

한국 서남해 함평만 조간대 퇴적층의 제4기 후기 층서 연구

박용안 · 임동일 · 최진용* · 이영길**
서울대학교 해양학과, *군산대학교 해양학과
**경북대학교 지질학과

Late Quaternary Stratigraphy of the Tidal Deposits in the Hampyung Bay, southwest coast of Korea

YONG AHN PARK, DHONG IL LIM, JIN YONG CHOI* AND YOUNG GIL LEE**

Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742 Korea
**Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea*
***Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 305-350, Korea*

한반도 서남 해역에 위치한 함평만(전라남도 함평군) 조간대 퇴적층의 제 4기 후기 층서와 퇴적학적 연구를 위하여 총 37 지점에서 평균 3 m 깊이(최대 5.2 m)의 시추가 실시 되었다. 채취된 퇴적물 시료의 입자 조직(grain texture), 퇴적 구조(sedimentary structure), 색(color) 및 광물 조성(mineral composition) 등을 토대로 10개의 퇴적상(sedimentary facies)이 분류 되었다. 분석 결과에 의하면, 함평만 조간대 퇴적분지의 층서는 상위로부터 순차적으로 층서단위 Unit I, Unit II 및 Unit III로 구성된다. 최상위의 층서단위 Unit I은 조립질 퇴적상인 비조식 사질역 퇴적상(Facies SGd)과 괴상 역질 이토 퇴적상(Facies GMm) 또는 세립질 퇴적상인 엽층리 실트 퇴적상(Facies Zp), 괴상 이토 퇴적상(Facies Mm) 및 평행 엽층리 이토 퇴적상(Facies Mp)으로 구성되며, 상향 조립화의 특징을 나타낸다. 이 퇴적층은 해수면이 거의 현재의 위치에 도달된 지난 약 4,000년 동안 형성된 후기 현세(late Holocene) 해침 퇴적층으로 해석된다. Unit I에 의하여 부정합적으로 피복되는 층서단위 Unit II는 준 고화된 황색 이토 퇴적상(Facies Mym)과 회색의 미고결된 니질 퇴적상(Facies Mgm)으로 구성되며, 수평적 연속성이 양호하고, 함평만 전체에 광역적으로 분포한다. Unit II는 서해의 여러 조간대에서 보고된 간월도층과 대비되는 것으로 여겨지며, 후기 플라이스토세(late Pleistocene)의 조간대 퇴적환경에서 집적된 퇴적층으로 해석된다. 이러한 Unit II에는 지난 최대 빙하기 동안 대기중에 노출된 다양한 증거(황갈색, 고화상태, 동토구조, 점토광물의 함량 변화등) 들을 함유한다. Unit II에 의하여 부정합적으로 피복되는 Unit III는 역질의 층리를 갖는 조립의 퇴적물(Facies SGb와 Facies Sx)로 구성되며 내만역의 한정된 지역(후동과 시목동 해역)에 분포한다. 퇴적학적 특성과 지역적인 분포 양상을 고려할 때, Unit III는 육성 환경(nonmarine deposits)의 하천 퇴적물(fluvial sediment)로 해석된다. 결과적으로 함평만 조간대 퇴적분지의 층서(최고기로부터 최신기)는 기반암 지층(중생대 화강암)→육성 퇴적층(Unit III)→후기 플라이스토세의 니질 조간대 퇴적층(Unit II)→후기 현세의 조간대 퇴적층(Unit I)의 층서이며, 각각의 층서단위의 경계는 부정합적이다.

The late Quaternary stratigraphy of the tidal deposits in the Hampyung Bay, southwestern coast of Korea comprises 1) Unit III (nonmarine fluvial coarse-grained sediments), 2) Unit II (late Pleistocene tidal deposits), and 3) Unit I (late Holocene fine-grained tidal deposits) in ascending order. The basements of the Hampyung Bay is composed of granitic rocks and basic dyke rocks. These three units are of unconformably bounded sedimentary sequences. The sequence boundary between Unit I and Unit II, in particular, seems to be significant suggesting erosional surface and exposed to the air under the cold climate during the LGM. The uppermost stratigraphic sequence (Unit I) is a common tidal deposit formed under the transgression to highstand sea-level during the middle to late Holocene.

서 론

한반도 서해 연안의 조간대는 평균 4 m 이상의 조차를 나타내는 대조차(macrotidal range) 환경이며, 수 m에 달하는 두꺼운

퇴적층을 나타낸다(최 1987; 최, 1994). 이러한 두꺼운 조간대 퇴적층은 제 4기 후기(late Quaternary)의 기후, 해수면 변화 및 조석 현상 등의 고환경(paleo-environment)에 관련된 많은 증거들을 보존하고 있어 매우 중요한 연구의 대상이 되어왔다(김,

1988; 박, 1993; 한국해양연구소, 1994; 장, 1995; 오 외, 1995; Park, 1969; Park and Lee, 1995). 특히 연안 퇴적분지(coastal sedimentary basin)에서의 퇴적층은 해수면 변화(sea-level changes)에 예민하게 반응하며, 따라서 고환경 중 해수면에 대한 정보는 퇴적학적 측면에서 매우 중요한 자료이다. 지난 마지막 최대 빙하기(Last Glacial Maximum) 동안 중국 동해안과 한반도 주변 대륙붕의 해수면은 현재보다 약 130 m 아래에 있었으며, 그 후 해수면은 빠르게 상승하였으나 약 6,000~5,000 yr B.P. 이후부터는 상대적으로 느린 상승 곡선을 나타낸다(박, 1992; Park, 1983; Jin and Schubel, 1984; Zhao *et al.*, 1985). 이러한 해수면 변화는 한국 서해안에 발달한 조간대 퇴적층의 형성 과정과 층서 발달에 중요한 의미를 갖는 것으로 간주 되어왔다.

지난 20여년 동안 우리나라의 경우 층서적 관점의 조간대 퇴적층 연구가 많은 것은 아니었다(김, 1988; 김과 박, 1992; 장, 1995, 박 외, 1995). 이러한 연구 결과의 대부분은 서해의 여러 지역의 조간대 퇴적층이 현세 후기 해수면 상승에 의하여 형성된 해침층위(transgressive sequence)임을 설명한다. 이러한 현세

후기(late Holocene)의 조간대 퇴적층은 (1)선 캄브리아기의 변성암류 또는 중생대의 화강암질 심성암과 화산암류(김, 1988), (2)현세 초기의 육성층(용두리 멤버; 박 외, 1995) 그리고 (3)후기 플라이스토세의 준고화된 황갈색의 조간대 퇴적층(김과 박, 1988; 김과 박, 1992; 박 외, 1995; Lim *et al.*, 1995) 등 여러 다른 시기의 지층들을 부정합적으로 피복한다.

본 연구는 서남해안에 위치한 합평만 조간대 퇴적분지의 층서와 이들의 퇴적학적 특성을 밝히는데 그 중요 목적이 있다.

연구지역

본 연구 해역인 합평만 조간대(전라남도 합평군)는 서남해안에 위치하고 있으며, 북서 방향의 좁은 만 입구(약 1.8 km의 폭)를 통하여 외해와 연결되는 반 폐쇄적 지형 특성을 나타낸다(Fig. 1). 합평만의 조수환경(tidal environment)은 평균 조차는 315.4 cm (소조차 205.4 cm, 대조차 425.3 cm)인 반일 주조형(semi-diurnal)의 낙조 우세환경이며, 만 입구의 주 조류로(main

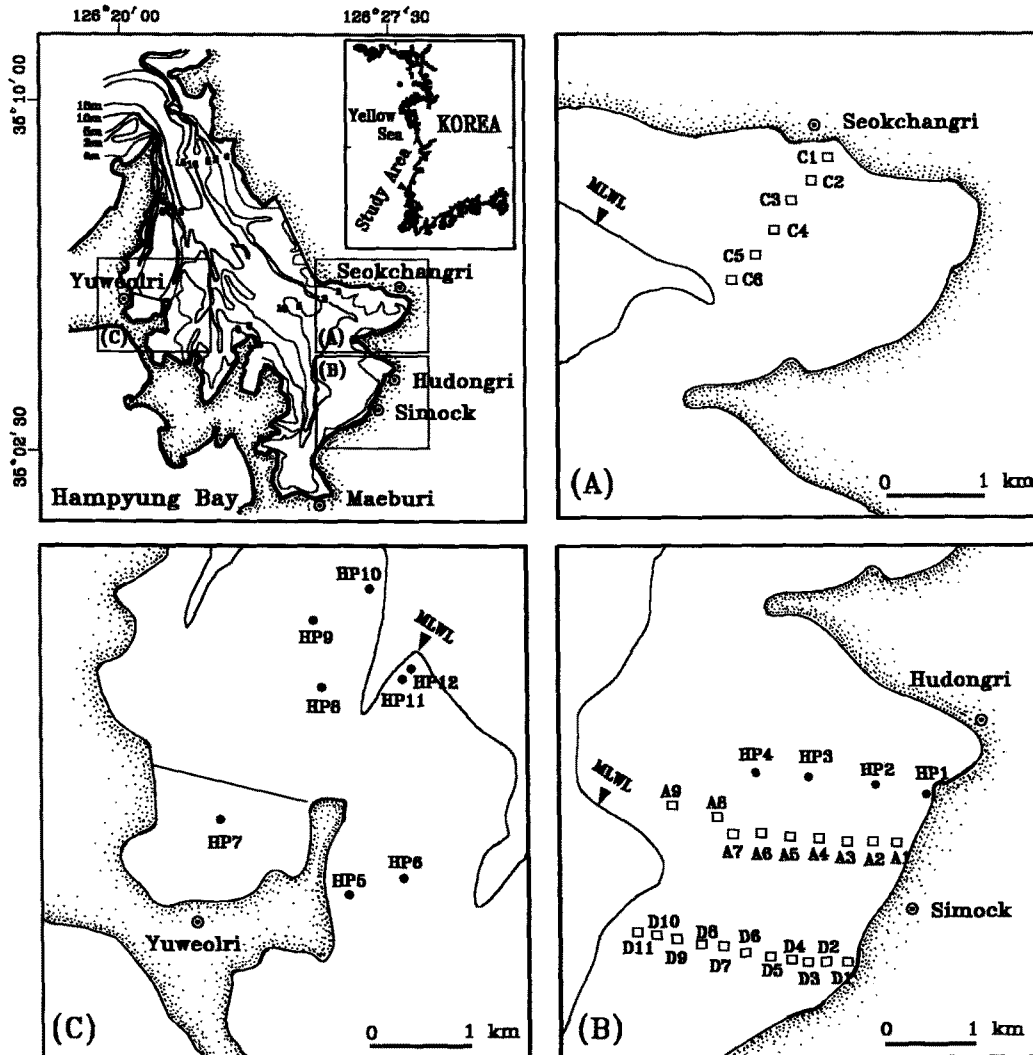


Fig. 1. Index map showing the study area and enlarged three areas for field observation and core sites. A) Seokchangri area, B) Hudongri and Simock area, C) Yuweolri area, (MLWL: Mean Low Water Level, Filled circle: vibracore sites, open square: hand auger sites).

tidal channel)에서 측정된 대조시 창조류의 최대 유속은 125 cm/sec, 낙조류의 최대 유속은 138 cm/sec 이다(국립지리원, 1983). 함평만의 남쪽에 위치한 목포 측우소에서 1978년부터 1982년, 그리고 1993년에 측정된 기상 자료에 의하면 13.9 m/sec 이상의 풍속을 가지는 폭풍 일수는 연 총 28.8일이며, 대부분 겨울철(12, 1, 2월)에 집중되어 있다(김, 1996). 폭풍시의 풍향은 함평만의 주 조류로 방향과 일치하는 북북서 풍계가 우세하다.

