

경기만 김포 조간대 지층의 제 4 기 후기 층서

박용안 · 최경식 · 도성재* · 오재호**

서울대학교 해양학과, *고려대학교 지구환경학과, **한국자원연구소 석유해저부

Late Quaternary (Late Pleistocene and Holocene) Stratigraphy and Unconformity in the Kimpo Tidal Deposits, Kyunggi Bay, West Coast of Korea

Yong Ahn Park, Kyung Sik Choi, Sung Jae Doh* and Jae Ho Oh**

Department of Oceanography, Seoul National University

**Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University*

***Petroleum and Marine Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials*

요 약

경기만 김포조간대 지층의 제4기후기 층서를 규명하기 위하여 3공의 심부 시추(기반암까지 시추됨)를 실시하였으며, 퇴적층의 색상과 퇴적구조 및 입도조직에 근거하여 4개의 암상층서단위를 구분하였다. 이러한 암상단위의 층서는 상위에서 하위로 현세(Holocene) 조수퇴적층 (층서단위 I), 초기 현세 담수습지 퇴적층 (층서단위 II), 플라이스토세 후기 조수퇴적층 (층서단위 III) 및 플라이스토세 후기 육상퇴적층 (층서단위 IV)의 순서이다. 특히 단위 III은 지난 최대 빙기 (LGM) 동안에 대기중 노출에 따른 풍화 및 결빙의 영향을 받은 상부(층서단위 III-a)와 풍화를 받지 않은 하부(층서단위 III-b)로 세분된다.

ABSTRACT

Three deep borings to obtain vertical continuous samples including weathered basement soils (KP-1, KP-2 and KP-3) were carried out in the reclaimed Kimpo tidal flat with purposes to establish late Quaternary stratigraphy. On the basis of detailed observations and descriptions on color, sedimentary structure and textural composition of cored sediments, four lithostratigraphic units are classified. From the stratigraphic top to bottom, they are Holocene tidal sand and muddy deposit (Unit I), early Holocene freshwater marsh muddy deposit (Unit II), late Pleistocene tidal sand and muddy deposit (Unit III) and late Pleistocene basal fluvial gravel deposit (Unit IV). In particular, Unit III is divided into two parts: the upper part - weathered and cryoturbated part during the Last Glacial Maximum (Unit III-a) and the lower part - unweathered tidal sand and muddy deposit (Unit III-b).

이 연구는 과학기술부와 한국자원연구소의 지원을 받아 수행되었다.

서론

한국 서해연안은 지난 현세 중기 이후의 해수면 상승에 의하여 침수되므로써 수 많은 만(Bay) 지형과 섬으로 구성된 전형적인 리아(Ria) 해안이다. 특히 세계적으로 잘 알려진 대조차(macrotidal range)해안이며, 강한 조류로 인해 광대한 갯벌이 형성되어 있다. 조하대에는 활발하게 이동하는 조수기원의 모래톱(sand ridge)들이 발달한다. 계절적인 폭풍 또는 태풍에 의하여 영향을 크게 받는 것이 특징적이다 (Lee et al., 1994).

서해연안을 따라 발달·분포하고 있는 조간대 층에 대한 층서·퇴적학적인 연구가 지난 20여년간 이루어져 왔다. 초기의 진동시추를 이용한 연구는 현생 조수 퇴적체의 층서에 대한 결과물도 출하였고 대부분의 현생 퇴적체는 해침에 의한 상향조립화의 해침층서를 기록하고 있는 것으로 보고되었다 (최, 1987; 장, 1995; Frey et al., 1989). 남양만의 경우는 예외적으로 상향세립화의 층서를 보이며 이는 조간대가 외해로 전진구축하기 때문인 것으로 해석되었다(Alexander et al., 1991, Park et al., 1996). 한편 기반암까지의 심부시추가 가능해진 1990년 중반이후 선현세 층에 대한 연구가 본격화되기 시작하였다. 천수만에서 처음으로 간월도층으로 명명된 선현세 산화대층이 보고되면서 현세와 선현세층의 경계부 및 선현세층 자체에 대한 관심이 커지게 되었다 (김과 박, 1988). 이러한 경계면은 제4기 후기 서해안 해수면 변동, 기후 변동을 반영하고 이것이 광역적인 부정합면인 경우에 서해안 조수퇴적분의 층서확립에 있어 매우 중요한 것으로 해석되었다. 천수만의 연구를 시작으로 근흥만, 함평만, 해남만, 경기만 일대에서 이러한 산화대층이 보고되었고 선현세의 조간대층으로 해석되었다 (김과 박, 1992; 박 등, 1997; Park et al., 1995, 1998; Park et al., 1999).

본 논문은 이러한 일련의 제4기후기 층서에 대

한 연구의 하나로서 수행되었으며 인접한 영종도에서의 연구 성과와 함께 김포 조간대분지의 진화를 규명하고자 한다. 심부시추 결과 밝혀진 수직적인 퇴적상의 분포와 층서를 이해하고 지역간의 층서적 대비를 시도하였다. 아울러 현세와 선현세 부정합의 특성을 규명하여 서해안 조수퇴적분지간의 광역적인 대비 가능성도 함께 논의한다.

