16.0 | 13.3 | 12.1 | - | - |
| L3-11 | 14.6 | 12.5 | 21.5 | 17.8 | 24.4 | 9.5 | - | 24.7 |
| L3-12 | 25.1 | 26.2 | 22.1 | 24.5 | 26.1 | 23.4 | - | 22 |
| L3-13 | 24.3 | 32.2 | 46.1 | 55.5 | 30.9 | 33.0 | 40.1 | 42.9 |
| L3-14 | 24.1 | 26.8 | 26.5 | 25.0 | 17.1 | 34.0 | 43.3 | 38.5 |
| L3-15 | 28.5 | 27.8 | 30.4 | 29.1 | 29.6 | 26.2 | 26.6 | 19.5 |
| L3-16 | 29.7 | 30.7 | 28.3 | 29.4 | 30.9 | 29.4 | 23.9 | 21.6 |
| L3-17 | 19.6 | 14.6 | 12.6 | 14.5 | 13.5 | 13.3 | 9.6 | 13.2 |

Table 4. Sediment depth(cm) from surface to datum on station(P1-P10) and sediment accumulation rates (ΔD) from May 2000 to November 2000. Positive values indicate deposition and negative values indicate erosion.

| St. | Depth(cm) from surface to datum | | | ΔD (cm) |
|-----|---------------------------------|-----------|-----------|--------------------|
| | May 2000 | Aug. 2000 | Nov. 2000 | |
| P1 | 13.30 | 15.30 | 16.20 | 2.90 |
| P2 | 15.10 | 16.00 | 17.30 | 2.20 |
| P3 | 15.10 | 16.10 | 18.30 | 3.20 |
| P4 | 14.20 | 15.10 | 15.80 | 1.60 |
| P5 | 13.00 | 13.20 | 11.00 | -2.00 |
| P6 | 16.80 | 14.90 | 12.70 | -4.10 |
| P7 | 13.90 | 14.50 | 11.10 | -2.80 |
| P8 | 13.10 | 10.70 | 8.10 | -5.00 |
| P9 | 14.00 | 8.90 | 6.50 | -7.50 |
| P10 | 17.10 | 15.70 | 17.10 | 0.00 |

여름철 퇴적상을 비교하면, 1997년에 비해서 1999년에 펄 퇴적상이 장봉도와 신도 사이까지 확장되었다. 2000년에는 펄 퇴적상이 해안선에 가까운 지역에서 동막리까지 확장되었으나, 신도 북부 펄 갯벌은 모래펄 퇴적상으로 변화되었다. 모래펄 퇴적상은 1999년에 여차리 연안쪽으로 면적이 감소하며 감소된 지역이 펄모래 퇴적상으로 변화하였으나, 2000년에 선두리 갯벌 중앙부를 따라 수로쪽으로 확장되었다. 장봉도 북부의 퇴적상은 3년 동안 자갈과 모래의 성분이 유입되어 다양한 퇴적상으로 변화하였다. 전반적으로 3년동안의 여름철 년변화는 동막리를 중심으로 동쪽의 펄 퇴적물이 선두리 중앙부 갯벌까지 면적이 감소되며, 장화리부터 모래펄 퇴적상이 확장되는 경향을 보인다.

강화 남부 갯벌의 퇴적상 변화는 과거 자료의 부족에 의하여 변화의 정도를 파악하기 어려우나, 연구기간 동안 변화가 진행되었음을 보여준다. 경기만 일대의 갯벌 중 영종도 갯벌은 Lee *et al.*(1992)의 결과와 비교하여 모래 실트 퇴적상은 실트 모래 퇴적상으로 조립화되고 지역에 따라 모래와 실트 퇴적상이 불규칙하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(이 등 1998). 또한 시화방조제 인근 해역은 방조제 방향으로 세립화하는 경향을 보였다.