함평만은 대규모 하천 수계를 갖고 있지 않으며, 만 내부의 해안을 따라 여러 곳에서 수 m 높이의 해안 절벽(sea cliff)이 발달하고 있다. 야외 조사에 의하면 해안 절벽은 폭풍시 침식작용(erosional process)을 크게 받는 것으로 밝혀졌다. 따라서 함평만 조간대는 만 내부의 해안 침식 과정과 소규모 하천들에 의하여 조립질 퇴적물을 공급 받으며, 외해로부터 세립질 퇴적물을 공급 받는 것으로 해석되고 있다(김, 1996).

해안 절벽의 만조선에 인접하여 발달하고 있는 남동부(후동과 시목동 지역) 해안의 조간대(upper tidal flat)에서는 역질이토(gravelly mud)와 사질이토(sandy mud)의 퇴적상이 우세하며, 남서부와 동북부(유월리와 석창리 지역) 해안의 조간대에서는 실트(silt)와 니질(mud) 퇴적상이 우세하다(김, 1996). 이러한 표층 퇴적상의 지역적 차이는 해안 침식에 따른 조립 퇴적물의 공급 차이에 의한 것으로 밝혀진 바 있다(김 1996).

연구방법

본 연구는 야외 관찰과 37개 지점에서 시추된 코아 시료의 퇴적학적 실내 분석(조직, 구조, 색상 및 광물 성분), 지질 공학적 요인 측정(함수율, 전단 응력), 및 C^{14} 연령 측정 등의 연구 방법에 의하여 수행되었다. 시추 장비는 진동 시추기(vibracorer)와 수동식 시추기(hand auger)를 이용하였으며, 채취된 코아 시료는 절개된 후 육안으로 관찰되는 색상 변화, 일차적 퇴적구조

및 생물교란 흔적 등을 자세히 관찰 기록하였다.

퇴적물의 입자 분석(size analysis)은 Ingram(1971)의 분석 방법에 따라 각 코아 시료에서 약 10~20 cm 간격으로 실시 되었으며, 세립사(2~3 ϕ) 퇴적물 입자는 쌍안 실체현미경 하에서 중요 광물별로 함량(%) 분석 되었다. 2 μ m 이하의 퇴적물중 점토 광물 분석은 X-선 회절 분석기(MAC Science, Japan)를 이용하였으며, 상대적 함량(relative percentage)은 Biscaye (1965)에 의해 제안된 피크 면적 방법을 이용하여 계산 하였다.

내부 퇴적구조(internal sedimentary structure)는 7 cm \times 30 cm \times 1 cm 크기의 슬랩을 연 X-선 사진 촬영기(Model HITEK type HP-100)를 사용하여 촬영한 후 사진 분석을 통해 해석되었다. 퇴적물의 전단응력(shear strength)은 코아 시료에서 약 10cm 간격으로 Hand Vane(Gilson model no. HM-504 Torvane Rheometer)을 이용하여 측정되었고, 함수율(water contents)은 전단응력을 측정 한 동일 위치에서 시료를 채취하여 습윤 시료와 건조 시료의 무게 차이로써 수분량을 구하고 건조량에 대한 백분율로 구하였다.

주상 시추에서 채취된 굴 패각과 식물 파편의 탄소 동위원소 연령(^{14}C age) 측정은 New Zealand, Lower Hutt의 Institute of Geological and Nuclear Science에 의뢰하였다.

결 과

퇴적상의 분류와 해석

함평만 조간대에서 시추된 37개 코아 시료의 퇴적물은 색상, 조직, 퇴적 구조, 광물성분 및 지질 공학적 특성 등의 요인 분석에 근거하여 10개의 퇴적상(sedimentary facies)으로 분류·해석 하였다(Table 1).

비조직 사질역 퇴적상(Facies SGd)

비조직 사질역 퇴적상(disorganized sandy gravel facies)은 황

Table 1. Ten sedimentary facies types and their lithology observed and classified from the vibracore sediments in the study area.

Facies Types	Lithologic feature	Sedimentary structure
Facies SGd	sandy gravel, mainly subangular pebble and very coarse sand, pale yellow color	disorganized
Facies GMm	gravelly sandy mud and sandy gravelly mud (>40% in mud contents), greenish gray color	massive to weakly bioturbated
Facies SGb	sand/sandy gravel, light yellow color	interbedded sand/sandy gravel, partly graded
Facies Sx	sand, iron-stained quartz, light gray color	cross-bedded with low angle
Facies Ssm	shelly coarse to medium sand, subangular, pale yellow color	massive, no graded
Facies Zp	silt to sandy silt, greenish gray color	thinly parallel laminated to moderately bioturbated including burrows filled with sands
Facies Mp	mud (60% of silt and 40% of clay), greenish gray color	weakly to moderately bioturbated parallel laminated
Facies Mm	mud to silty mud, plant roots and oyster shell layer in lower part, greenish gray color	massive, including weakly laminated in some parts
Facies Mym	sandy mud and mud, semi-consolidated, no smectite, plant roots, brownish yellow color, cryoturbate structure, crab burrow fossil	massive to thinly laminated
Facies Mgm	sandy mud and mud including plants roots, bluish gray with partly yellow, no cryoturbate structure	massive to thinly laminated

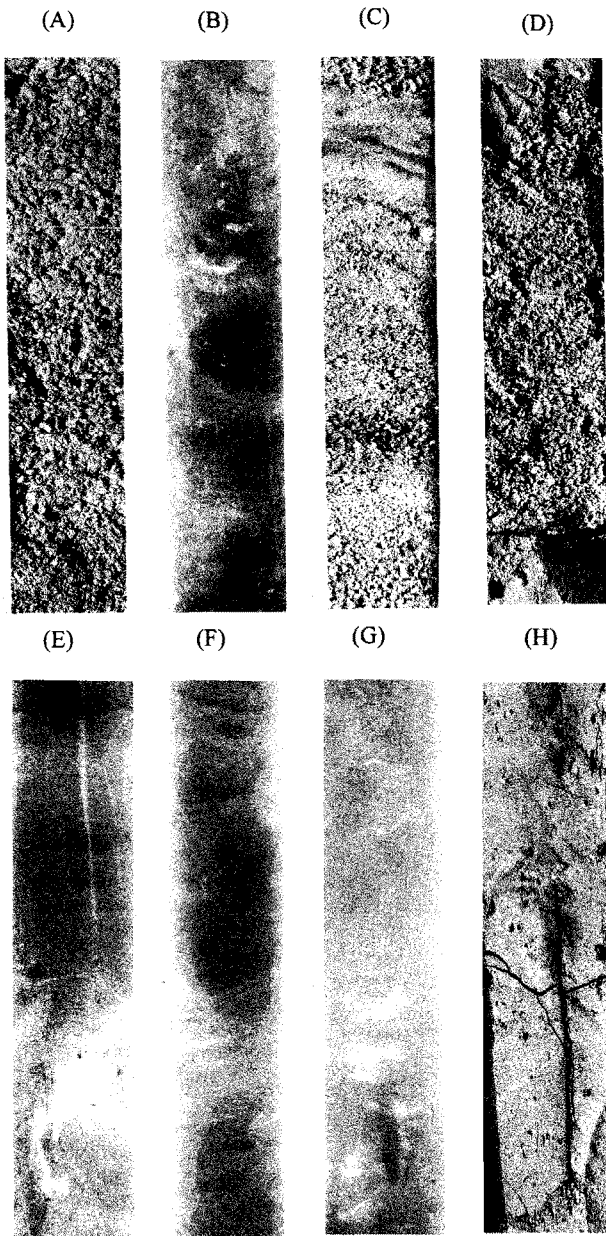


Fig. 2. X-ray radiographs (positive) and photographs of vibracore showing characteristics of each facies. A) Photograph of facies SGd. 50~80 cm, core HP 1. B) X-ray radiograph of facies GMm. 85~105 cm, core HP 3. C) Photograph of facies SGB and Sx. 320~350 cm, core HP 4. D) Photograph of facies Ssm. 120~140 cm, core HP 8. E) X-ray radiograph of facies Zp. 20~50 cm, core HP 10. F) X-ray radiograph of facies Mp. 210~240 cm, core HP 10. G) X-ray radiograph of facies Mm. 280~310 cm, core HP 10. H) Photograph of facies Mym. 70~95 cm, core HP 2.

색(yellowish orange, 10YR 6/6)을 띠는 사질역(sandy gravel) 또는 니사질역(muddy sandy gravel) 암상으로, 역(평균 50%의 함량)과 모래(평균 40%의 함량)의 조립질 입자 사이로 세립의 니질(평균 10%의 함량)입자가 채워져 있는 비조식의 특성을 보인다(Fig. 2A). 점이층리와 조직화된 퇴적 구조는 관찰되지 않으나 상대적으로 세립한(니질의 함량이 50% 이상) 역질니(gra-

velly mud) 퇴적층이 협재한다. 평균 입도는 0~1 ϕ 의 범위이며, 전체적인 입자 분포(grain size frequency)는 역질 계층(-1 ϕ)에서 최빈값을 보이는 단모드형 입도분포를 나타낸다(Fig. 3). 황색을 띠는 사질 계층의 입자들은 대부분 원마도가 나쁜 각진 형태이며, 85% 이상의 다결정질(polycrystalline) 석영과 장석 그리고 10% 미만의 압편을 함유한다. 이 퇴적상은 해안 절벽(sea cliff)이 발달하고 있는 후동리와 시목동 해안의 만조선 근역(high tide zone)의 상부 조간대에서 시추된 코아 시료(HP 1~3, A 1과 A 2, D 1~D 3)의 상부층에서 우세하며, 펀디만(Fundy Bay)의 일부 만조선 근역(high tide zone)의 상부 조간대 퇴적층과 유사하다(Klein, 1963 and 1970).

일반적으로 상부 조간대는 뜬짐 형태의 퇴적과정을 반영하는 세립질 퇴적상(silty mud 또는 mud facies)이 지배적임을 고려할 때, 비조식 사질역 퇴적상은 정상적인 날씨(fair-weather condition)하에서의 조석 작용에 의하여 지배되기 보다는 간헐적으로 발생하는 폭풍(storm surge) 또는 태풍(typhoon)에 의한 퇴적과정을 반영하는 것으로 해석된다. 이러한 고 에너지 발생에 의하여 지배되는 퇴적상에 관한 해석은 함평만의 만조선 해안에서 발견되는 폭풍 퇴적층(storm deposits)에 의해 증명된바 있다(Park, 1996). 특히 시추 코아 HP 3에서 관찰되는 하부의 니질 퇴적물이 뜬겨나간 침식면과 "rip-up clast"는 매우 강한 수력학적 고 에너지의 발생을 반영한다(Fig. 4A). 이러한 퇴적상이 폭풍 발생의 풍향(북북서 방향)과 마주보고있는 후동과 시목동 해안의 조간대에 국한되어 분포하고 있는 사실은 위에 설명된 해석을 뒷받침 해준다. 또한 이 퇴적상을 이루는 조립 퇴적물의 최빈값과 광물 조성이 만조선 해변(high-tide beach)의 퇴적물과 일치하며(김, 1996), 이곳의 상부 조간대(upper flat) 표층에 발달하고 있는 몇몇 사주가 만조선 해변과 연결되어 있는 사실은 이러한 퇴적상의 조립질 퇴적물의 이동과 운반이 태풍 날씨에 지배되는 높은 에너지의 퇴적과정을 의미한다.

괴상 역질이토 퇴적상(Facies GMm)

괴상 역질이토 퇴적상(massive gravelly mud facies)은 녹색회색(greenish gray 5G 6/1)의 역사질이토(gravelly sandy mud) 또는 사질역이토(sandy gravelly mud) 암상으로 퇴적구조는 관찰되지 않으며, 부분적으로 생물에 의한 교란 흔적이 관찰된다(Fig. 2B). 퇴적 구조와 광물 조성 등이 비조식 사질역 퇴적상(SGd)과 유사하나, 자갈과 모래의 함량은 각각 5~15%와 20~35% 이며 이토(mud)의 함량은 40% 이상이다. 퇴적물의 평균 입도는 1~3 ϕ 이며, 전체적인 입도 분포는 역질 계층과 니질 계층에서 최빈값을 나타내는 복모드형 입도분포 특성을 나타낸다(Fig. 3). 함수율은 30~60%의 범위(평균 35%)이다. 이 퇴적상은 후동리와 시목동 해안의 중부 및 하부 조간대(HP 3과 4, A 3~A 5, D 4~D 7) 그리고 석창리 해안의 상부 조간대에서 시추된 코아 시료(C 1과 C 2)의 상부 퇴적층(두께 1~1.5 m)을 이룬다.

퇴적물의 특성을 고려할때, 이 퇴적상은 퇴적상 SGd와 유사한 퇴적 과정에 의해 형성된 것으로 사료되며, 간헐적으로 발생하는 고 에너지 환경(폭풍 또는 태풍)에 의한 해변으로부터의 조립질 퇴적물의 공급이 퇴적상 형성에 중요한 요인으로 작용한 것으로 해석된다. 야외 조사에 의하면 함평만의 해안 절벽은

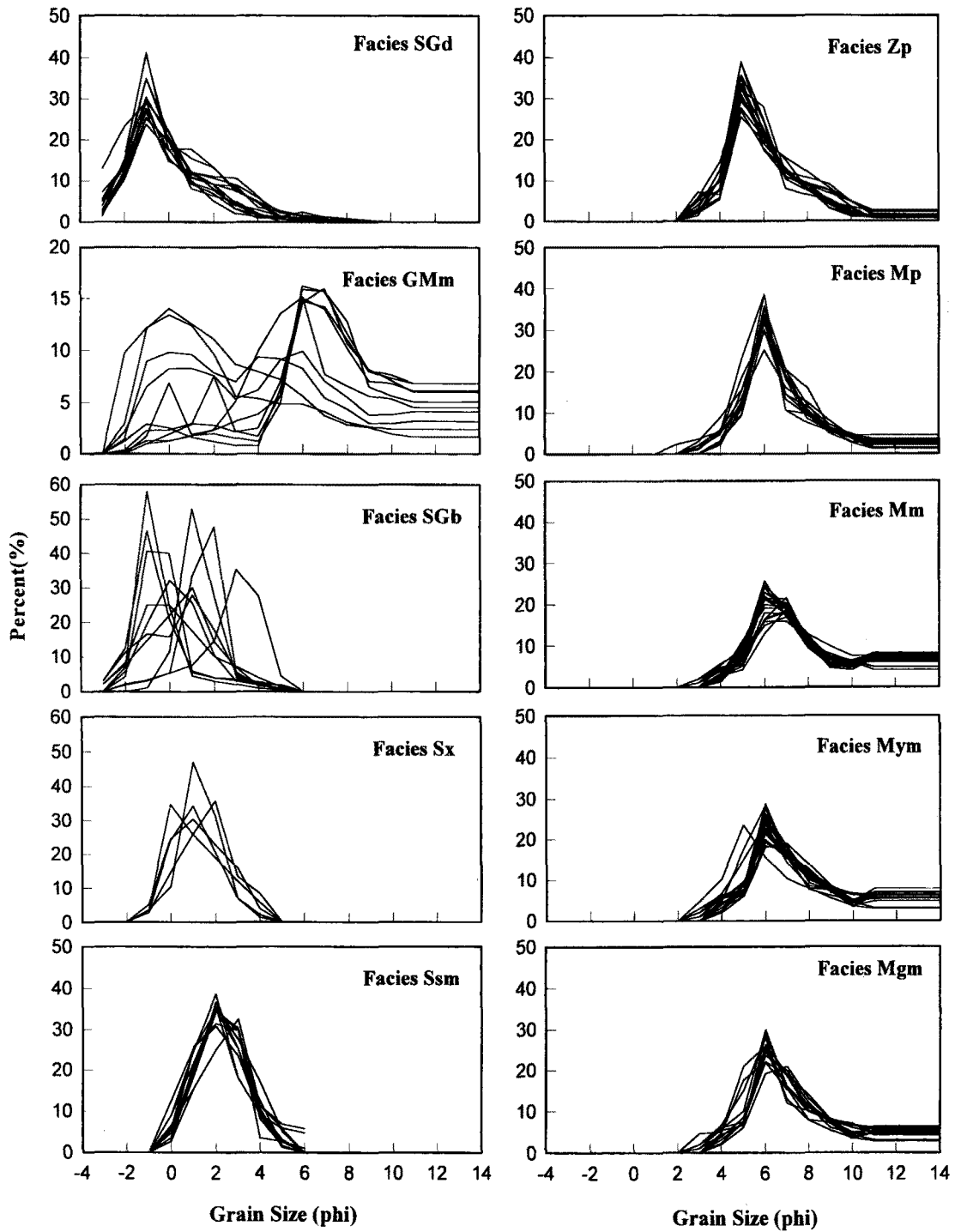


Fig. 3. Grain size frequency curves of each facies analyzed from vibracore sediments.

겨울철 폭풍에 의하여 침식되어 계속 육지 방향으로 후퇴 하고 있으며, 이러한 침식 과정이 만조선 근역(high tide zone)의 사질 역 또는 역질사 퇴적물의 해빈을 형성 시키는 것으로 해석된다. 이러한 해빈 퇴적물은 고 에너지에 의해 간조선 방향으로 이동 퇴적되며, 후동리와 시목동 해안의 조건대 표층에서 관찰되는 다양한 크기의 사주들을 발달 시키는 것으로 사료된다. 특히 퇴적상 SGd 보다 역의 함량이 낮으며, 북모드형 입도 분포 특성은 고 에너지(storm surge)가 감소했음을 의미한다. 그 결과 해빈으

로부터 공급되는 조립질 퇴적물의 양이 상부 조건대에서 멀어 질수록 상대적으로 감소한 반면 니토의 함량은 증가한 것으로 해석된다. 이러한 퇴적 과정은 김(1996)에 의해 보고된 바와 같이 만조선에서 간조선 영역으로 갈수록 자갈과 모래의 함량이 점이적으로 감소하는 세립화 양상과 유관한 것으로 해석된다.

층리 사질역 퇴적상(Facies SGb)

층리 사질역 퇴적상(bedded sand/sandy gravel facies)은 전체

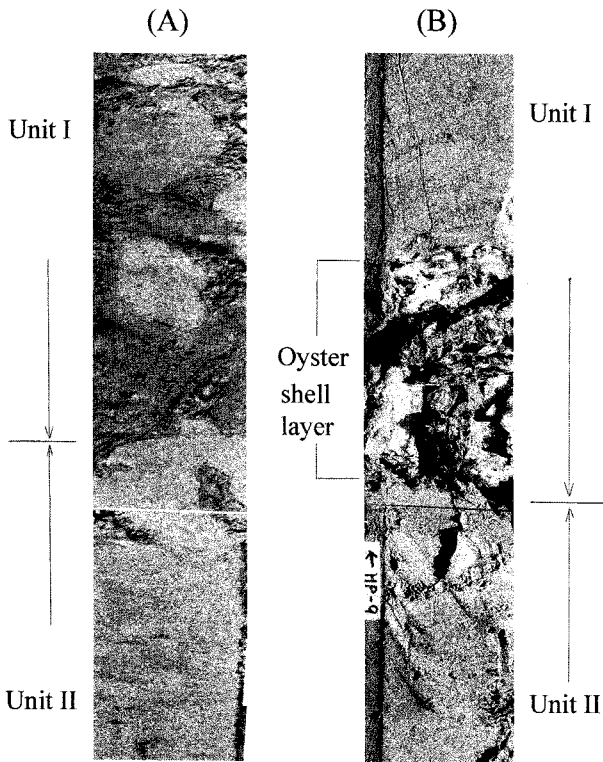


Fig. 4. Photograph showing the boundary between Unit I (dark greenish gray color) and Unit II (semi-consolidated yellowish brown color). The boundary is sharp and erosional. A) Photograph showing the rip-up clasts in HP 3 (25~50 cm). B) Photograph showing the shell layer between Unit I and Unit II in vibracore HP 9 (70~100 cm). The ¹⁴C age of the oyster shells is 4,100 (70 yr B.P.).