1997, 1999, 2000년의 평균입도 분포를 비교하면, 가장 세립한 선두리 갯벌의 평균입도 분포가 감소하고, 동막리에서 서쪽 갯벌은 전반적으로 조립화 되었다. 3년간의 분급도를 비교하면, 장봉도 북부의 갯벌은 1997년과 1999년에 불량한 분급도를 가진 갯벌이 양호해져 여차리 갯벌 중간에서 석모수로 방향으로 전반적으로 양호한 분급도를 가진다. 강화 남부 갯벌은 전반적으로 3년동안 분급도가 양호해지는 경향을 보인다.

강화도 남부의 동부 갯벌(동막리, 선두리, 홍왕리) 표층 퇴적물 구성을 1991년도(환경처 1991)와 비교하면 전반적으로 펄 성분이 증가되어 세립화 되었음을 알 수 있다(Table 5). 1991년 환경처의 강화남단 자연생태계 지역조사에 의하면 표층퇴적물 성분은 동막리 연안은 모래 33~45%와 펄 55~67%, 선두리 연안은 모래 38~43%와 펄 57~62%, 그리고 홍왕리 연안은 모래 33~48%와 펄 52~67%로 구성된다. 이곳들과 유사한 지점의 표층퇴적물 성분은 1997년에 동막리 연안(St. 25, 26)에서 모래 8~20%와 펄 80~92%, 선두리 연안(St. 9)에서 모래 2%와 펄 98%, 그리고 홍왕리 연안(St. 36, 37)에서 모래 7~22%와 펄 78~93%로 구성되며, 1999년은 동막리 연안은 모래 6~14%와 펄 86~94%, 선두리 연안은 모래 3%와 펄 97%, 그리고 홍왕리 연안은 모래 6~23%와 펄 77~94%로 구성된다. 2000년의 표층퇴적물 성분은 동막리 연안은 모래 5~32%와 펄 68~95%, 선두리 연안은 모래 2%와 펄 98%, 그리고 홍왕리 연안은 모래 9~23%와 펄 77~91%로 구성된다. 1991년 이후 자료에 따르면 해안선에 인접한 강화 남부 갯벌의 표층퇴적물은 펄 퇴적물의 퇴적이 증가하여 세립화 되었음을 보여준다.

3년 동안 강화 남부 갯벌에 나타나는 퇴적물 분포 변화에 의하면, 장봉도 북부 갯벌에서 다양한 퇴적상이 나타나는 것으로 보아 이 지역은 강과 외해에서 유입된 펄과 모래가 다양한 수리적 요인에 의하여 지역에 따라 서로 다른 퇴적작용이 활발히 이루어지는 것으로 보이며, 반면에 동검도에 인접한 지역은 해수의 순환이 활발하지 않아 염하수로에서 유입되는 펄 퇴적물은 대부분 이 지역 갯벌에 퇴적되고 모래 퇴적물은 수로를 통하여 장봉도 방향으로 이동되는 것으로 보인다.

측선과 정점들의 집적률 변화를 종합하면 동막리를 중

Table 5. Comparison of surface sediment composition(%) on Kanghwa tidal flat.

| Locality | Sediment composition(%) in 1991(Ministry of Environments, 1991) | | Sediment composition (%) in 1997 | | Sediment composition (%) in 1999 | | Sediment composition (%) in 2000 | |
|-------------|---|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | Sand | Mud | Sand | Mud | Sand | Mud | Sand | Mud |
| Tongmakri | 33-45 | 55-67 | 8-20 | 80-92 | 6-14 | 86-94 | 5-32 | 68-95 |
| Sunduri | 38-43 | 57-62 | 2 | 98 | 3 | 97 | 2 | 98 |
| Heungwangri | 33-48 | 52-67 | 7-22 | 78-93 | 6-23 | 77-94 | 9-23 | 77-91 |

심으로 동부인 선두리 초지리 갯벌은 전반적으로 퇴적이 계속되고 있는 것으로 보이며, 서부인 홍왕리, 여차리, 장화리 갯벌은 봄에서 여름사이에 퇴적 그리고 가을에서 겨울까지 침식이 일어나며, 이 지역 갯벌들은 전체적으로 침식이 진행되는 것으로 보여진다. 동막리 갯벌은 상대적으로 작은 집적률로 퇴적되고 있는 것으로 보여진다. 여차리 갯벌의 수로와 가까운 부분은 수로와 모래둔덕 이동에 따른 지형변화가 우세하기 때문에 퇴적/침식 작용의 경향을 파악하기 매우 어렵기 때문에 부유퇴적물의 이동량, 지형 변화 및 퇴적물의 부피 변화 등의 종합적인 조사가 필요한 지역이다.