적으로 옅은 오렌지색(very pale orange, 10YR 8/2)의 모래(sand)와 사질역(sandy gravel)의 퇴적층이 3~10 cm의 두께로 교호하며, 부분적으로 층내에서 점이층리 조직을 나타낸다(Fig. 2C). 퇴적상 SGd와 유사한 극 조립질 퇴적물로 구성되어 있으나 조립사와 역질 퇴적층이 교호하는 구조가 비교적 뚜렷하게 나타나며, 주기적인 변화는 보이지 않는다. 부분적으로 -1~0φ의 역질층에서 3~4φ의 세립한 사질층으로 전이되는 급격한 입도의 변화가 관찰된다. 사질 계층의 퇴적물은 평균 80%의 석영과 12%의 장석 그리고 8%의 암편으로 구성된다. 함수율은 평균 25% 미만이며, 패각은 전혀 산출되지 않는다. 이 퇴적상은 후동해역에서 시추된 코아 시료 HP 1~4의 하부에서만 관찰되며, 그 두께는 약 30~60 cm이다.

이러한 특징의 암상들은 대부분 하천 퇴적층에서 연구 보고되고 있으며, 이 역질의 교호 층리들은 유량의 증가에 따른 큰 유속의 변화에 의해 하상의 사주들의 이동에 의해 형성된 것으로 해석된다(Allen, 1983; Nemece and Postma, 1993). 또한 부분적으로 관찰되는 점이층리와 역질에서 세립질로의 급작스런 입도 변화는 유속의 급격한 감소에 의해 퇴적된 것임을 지시한다(DeCelles et al., 1991).

사층리 모래 퇴적상(Facies Sx)

사층리 사 퇴적상(cross-bedded sand faices)은 옅은 회색(med-

ium light gray, N6)의 조립질사(1φ)와 중립질사(2φ)가 약 2 cm의 두께를 가지며 반복하여 교호한다. 이 퇴적상은 약 20~25 cm의 두께를 가지며 SGb 퇴적상과 함께 나타난다. 이 층내에서는 역(gravel)과 패각(shell)이 존재하지 않으며, 사질 입자는 대부분 아각(sub-angular)의 원마도를 나타내며, 부분적으로 철로 피복된 석영과 장석(iron-stained quartz and feldspar)으로 구성되어 있다. 단위 층리들은 준 평행한 약 5~10° 정도의 기울기를 보인다. 이 퇴적상은 시추 코아 HP 1~4의 하부에서만 관찰된다.

이 퇴적상은 연흔구조(ripple) 또는 sand wave와 같은 표면 퇴적구조(bedform)의 이동에 의해 형성된 것으로 사료된다(Crowley, 1983; Dreyer, 1993). 따라서 퇴적상 Sx는 유속이 급격히 증가하는 홍수기 때에 퇴적되는 SGb와 함께 형성된 하도 퇴적층의 일부분으로 해석된다.

패각편을 함유한 괴상 모래 퇴적상(Facies Ssm)

괴상 모래 퇴적상(shelly massive sand facies)은 옅은 오렌지색(pale yellowish orange, 10YR 6/6)의 중립사(medium sand)와 조립사(coarse sand)가 70% 이상이며, 중립사 크기의 패각편(shell fragments)을 함유하기도 한다. 평균 입도는 1~2φ 범위이며, 퇴적 구조는 전체적으로 괴상의 특징을 나타내나 약 1 mm 두께의 이토 엽리의 협재가 관찰되기도 한다(Fig. 2D). 함수율은 14~25%의 범위(평균 20%)이며, 사질 입자 계층은 80%의 석영, 15%의 장석 그리고 5% 미만의 암편으로 구성된다. 이 퇴적상은 이토의 퇴적상(Mp) 내에 약 10~20 cm 두께로 관찰된다.

퇴적상 Ssm은 하부에 침식 경계면을 보이나, 폭풍 퇴적층에서 일반적으로 나타나는 수직적인 점이층리의 조직이나 basal lag → laminated sand → wave ripple-laminated sand → bioturbated sediments로 구성된 암상 배열을 보이지 않는다(Kumar and Sanders, 1976). 서해의 곰소만 조간대의 경우, 폭풍 퇴적층(storm deposits)은 수직적인 점이층리의 조직을 보이며, 그 상위에는 평행 엽층리나 사층리 구조를 가진 세립사 또는 실트질사 퇴적상으로 전이되는 특성을 나타낸다(장, 1995; Kim, 1997). 따라서 이러한 특징적인 퇴적상 전이의 부재와 김(1996)에 의해 제시된 현재의 함평만 조류로가 사질 퇴적물로 구성 되어있음을 고려할 때, 퇴적상 Ssm은 폭풍 퇴적층(storm deposits)을 의미하는 것보다는 작은 규모의 조수로(channel 또는 gully)에서 집적된 수로 퇴적층(channel lag deposits)으로 해석된다.

평행 엽층리 실트 퇴적상(Facies Zp)

평행 엽층리 실트 퇴적상(parallel laminated silt facies)은 암록회색(dark greenish gray, 5GY 4/1)의 실트(silt) 또는 사질실트(sandy silt) 암상으로 생물교란 흔적(i.e., skolithos, cylindrichnus and teichichnus, etc.)을 보인다(Fig. 2E). 평균 5~7φ의 입도를 가지며, 5~6φ의 범위에서 최빈값을 가진다(Fig. 3). 퇴적층은 일차적 구조인 평행 엽층리가 관찰되나 대부분 저서 생물(polychaetes and crabs, etc.)에 의해 굴곡 되었거나 교란되어 나타난다. 함수율은 60~80% 범위(평균 68%)이며, 전단응력은 1×10¹ kg/cm² 이하의 값을 나타낸다. 이 퇴적상의 퇴적층은 대부분 세립질의 퇴적상이 분포하는 유월리와 석창리 해역의 조간대에서 시추된 코아 시료의 상부에서 약 30~80 cm 두께를 가지고 협재한다.

이 퇴적상(Facies Zp)은 뜬짐의 퇴적작용으로 퇴적된 실트 퇴적물이 퇴적된 후 광범위한 저서 생물들에 의해 교란된 것으로 사료된다. 이러한 생물 교란된 퇴적층은 생물 활동이 활발한 이토 조건대에서 발달 분포하며, 좋은 날씨의 정상적인 퇴적(fair-weather deposition) 작용을 의미하는 것으로 해석된다.

평행 엽층리 이토 퇴적상(Facies Mp)

평행 엽층리 이토 퇴적상(parallel laminated mud facies)은 평균 60%의 실트 입자와 평균 40%의 점토 입자로 이루어진 녹회색(greenish gray, 5G 6/1)의 이토(muddy sediment) 세립 퇴적물이다. 이는 생물교란 작용에 의해 부분적으로 파괴된 잔류 평행 엽층리 구조(remnant parallel laminae structure)를 가진다(Fig. 2F). 퇴적물의 평균 입도는 약 6~8.5 ϕ 의 범위이며, 실트 입자 범위에서 최빈값을 나타낸다(Fig. 3). 퇴적 구조는 실트질과 점토질 입자의 연속적인 교호에 의한 엽층리 구조가 풍부하며, 각각의 엽리들은 2 mm 이하로 얇으며, 수평적으로 평행하지만 때때로 생물교란에 의해 굴곡 되어있거나, 불연속적이다. 이 퇴적상 내에서는 직경 2~3 cm의 중립사로 채워진 구멍(infilled burrow structure)이 관찰 되기도 한다. 함수율은 평균 55%이며, 전단응력(shear strength)의 값은 0.5~2.5 $\times 10^1$ kg/cm²의 범위이다. 이 퇴적상은 함평만의 유월리와 석창리 조건대(HP 6~HP 12 그리고 C 3~C 6) 그리고 서목동(A 6~A 9) 조건대에서 시추된 코아에서 약 50~100 cm의 두께로 나타난다.

이 퇴적상(Facies Mp)은 일차적 퇴적 구조가 파괴된 잔류 엽층리 구조를 나타내며, 그 두께가 최대 100 cm에 이르는 두꺼운 퇴적층을 보이는 바, 이는 조수 퇴적작용의 오랜 기간 동안의 반복되는 퇴적과정을 반영한다. 이러한 퇴적상은 만조(high tide)때에 수반되는 정조 수층(slack water column) 또는 조류의 유속이 낮은 조건에서 뜬짐의 세립 퇴적물(이토)의 퇴적작용에 의하여 형성된다(Reineck and Singh, 1980). 즉, 이 퇴적상(Facies Mp)에서의 엽층리 구조는 조류 유속이 매우 낮은 조건 하에서 부유 퇴적물이 뜬짐 이동에서 실트가 퇴적되고, 정조시(slack time)와 그 전후의 기간 동안 점토 입자들이 퇴적되어 엽층리를 형성하는 것으로 해석된다(Klein, 1977; Park et al., 1996). 결과적으로 퇴적상 Mp는 함평만의 조수 환경하에서 정조시(slack time)와 그 전후 동안의 세립 입자의 침전에 의한 엽층리 구조를 의미한다고 해석된다.

괴상 이토 퇴적상(Facies Mm)

괴상 이토 퇴적상(massive mud facies)은 광범위한 생물교란(extensive bioturbation)에 의해 퇴적구조가 완전히 파괴되었거나, 일차적 퇴적구조가 분명하지 않은 옅은 회색(light gray)의 점토함량(평균 60%)이 우세한 니질 암상이다(Fig. 2G). 함수율은 평균 35%이며, 전단응력의 값은 2.5~3.5 $\times 10^1$ kg/cm²의 범위로서 퇴적상 Mp 보다 상대적으로 더 고화된 상태를 지시한다. 부분적으로 식물 파편이 관찰되며, 산화의 흔적으로 사료되는 옅은 노란색으로 착색된 부분이 관찰되기도 한다. 퇴적 구조는 대부분 괴상이나, 부분적으로 잔류 엽층리와 세립사(very fine sand)로 채워진 1~2 cm 크기의 렌즈 모양의 구조가 관찰된다. 이 퇴적상은 시추 시료 HP 9와 10 또는 C 3~C 6의 최하부

약 50~100 cm에서 우세하다.

이러한 특징의 니질 퇴적상은 서해의 인천 조건대, 남양만, 곰소만 및 천수만등 여러 조건대 지역에서 시추된 시료와 표층 퇴적상에서 상부 조건대 퇴적상으로 기재 서술되었다(Frey et al., 1989; 김, 1988; 박외, 1995; 장, 1995). 상부 조건대(upper tidal flat)는 뜬짐 퇴적과정(suspension depositional processes)이 우세하고, 또한 광범위한 생물교란(extensive bioturbation)의 영향이 지배적이다. 더구나 간조 동안의 대기중 노출에 의한 특징(exposure features: 퇴적물의 부분적 산화, 건열구조, 식물 파편 등)들이 일반적으로 흔하게 관찰된다(Klein, 1977). 본 연구에서 관찰된 괴상 구조와 함께 식물 파편의 산재, 부분적인 산화 흔적 그리고 높은 전단응력 값과 낮은 함수율 등은 이 퇴적상(Facies Mm)이 조석 주기(tidal cycle) 중에서 상대적으로 오랜 시간 동안 공기중에 노출되는 만조선 근역(high tide zone)의 낮은 에너지 조건하에서 퇴적된 상부 조건대(upper tidal flat or supratidal flat) 퇴적층임을 지시한다.

준 고화된 황색 이토 퇴적상(Facies Mym)

준 고화된 괴상의 이토 퇴적상(semi-consolidated yellowish massive mud facies)은 황색(yellow, 10YR 6/3)을 띠는 사질이 토 또는 이토의 특징적 암상이다(Fig. 2H and 4A). 모래의 함량은 평균 10% 이하이며, 실트와 점토의 함량은 각각 50%와 40%이다. 평균입도는 6.5~8 ϕ 이며, 최빈값은 6~7 ϕ 의 실트 영역에 해당된다(Fig. 3). 퇴적 구조는 대부분 괴상 구조(massive structure)가 우세하나, 몇몇 시추 시료에서 잔류 엽층리와 세립사 입자로 채워진 두께 3 mm 이하의 렌즈 형태의 구조가 관찰된다. 20% 이하의 낮은 함수율과 9 $\times 10^1$ kg/cm² 이상의 높은 전단응력 값을 가지며, 탄화된 갈색의 식물 줄기나 파편 등을 함유하기도 한다(Fig. 2H). 특징적으로 이 퇴적상에는 일차적 퇴적 구조가 아닌 이차적 구조로 해석되는 검은 줄무늬 모양의 파형적 엽리구조(wavy lamellar structure)가 규칙적으로 발달하며, 검정 색을 띠는 각각의 줄무늬 엽리들은 1 mm 이하의 두께를 가진다(Fig. 5). 각 엽리들의 간격은 3~10 mm이며, 김(1988)과 오등(1996)에 의하면, 검은 줄무늬 선은 탄화된 식물의 물질이 미세한 틈을 따라 흘러 들어가서 형성된 것으로 해석된다. 구조류와 같은 미고화석(paleo-microfossil)은 산출되지 않으나 다양한 모양의 고화된 게 구멍 흔적 화석(crab trace fossil)이 산출된다(Fig. 6). 이 퇴적상은 중부와 하부 조건대 지역에서 시추된 대부분의 코아의 하부에서 약 50~150 cm 두께로 발견되며, 일부의 조류로(tidal channel)에서는 부분적으로 바닥에 노출되어 있다.

황색 또는 황갈색과 준 고화 상태의 조직은 이러한 퇴적상의 퇴적층이 공기 중에 노출되어 산화되었음을 지시하는 풍화 및 산화작용의 의미가 뚜렷한 증거이며, 특히 파형의 동토구조(cryoturbate structure, 김과 박, 1988; 오 외, 1995)는 매우 차가운 기후에서 생성되는 구조로써 지난 최대 빙하기(LGM) 동안 공기 중에 노출 되었음을 지시한다. 이러한 황갈색의 이토 퇴적상(Facies Mym)은 함평만 조건대의 전역에 수평적 연속성을 가지고 분포하며, 더구나 퇴적상 Mym과 유사한 퇴적층이 서해의 대부분의 조건대 지역(천수만 조건대, 근흥만 조건대, 영종도 조



Fig. 5. Characteristic cryoturbate structure observed in the Facies Mym (upper part of Unit II). Scale bar is 1 cm.



Fig. 6. Crab burrow structure occurred in the Facies Mym.

간대, 남양만 조간대, 해남만 조간대)에 분포한다(김과 박, 1988; Park, et al., 1991; Choi and Park, 1996; Park and Lim, 1996). 김 (1988)과 박 등(1995)은 천수만에서 이러한 특징의 퇴적상을 상부 조간대 퇴적층(간월도층)으로 해석 기재 하였다.

점착성 회색 이토 퇴적상(Facies Mgm)

점착성 회색 이토 퇴적상(sticky grayish massive mud)은 옅은 회색 또는 옅은 녹색회색(greenish gray, 5G 6/1)을 띠는 이토의 암상으로 잔류 엽층리 구조를 가진다. 모래의 함량은 5% 미만인

며, 실트와 점토의 평균 함량은 각각 50% 와 45% 이다. 평균 입도는 7.0~8.5 이며, 실트 영역에서 최빈값을 나타낸다. 함수율은 30~50%의 범위이며, 전단응력은 $1.5\sim3.0\times 10^{-1} \text{ kg/cm}^2$ 범위의 값을 갖는다. 부분적으로 식물 파편을 함유하며, 황색의 이토 퇴적상 Mym 보다 상대적으로 덜 고화된 특성을 보인다. 퇴적 구조는 전반적으로 괴상을 나타내나 잔류 평행 엽층리 구조가 부분적으로 관찰된다. 파형의 엽리 구조(동토구조)는 관찰되지 않으며 고화된 계구멍 화석을 함유한다. 이 퇴적상은 준 고화된 황색의 이토 퇴적상(Facies Mym)의 하위에서 나타나며, 코아 시료 HP 2와 HP 9에서 약 50~80 cm의 두께로 관찰된다.

이 퇴적상은 준 고화된 황색의 이토 퇴적상 Mym의 하위에 놓이며, 그 경계는 점이적이다. 퇴적물 조직과 잔류 엽층리 구조 등의 퇴적학적 특성은 퇴적상 Mym과 매우 유사하나, 회색의 퇴적물 색상과 높은 함수율 그리고 낮은 전단응력의 값에 의하여 구분된다. 이러한 사실은 퇴적상 Mgm이 상위의 퇴적상 Mym과 달리 공기중에 노출되지 않았음을 지시한다.

함평만 조간대 퇴적층의 층서

함평만 조간대 퇴적층의 퇴적체는 위에서 서술된 10개의 퇴적상을 종합한 상조합에 근거하여 비조식 사질역 퇴적상, 괴상 역질이토 퇴적상, 패각편을 함유한 괴상 모래 퇴적상, 평행 엽층리 실트 퇴적상, 평행 엽층리 이토 퇴적상 및 괴상 이토 퇴적상으로 구성된 Unit I, 준 고화된 황색 이토 퇴적상과 점착성 회색 이토 퇴적상으로 구성된 Unit II, 그리고 층리 사질역 퇴적상과 사층리 모래 퇴적상으로 구성된 Unit III 등 3개의 퇴적층서(sedimentary sequence) 단위로 분류된다. 각각의 분류된 퇴적단위의 수직적 층서를 그림 7에 도시하였다. 이러한 퇴적층서의 분류와 상조합은 광역적으로 존재하여 대비가 가능한 준 고화된 황색의 이토 퇴적상과 그리고 이 퇴적상의 상부 침식 경계면을 기준으로 하여 각각의 시추 시료들에서 분석된 10개의 퇴적상을 대비시킴으로써 이루어졌다. 층서적으로 최상위의 퇴적층부터 설명하면 다음과 같다.

Unit I: 함평만 조간대의 최상위의 퇴적층인 Unit I은 상부 조간대의 만조선 근역(high tide zone)의 경우 함평만의 기저분지(basement basin)를 이루는 중생대 화강암질의 풍화층(weathered rock)을 부정합적으로 피복하며, 중부와 하부 조간대 방향으로는 Unit II를 부정합적으로 피복한다(Fig. 7). Unit I에는 Facies SGd, Facies GMm, Facies Ssm, Facies Zp, Facies Mp 및 Facies Mm 등의 다양한 퇴적상이 포함되며(Fig. 8 and 9), 이러한 퇴적상 특성과 분포 양상은 지형과 수력학적 조건에 따라 지역적으로 상이하게 나타난다. Facies SGd와 Facies GMm과 같은 극 조립질 퇴적상들은 후동리와 시목동 해역 조간대에 분포하며, 수직적으로 뚜렷한 상 전이를 보이지 않는 균질한 1~2 m의 두께를 가진다(Fig. 8). 한편 대부분의 함평만 조간대를 지배하는 Unit I은 평균 입도 5~9 ϕ 의 실트와 점토로 혼합된 세립한 암회색의 생물교란된 실트 퇴적물(Facies Zp), 엽층리 구조의 니질 퇴적물(Facies Mp), 괴상 구조의 이토 퇴적물(Facies Mm) 그리고 패각을 함유하는 괴상구조 사질 퇴적물(Facies Ssm) 등의 퇴적상 조합으로 구성된다. 전체적으로 Unit I은 상부 조간대(평균 두께 1.5 m)에서 하부 조간대(평균 두께 3 m 이상)로 갈수록 퇴적층의 두께가 증가하는