강화 남부 갯벌과 퇴적환경은 다르지만, 기존 연구결과에 의한 서해안 갯벌 집적률은 남양만 0.2~0.8 cm/yr (Alexander *et al.* 1991), 곰소만 평균 4.1 cm/yr(장과 최 1998), 함평만 시목 갯벌 0.4 cm/yr(류 등 1999)로 나타났다. 그러나 방파제의 영향을 받은 대호 갯벌은 -10 cm/yr (Lee *et al.* 1999), 함평만 안악 갯벌은 -5 cm/yr(류 등 1999)로 침식되었다. 이러한 집적률과 비교하면 동검도 갯벌에서는 최대 4.8 cm/yr가 퇴적되어 다른 지역 갯벌의 집적률 보다 높은 결과를 보이며, 여차리와 장화리 갯벌에서는 최대 -4.2~-7.8 cm/yr가 침식되고 있어 방파제의 영향을 받는 대호와 함평만 안악 갯벌과 유사한 수치를 보였다.

우리나라 서해안 갯벌은 외해와 주변 강으로부터 부유 퇴적물 공급과 겨울철의 북서계절풍 영향에 의하여 계절적인 퇴적/침식 경향을 보이는 것으로 보고되고 있다. 서해안 갯벌인 함평만(류 등 1999), 남양만(Wells *et al.* 1990), 곰소만(장과 최 1998)은 퇴적물이 겨울 동안은 침식이 우세하고, 여름 동안은 퇴적이 우세한 계절적인 변화를 보인다. 연구지역의 서부인 홍왕리, 여차리, 장화리 갯벌의 퇴적물은 위의 지역과 같은 계절적인 변화를 보이지만, 동부인 동검도 부근의 갯벌 퇴적물은 계절적인 변화 없이 지속적으로 퇴적되었다.

한국해양연구원(2001)은 강화도 주변 지역의 인공구조물 건설에 따른 주변해역의 해수유동 변화를 비교하기 위하여 현장조사와 수치모형 실험을 실시하였다. 인천국제공항, 송도 신도시, 인천공항 고속도로, 건축자재 비축기지 건설에 따른 해수유동 변화의 수치모형 실험 결과에 의하면, 이러한 시설물들이 건설되었을 경우 시설물이 건설되지 않은 경우에 비하여 유속은 강화 남부 갯벌 서부 지역은 증가하며, 동부지역은 대부분 감소하고, 조위는 동부지역에서 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 동부지역의 조위 증가는 인천공항고속도로 건설로 인하여 수로의 폭이 크게 감소하여 낙조류 유통을 저감시키는데 기인한 것으로 보았다(한국해양연구원 2001). 이러한 연구결과는 강화남부 갯벌이 주변개발에 의하여 해수순환에 변화가 생겼음을 나타내며, 이러한 요인이 이 지역의 퇴적물 분포

변화와 동부 지역의 지속적인 퇴적 현상에 영향을 주었을 것으로 추측된다.