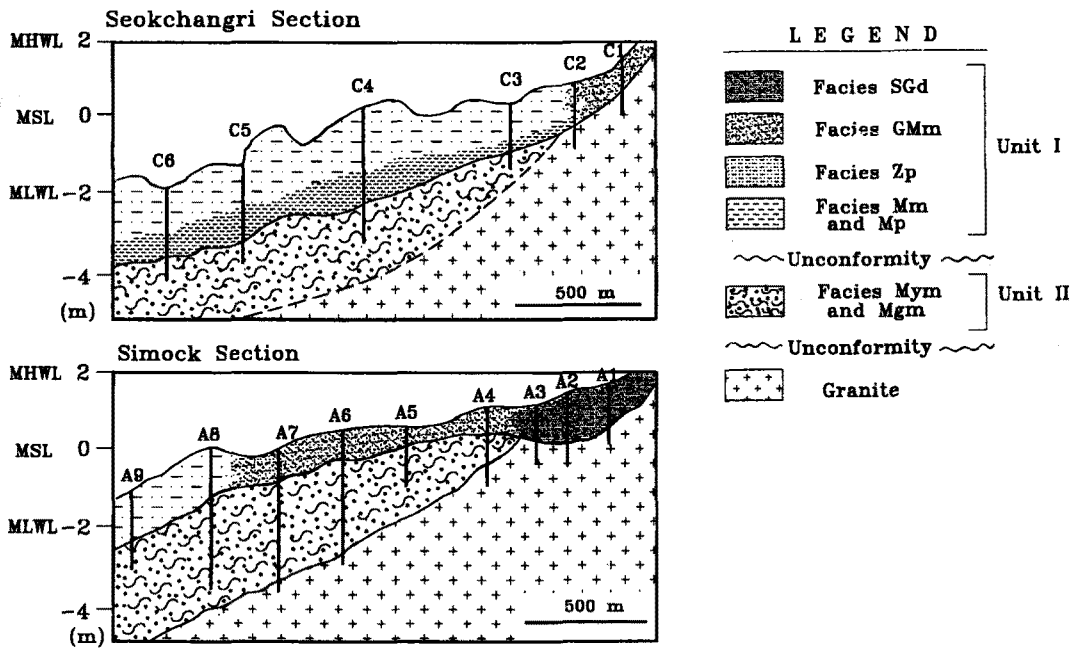


Fig. 7. Cross-section showing lateral and vertical distribution of major facies and depositional units along different vibracore transects in the study area.

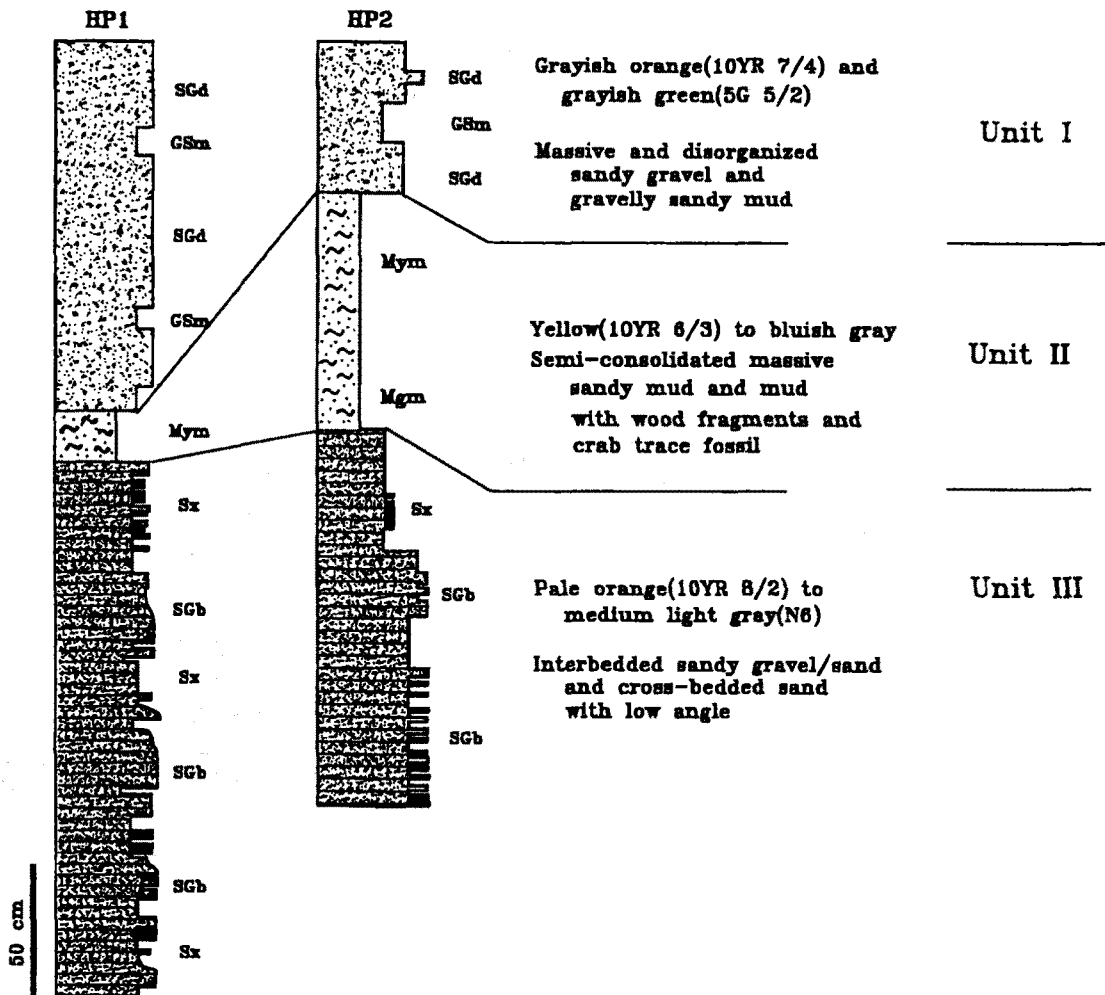


Fig. 8. Stratigraphic columnar section of the vibracore HP 1 and 2.

쐐기형 분포를 보이며, 식물 파편을 함유한 괴상 이토 퇴적상(Facies Mm)으로 구성된 하부층과 엽층리 이토 퇴적상(Facies Mp) 또는 실트 퇴적상(Facies Zp)으로 구성된 상부층으로 구분되는 수직적 상호함을 나타낸다(Fig. 7 and 9). 상부층은 실트질 우세의 비교적 평행 엽층리 구조가 잘 발달하며, 하부층은 상부층과 다르게 니토 우세의 퇴적구조가 빈약한 괴상의 퇴적층으로 부분적으로 미세한 식물 파편이 산재한다. 이러한 상향 조립화(coarsening upward)의 퇴적상의 변화는 해수면 상승에 따른 퇴적 과정을 반영한다(박 외, 1995; 장, 1995). 특히 Unit I과 Unit II의 경계면에 존재하는 굴 패각층의 연령(약 4,100 yr B.P.)은 Unit I 이 지난 4,000년 동안에 해수면 상승에 의해 형성된 현세 후기(late Holocene)의 조간대 퇴적층임을 의미한다(Fig. 4B and 9).

Unit II: Unit I에 의하여 부정합적으로 피복되는 Unit II는 6~9φ의 세립한 준 고화된 황색의 이토 또는 사질이토(sandy mud) 퇴적상(Facies Mym)과 회색 우세의 이토 퇴적상(Facies Mgm)으로 구성되며 매우 광범위하게 분포하고 있다. Unit I과 Unit II의 경계는 뚜렷한 침식 경계면을 나타내며(Fig. 4A), 만조선 방향에서 약 50 cm 내외의 두께를 보이나 간조선 방향으로 갈수록

점차 두께가 증가하는 쐐기형(wedge type) 분포를 보인다(Fig. 7). Unit II는 하부의 회색 이토 퇴적상 Mgm 에서 상부의 준 고화된 황색 이토 퇴적상 Mym으로 점이적으로 전이되는 수직적 상 변화를 보인다. 즉, Unit II는 동토구조를 갖는 황색 우세의 고화 및 산화 증거가 뚜렷한 상부 퇴적층과 상대적으로 낮은 고화 상태 그리고 산화되지 않은 회색 우세의 하부 퇴적층으로 구성된다. 이러한 Unit II의 수직적인 퇴적상 변화는 대기중의 노출시 산화되는 깊이의 정도에 의한 퇴적물의 색과 지반 공학적 요소 등의 차이에 의한 것이며, 본 연구에서 시추된 두께는 최대 약 3 m이다. 퇴적학 및 지질 공학적 특성 그리고 층서적 관계 등을 고려할 때 이 퇴적층은 현세 조간대층 하부에 놓이는 간월도층과 대비되며, 영종도 조간대의 경우 전체적인 퇴적층의 두께는 평균 7 m를 나타낸다(Choi and Park, 1996).

Unit III: Unit III는 Unit II 퇴적층에 의하여 부정합적으로 피복되며, 코아 시료의 최하부를 이룬다(Fig. 8). Unit III를 이루는 퇴적물의 평균입도는 -1~4φ이며, 사질역 퇴적상(Facies SGb)과 사질 퇴적상(Facies Sx)으로 구성된다. 조립의 퇴적물은 대부분 아각상의 원마도(subangular)를 가진 석영과 장석 입자이며, 산

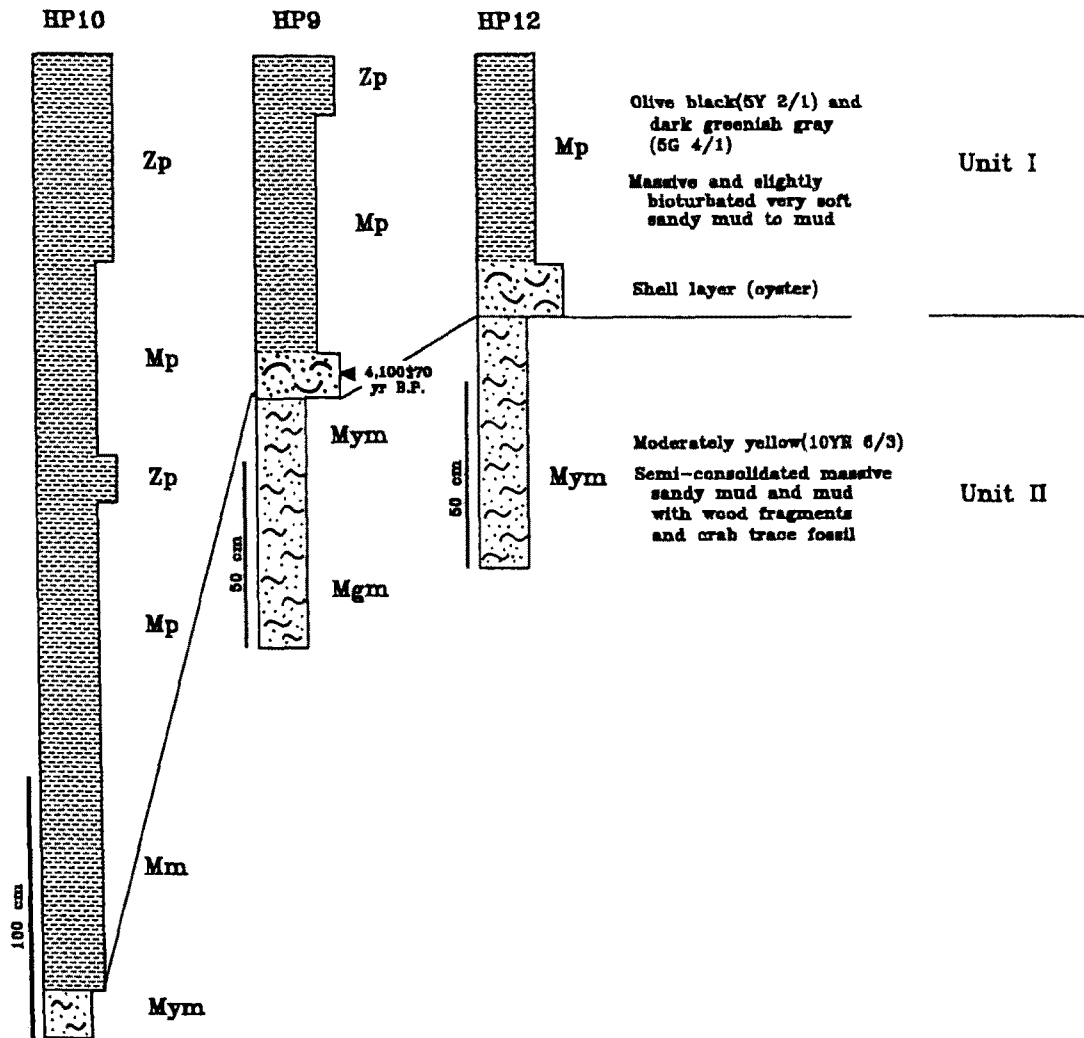


Fig. 9. Stratigraphic columnar section of the vibracore HP 9, HP 10 and HP 12.

화철에 의하여 코팅된 석영(iron stained-quartz) 입자를 함유한다. 국부적인 분포 양상과 전체적인 퇴적상의 특징은 이 퇴적층이 해성 기원이 아닌 육상의 소규모 하천 퇴적물(fluvial sediments)임을 암시한다. 그러나 이 퇴적층에 대한 더 많은 시추 자료와 자세한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

토 의

함평만 조간대 퇴적층의 층서를 밝힌 이 논문의 주요 내용을 토의 대상으로 하여 다음과 같이 기술한다. 진동 시추의 실제적인 자료 분석 결과, 함평만 조간대 퇴적층의 최하위의 퇴적층은 국부적으로 분포하는 Unit III이며, 이는 기반암과 기저 부정합적(basal unconformity) 관계를 갖는다. 이 Unit III는 지난 후기 플라이스토세의 낮은 해수면 시기 동안 함평만의 주변에 발달한 소규모의 하천 환경에서 퇴적된 육성 퇴적층으로 해석된다. 왜냐하면 이미 기술된 바와 같이 육성 기원적 퇴적상의 특징과 층서적 위치 즉, 해수면 상승에 따른 Unit II에 의하여 부정합적으로 피복되기 때문이다.

한편으로 Unit II에 대비되는 퇴적층은 서해안의 여러 조간대에서 광역적으로 분포하는 것으로 밝혀지고 있다(김과 박, 1988; 김과 박, 1992; 박 외, 1995; Park and Lim, 1996; Choi and Park, 1996). 이러한 광역적 분포를 나타내는 Unit II는 현재 조간대 환경과 같은 해성층(marine deposits)으로 해석될 수 있음을 의미하는데 그 이유는 청어뼈형 사층리(herringbone cross-stratification)와 tidal "rhythmite" 등의 다양한 조수 기원 퇴적구조, 세립한 입자 조직 및 게 구멍 화석 등이 Unit II에서 발견 되기 때문이다(김과 박, 1988; Choi and Park, 1996; 최, personal communication, 1997). Unit II는 Unit I의 형성 이전에

오랜 동안 한랭한 기후 조건에서 공기중에 노출되었고 그에 따른 풍화작용과 속성변화(diagenesis)의 증거가 Fig. 5, Fig. 6에 의하여 뒷받침 된다고 보는 것이다. 더욱이 점토광물의 함량에 대한 연구는 이 퇴적층의 노출에 대한 또 다른 증거를 제시한다. 특히 본 연구에서 스멕타이트의 함량변화는 뚜렷하여 상위의 Unit I에서는 8~12%의 범위로 높으나, Unit II에서는 감소하여 0~4%의 범위로 낮게 분석되었다(Fig. 10). Altschuler *et al.*(1963)과 Segal *et al.*(1987) 등은 스멕타이트 점토광물이 풍화에 의하여 속성작용을 받으면 그 함량에 있어 크게 감소되는 현상을 보고 하였다. 따라서 Unit II에서의 스멕타이트의 뚜렷한 감소는 퇴적 후 오랜 기간 동안 대기중의 노출을 지시하는 것으로 사료된다. 한편 오 등(1995)은 Unit II에 대비되는 상부 부분에서 동토구조를 발견 기재 하였는데 이 구조는 매우 한랭한 기후 조건의 겨울철 동안에 이토 함유의 세립질 퇴적물이 갖는 특징적인 구조로서 기재 하였다. 또한 게 구멍 생존 화석은 Kim, *et al.*(1995)과 Koh(personal communication, 1996)에 의해 상부 조간대(upper tidal flat)에 서식하는 게(crab)에 의한 흔적 화석으로 해석 되어진 바 있다.

Unit I은 Unit II를 피복하는 최상위의 퇴적층이며, 현재의 서해 여러 조간대 환경에서 형성되는 현재 후기 조간대층과 대비된다. Unit I은 상향 조립화의 퇴적상을 나타내는 바, 이러한 상향 조립화의 퇴적상은 본 연구 지역 뿐만 아니라 서해의 남양만, 천수만 및 곰소만 조간대등 여러 지역에서 보고된 바 있다(김, 1988; 박 외, 1995; 장 외, 1996).

결 론

함평만 조간대 퇴적층의 제4기 후기 층서는 기반암(중생대

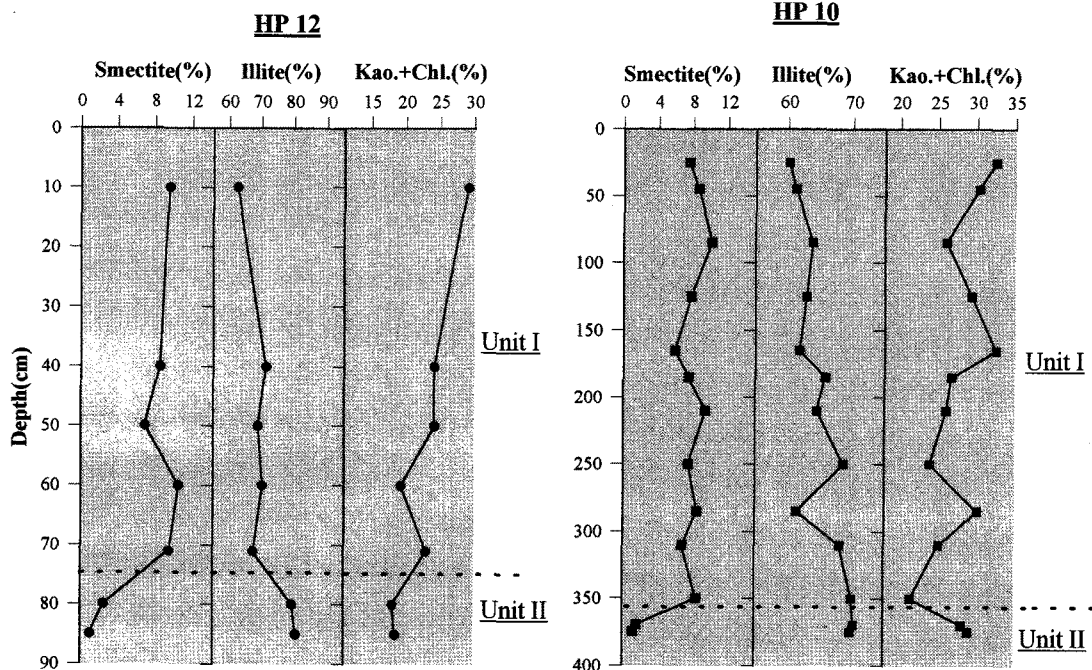


Fig. 10. Vertical variations of smectite, illite and kaolinite plus chlorite in the HP 10 and HP 12. It is noteworthy that the smectite content between Unit I and Unit II is certainly different.

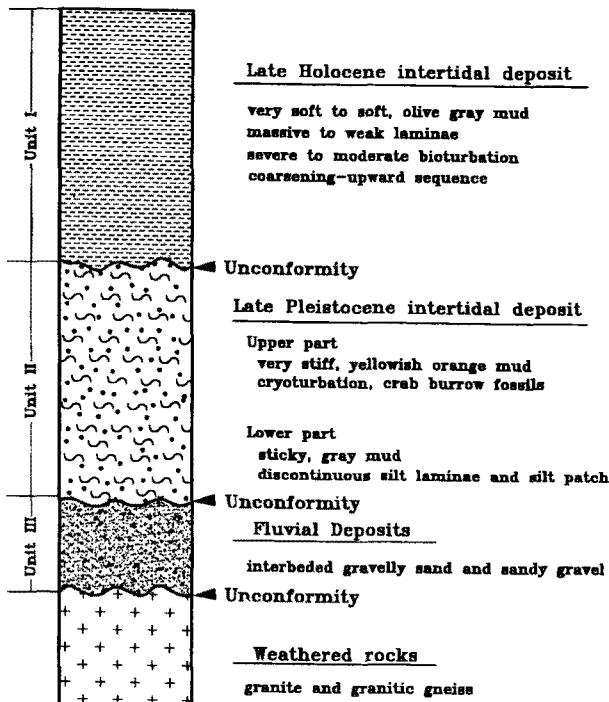


Fig. 11. Schematic diagram representing major sedimentary sequences overlying the Mesozoic granitic bedrocks in the study area.