6. 결 론

강화도 남부 갯벌 표층퇴적물의 여름철 1997, 1999, 2000년의 퇴적상을 비교하면, 3년 동안 동막리를 중심으로 동쪽은 펄 퇴적물 분포 면적이 감소되며, 장화리 갯벌부터 동남쪽으로 모래펄 퇴적상이 확장되었다. 3년 동안 평균입도 분포는 선두리 갯벌 지역의 가장 세립한 평균입도 분포 지역이 감소하고, 동막리에서 서쪽 갯벌은 전반적으로 조립화 되었다. 분급도는 3년 동안 전반적으로 양호해지는 경향을 보이며, 장봉도 북부의 갯벌은 1997년과 1999년에 불량한 분급도를 가진 갯벌이 양호해져 여차리 갯벌 중간에서 석모수로 방향으로 전반적으로 양호한 분급도를 가진다. 강화도 남부의 동부 갯벌(동막리, 선두리, 홍왕리) 표층퇴적물 구성 성분을 1991년도와 비교하면 펄 퇴적물의 퇴적이 증가하여 세립화 되었음을 보여준다.

동검도 갯벌의 3년 동안 집적률 변화에 의하면 1.03~4.83 cm/yr가 퇴적되며 이 지역은 해안선에서 바다 쪽으로 퇴적률이 상대적으로 높아졌다. 동막리 갯벌의 3년 동안의 집적률 변화에 의하면 해안선에서 800 m까지는 0.67~0.77 cm/yr가 퇴적되었으며, 해안선에서 1000 m 지점에는 -0.30 cm/yr가 침식되었다. 여차리 갯벌의 2년 동안 집적률 변화는 해안선에서 1600 m까지 -1.50~-7.85 cm/yr가 침식되었으며, 장화리 갯벌의 3년 동안 집적률 변화는 해안선에서 600 m까지는 -1.57~-4.23 cm/yr가 침식되었고, 해안선에서 800 m 지점에는 0.53 cm/yr가 퇴적되었다.

연구지역 동부 갯벌에서 2000년 5월에서 11월까지 1.60 cm에서 3.20 cm가 퇴적되었으며, 장흥리 갯벌에서 가장 높은 퇴적률을 보이고 초지리와 선두리 갯벌은 봄부터 겨울까지 연속적으로 퇴적되었다. 반면에 서부 갯벌인 동막리에서 홍왕리 갯벌은 2000년 5월에서 11월까지 -2.00 cm에서 -7.50 cm가 침식되었다. 침식은 홍왕리 갯벌에서 상대적으로 크게 나타나며 최대 -7.50 cm이었다.

강화 남부 갯벌은 3년동안 퇴적상이 변화되었으며, 집적률의 계절별 및 연도별 변화를 종합하면 동막리를 중심으로 동부인 선두리, 초지리 갯벌은 전반적으로 퇴적이 계속되었고, 서부인 홍왕리, 여차리, 장화리 갯벌은 봄에서 여름사이에 퇴적, 가을에서 겨울까지 침식이 일어나나, 이 지역 갯벌들은 전체적으로 침식되고 있었다. 동막리 갯벌은 상대적으로 작은 집적률로 퇴적되고 있었다.

본 연구의 결과들은 강화도 남부 갯벌의 퇴적환경 변화를 보여주고 있으며, 이러한 변화는 주변의 인위적인 개발과 연관성이 있을 것으로 추측되고 있다. 따라서 이 지역

은 생태계의 변화를 최소화하고 환경보존 관리 계획을 수립하기 위하여 지질학적, 수리학적, 생태학적 종합조사가 장기간 지속되는 것이 필요하다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원의 기관고유사업인 “갯벌의 효율적인 이용과 보전을 위한 연구”와 수탁사업인 “강화도 어업피해 및 경인지역 공동보상관련 보상금 분담 조사 용역” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 현장조사와 실내분석에 도움을 주신 권수재, 김광산, 조진형, 박성민님께 감사드립니다. 본 논문을 심사해 주시고 좋은 의견을 주신 익명의 두 심사자분들께 감사드립니다.