화강암) 상위의 기저 부정합(basal unconformity)에서부터 순차적으로 집적되는 Unit III, Unit II 및 Unit I으로 구성된다(Fig. 11). 층서적으로 최상위의 Unit I은 상향 조립화 특성을 나타내는 후기 현세 조간대 퇴적층이며, Unit II의 퇴적층을 부정합적으로 피복한다. Unit II는 전체적으로 준고화된 황갈색의 상부 퇴적층과 점착성을 띠며, 산화되지 않은 회색의 하부 퇴적층으로 구분된다. 상부 퇴적층은 침식 받은 부정합면을 이루고 특징적으로 황갈색의 퇴적물 색상과 계 구멍 화석 그리고 동토구조를 나타내며, 스멕타이트의 함량이 매우 적거나 거의 없는 것으로 밝혀졌다. 그러나 Unit II의 하부 퇴적층은 전형적인 조수기원 퇴적구조(tidal rhythmic bedding)을 나타내는 바, Unit II는 전체적으로 Unit II는 후기 플라이스토세(late Pleistocene)의 조간대 퇴적층으로 해석된다. 역사질의 조립 퇴적물로 구성된 Unit III는 Unit II에 의하여 부정합적으로 피복되며, 후기 플라이스토세의 육성 기원의 하천 퇴적층으로 해석된다.

사 사

본 연구 수행을 위하여 함평만 조간대 해역의 어려운 야외 조사와 시추 작업에 큰 도움을 준 서울대학교 해양학과 천해 퇴적 환경 연구실의 여러 대학원생들 특히, 최경식 석사에게 감사하며, 이 논문의 내용 검토에 많은 시간을 소비한 김부근 박사에게 감사합니다. 본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구비(95-0703-02-01-3) 지원으로 수행되었으며 연구지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

국립지리원, 1983. 연안해역 기본 조사 보고서: 법성포 지구.
 김여상, 1988. 한국 서해 천수만 사장포해안의 조간대층의 퇴적 환경과 진화. 박사학위논문, 서울대학교, 169pp.
 김진호, 1996. 한국 서해 함평만 현세 조수 퇴적층과 선현세 퇴적층의 층서적 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 143pp.
 김여상, 박용안, 1988. 한국 서해 천수만 북동부에 발달한 제 4기 현세 조간대층 하위의 퇴적층의 간월도층 연구. 한국 제 4기학회지, 2: 13-24.
 김여상, 박수철, 1992. 한국 서해안 근공만의 조간대 퇴적층 연구: 층서 및 형성과정, 한국 지구과학회지, 13: 41-52.
 박용안, 1992. 한국 서해(황해)의 제 4기 후기 및 홀로세(현세)의 해수면 변동과 기후, 한국 제 4기학회지, 6: 13-22.
 박용안, 1993. 플라이스토세 후기의 기후 변동과 황해 해저분지의 환경 변화. 대한지질학회지, 93 특별호: 42-57.
 박용안, 최진용, 임동일, 최강원, 이영길, 1995. 한국 서해 남양만 조수퇴적분지의 제 4기 퇴적층서와 부정합. 한국 해양학회지, 30: 332-341.
 오경섭, 박용안, 최진용, 1995. 천수만 간월도층의 퇴적후 변형상(Cryoturbation)으로 해석되는 제 4기 퇴후빙기의 한반도 서해안의 고 환경. 한국 제 4기학회지, 9: 43-60.
 장진호, 1995. 한국 서해 곰소만 조간대 퇴적작용. 박사학위논문, 서울대학교, 191pp.
 최강원, 1987. 한국 서해안(경기만, 아산만)조간대 퇴적층의 층서, 퇴적학적 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 70pp.
 최경식, 1994. 한국 서해 만경-동진강 인근 해역 해저 퇴적물의 퇴적학적 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 183pp.
 한국해양연구소, 1994. 제 4기 해수면 변화의 모델 개발 및 퇴적 환경변화에 대한 종합연구(III). 315pp.
 Allen, J.R.L., 1983. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones(Lower Devonian), Welsh Borders. *Sedimentology Geology*, 33: 237-293.
 Altschuler, Z.S., E.J. Dwornik and H. Kramer, 1963. Transformation of montmorillonite to kaolinite during weathering. *Science*, 141: 148-152.
 Biscaye, P.E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-seas and oceans. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76: 803-832.
 Choi, K.S. and Y.A. Park, 1996. Lithostratigraphy and depositional environment of the coastal deposits in the Youngjongdo tidal flat, west coast of Korea. In: abstract of "Tidalites '96", International Conference on Tidal Sedimentology, 126pp.
 Crowley, K.D., 1983. Large-scale bed configurations (macroforms), Platte River Basin, Colorado and Nebraska: Primary structures and formative process. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 117-133.
 DeCelles, P.G., M.B., Gray, K.D., Ridgway, R.B., Cole, D.A., Pivnik, N. Pequera, and P. Strivastava, 1991. Controls on synorogenic alluvial-fan architecture, Beartooth Conglomerate (Paleocene), Wyoming and Montana. *Sedimentology*, 38: 567-590.
 Dreyer, T., 1993. Quantified fluvial architecture in ephemeral stream deposits of the Esplugafreda Formation(Palaeocene),

- Tremp-Graus Basin, northern Spain. In: Alluvial Sedimentation. edited by M. Marzo and C. Puigdefabregas Special Publication of IAS No. 17: 337-362.
- Frey, R.W., J.D., Howard, S.J. Han and B.K., Park, 1989. Sediments and sedimentary sequences on a modern macrotidal flat, Incheon, Korea. *J. Sediment. Petrol.*, **59**: 28-44.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis: In., Carver, R.E. edited. Procedures in sedimentary petrology, Willey-Inter science.
- Jin, C.M. and J.R. Schubel, 1984. Geomorphological and sea level changes on the continental shelf of the East China Sea since the late Pleistocene. Korea-U.S. Seminar and Workshop on Marine Geology and Physical Process of the Yellow Sea, Seoul, Korea (Abstr.). 117-127.
- Kim, J.Y., C.H., Cheong, C.J. Lee and B.S., Kang, 1995. Spongeliomorpha ichnosp. From the Quaternary deposits, Kyokpori, southwest coast of Korea. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **16**: 437-441.
- Kim, Y.H., 1997. Holocene Transgressive Stratigraphy of Macrotidal Flat in the Southeastern Yellow Sea: Gomso Bay, Korea. M.S. thesis, Seoul Nat'l Univ. 100pp.
- Klein, G. deV., 1963. Bay of Fundy intertidal zone sedimentats. *J. Sediment. Petrol.*, **33**: 844-854.
- Klein, G. deV., 1970. Depositional and dispersal dynamics of intertidal sand bars. *J. Sediment. Petrol.*, **40**: 1095-1127.
- Klein, G. deV., 1977. Clastic tidal facies. Continuing Education Publication Company, Illionois. 149pp.
- Kumar, N. and J.E. Sanders, 1976. Characteristic of shoreface storm deposits: Modern and Ancient Examples. *J. Sediment. Petrol.*, **46**: 145-162.
- Lim, D.I., Y.A., Park, J.Y., Choi, K.W., Choi, 1995. The stratigraphic and sedimentologic characteristics of the tidal deposits in Namyang Bay, west coast of Korea. Abstract of the 1995 spring meeting. 54pp.
- Nemec, W. and G., Postma, 1993. Quarternary alluvial fans in southwestern Crete: Sedimentation processes and geomorphic evolution. In: Alluvial Sedimentation, edited by M. Marzo and C. Puigdefabregas Special Publication of IAS No. 17: 235-276.
- Park, Y.A., 1969. Submergence of the yellow sea coast of Korea and stratigraphy of the Sinpyeongcheon Marsh, Kimje, Korea. *Jour. Korea Geol. Soc.*, **5**: 57-66.
- Park, Y.A., 1983. The nature of Holocene sedimentation and sedimentary facies on the continental shelves of Korea. In: '83 Summer Conference for Domestic and Foreign Scholar of Science and Technology, 72-80.
- Park, Y.A., 1996. Coastal Typhoon Deposit in the Hampyung Bay, Southwest. *J. Korean Soc. Oceanogr.* **31**: 32-36.
- Park, S.C., Y.S., Kim, S.K., Hong, 1991. Shallow seismic stratigraphy and distribution pattern of late Quaternary sediments in a macrotidal bay: Gunhung Bay, west coast of Korea. *Marine Geology*, **98**: 135-144.
- Park, Y.A. and H.I., Lee, 1995. Holocene Cycles; Late Quaternary climatic changes and sea level history along the Korean coasts. *J. of Coastal Research*, Special Issue No. **17**: 163-168.
- Park, Y.A. and D.I., Lim, 1996. Sedimentology and stratigraphy of the Holocene and pre-Holocene tidal deposits, Namyang Bay, west coast of Korea. In: Abstract of "Tidalites '96", International Conference on Tidal Sedimentology. 126pp.
- Park, Y.A., J.T., Wells, B.W. Kim and C.R., Alexander, 1996. Tidal lamination and facies development in the macrotidal flats of Namyang Bay, west coast of Korea. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, **24**: 183-191.
- Reineck, H.E. and I.B., Singh, 1980. Depositional Sedimentary Environment (2nd Ed). Springer-Verlag, Berline, 455pp.
- Segal, M.P., D.E., Buckley and C.F.M., Lewis, 1987. Clay mineral indicators of geological and geochemical subaerial modification of near-surface Tertiary sediments on the northeastern Grand Banks of Newfoundland. *Can. J. Earth Sci.*, **24**: 2172-2187.
- Zhao, X., X. Geng, and J., Zhang, 1985. Sea level changes in eastern China during the past 20,000 yr. In: A Collection of Oceanographic Papers from China, edited by Y. Lou, **1**: 94-104.