참고문헌

국립해양조사원. 1998. 1998년 조석표, 서지 제510호.
 녹색연합·강화도시민연대. 1998. 강화도의 지속 가능한 발전 방향에 대한 연구. 264 p.
 류상욱, 유환수, 이종덕. 1999. 함평만 조간대의 표층퇴적물과 집적물의 계절변화. 바다, 4(2), 127-135.
 서울대학교. 1998. 한국 해양갯벌의 환경보전 가치에 관한 연구. SBS 문화재단 환경보전사업(연구부문) 최종보고서, 701 p.
 수로국. 1981. 영종도에서 용매도 해도 No. 311.
 이종현, 이정석, 김범수, 이창복, 고철환. 1998. 경기만 퇴적물의 중금속 분포 특성. 바다, 3(3), 103-111.
 장진호, 김여상, 조영길. 1999. 해안침식이 우세한 반폐쇄적 조간대의 퇴적작용: 한국 서해안의 함평만. 바다, 4(2), 117-126.
 장진호, 박용안, 한상준. 1996. 한국 서해안 곶소만 조간대의 제4기 충서와 해수면 변화. 바다, 1(2), 59-72.
 장진호, 최진용. 1998. 조간대 퇴적물의 계절적 집적양상과 보존: 한국 서해안의 곶소만. 바다, 3(3), 149-157.
 장현도, 오재경. 1991. 한강종합개발 이후 한강하구 및 경기만의 퇴적환경. 한국해양학회지, 26(1), 13-23.
 정공수, 박용안. 1978. 남양만 남부 조간대 퇴적환경의 퇴적학적 특성에 관하여. 한국해양학회지, 13, 9-18.
 최강원, 어대수, 문중앙. 1998. 간척사업과 지형진화(1), 강화도. Jour. Agr. Eng., 58, 3-14.
 한국해양연구원. 2001. 강화도 어업피해 및 경인지역 공동보상관계 보상금 분담 조사용역(1차 중간보고서). 554 p.
 환경처. 1991. '91 자연생태계 지역조사 -서해안 간척지(강화

도 남단) 조사-. 환경처 보고서, 195 p.
 Alexander, C.R., C.A. Nittrouer, D.J. Demester, Y.A. Park, and S.C. Park. 1991. Macrotidal mudflats of the southwestern Korean coast: a model for interpretation of intertidal deposits. *J. Sediment. Petrol.*, 61, 805-824.
 AWB. 1990. Managing your wetland. 64-95.
 Folk, R.L. and W. Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-26.
 Frey, R.W., J.D. Howard, S.J. Han, and B.K. Park. 1989. Sediments and sedimentary sequences on a modern macrotidal flat, Inchon, Korea. *J. Sediment. Petrol.*, 59, 28-44.
 Kim, Y.H., H.J. Lee, S.K. Chough, S.S. Chun, and S.J. Han. 1999. Holocene transgressive stratigraphy of macrotidal flat in the southeastern Yellow Sea: Gomsu Bay, Korea. *J. Sediment. Res.*, 69, 328-337.
 Koh, C.H. 1997. Korean megatidal environments and tidal power project : Korean tidal flats - biology, ecology and land uses by reclamations and other feasibilities. *La Houille blanche/Nº*, 3, 66-78.
 Lee, C.B., H.R. Yoo, and K.S. Park. 1992. Distribution and properties of intertidal surface sediments of Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 277-289.
 Lee, H.J., S.S. Chun, J.H. Chang, and S.J. Han. 1994. Landward migration of isolated shelly sand ridge (chenier) on the macrotidal flat of Gomsu Bay, west coast of Korea: controls of storms and typhoon. *J. Sediment. Res.*, A64, 886-893.
 Lee, H.J., Y.S. Chu, and Y.A. Park. 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. *Mar. Geol.*, 157, 171-184.
 Yang, B.C. and S.S. Chun. 2001. A seasonal model of surface sedimentation on the Baeksu open-coast intertidal flat, southwestern coast of Korea. *Geosci. J.*, 5, 251-262.
 Wells, J.T., C.E.J. Adams, Y.A. Park, and E.W. Frankenberg. 1990. Morphology, sedimentology and tidal channel processes on a high-tide-range mudflat, west coast of South Korea. *Mar. Geol.*, 95, 111-130.

Received Apr. 12, 2002

Revised Sep. 2, 2002

Accepted Dec. 24, 2002