연구지역

김포조간대는 경기만 북동부에 위치하며 인접한 강화도 영종도와는 만조시에 수심이 10 m가 넘는 조수로에 의해 분리되어 있다 (Fig. 1). 김포조간대는 1980년부터 1990년까지 약 10 여년간에 걸쳐 매립되었으며 그 면적은 3,800 ha에 달한다 (농어촌진흥공사, 1996). 연구해역의 평균 조차는 대조시 9 m 소조시 5 m로서 대조차 조수 환경에 속하고, 강한 조류의 흐름이 특징적이며, 반일주조 우세환경이다 (Hahn, 1980). 북동쪽으로 약 40 km 떨어진 한강으로부터 주된 퇴적물의 공급을 받으며, 겨울철과 여름철 장마때에 발생하는 간헐적인 태풍과 폭풍의 영향을 받는다. 김포조간대 일원의 표층퇴적물의 분포는 조간대 지역인 경우 니질 내지는 니질 모래 퇴적상이 우세하고 조수로는 자갈질 모래 퇴적상이 우세하다. 조하대 지역은 모래질 실트 내지는 실트질 모래 퇴적상이 우세하다 (장과 오, 1991). 김포조간대 일원에 분포하는 크고 작은 섬들은 대부분 선캄브리아기 화강암질 편마암으로 구성되어 있다 (KACA, 1996).

재료 및 방법

기반암까지 시추된 퇴적층의 연속적 시추자료에 근거한 전체적인 층서 연구를 위해 3개 (KP-1, KP-2, KP-3) 의 시추지점이 선택되었다 (Fig. 1). KP-1은 9 m, KP-2는 22 m, KP-3는 32 m까지 시추되었으며 KP-3는 주조류로에 근

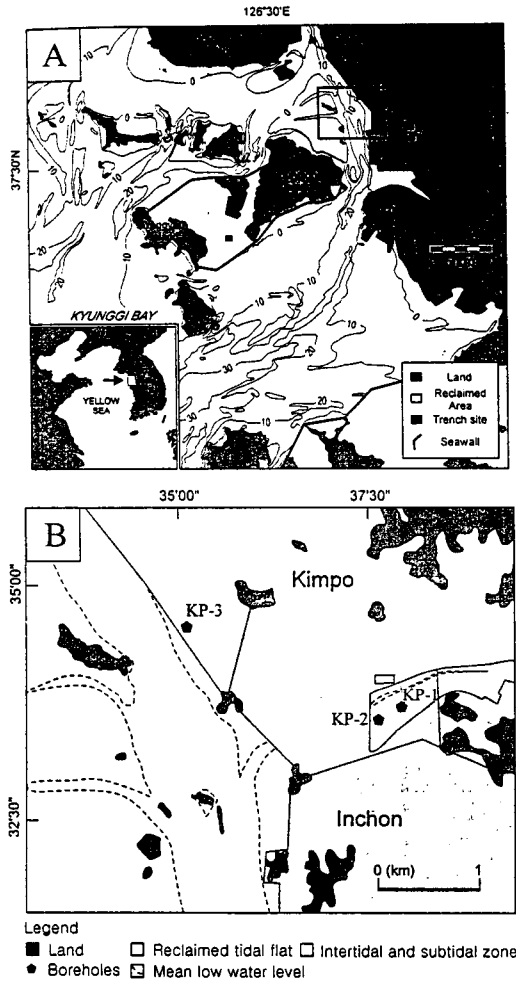


Fig. 1. Index map showing study area and boring locations.

접한 가장 외해 측에 위치한 시추공이다. 주상시추 시료는 1m 간격으로 회수되었으며 KP-3은 1.5 m 간격으로 회수되었다. 유압시추가 불가능한 심부퇴적물은 표준관입시험방법을 사용하여 0.5 m 간격으로 획득되었다. 평균적인 시추회수율은 약 65%이다.

채취된 주상시료들은 실험실에서 절개되었으며 절개된 한쪽은 입도, 유기물함량, 함수율, 전단응력을 위한 시료채취를 위해 사용하였고 부시료는 20~30 cm 간격으로 획득되었다. 다른 한쪽은 X선 사진을 위한 슬랩제작과 육안 관찰을

위해 사용되었다. 주상시추 퇴적물은 유기물 처리를 한 후 조립질과 세립질 퇴적물로 구분하여 조립질은 표준체로, 그리고 세립질은 피펫방법으로 입도를 분석하였다. 입도조직변수는 모멘텀 방법을 사용하였다.

퇴적물의 내부 구조는 1 cm × 7 cm × 30 cm 크기의 슬랩을 연 X선 사진 촬영기(Model HITEX type HP~100)를 사용하여 촬영한 후 사진 분석을 통해 해석되었다. X선 촬영기의 조건은 거리 70 cm, 전압 30~40 kV, 전류 3~5 mA의 범위로 조절하였고, 노출시간은 3분으로 하였다. 퇴적물의 전단응력 (shear strength)은 코아 시료에서 약 10~20 cm 간격으로 Hand Vane (Gilson model no. HM~504 Torvane Rheometer)을 이용하여 측정되었고, 함수율 (water content)은 전단응력이 측정된 곳에서 시료를 채취하여 습윤시료와 건조시료의 무게 차이로써 퇴적물내 포함된 수분량을 구하고 건조증량에 대한 백분율(%)로 표시하였다.

퇴적물의 대자율 측정을 위해 Barington MS2 Magnetic Susceptibility Meter를 사용하였으며 0.47 kHz의 저주파수에서 측정하였다.

퇴적물의 기원과 토양화 작용에 의한 광물조성의 변화를 인지하기 위해 점토광물이 분석되었다. 먼저 입도 분석이 끝난 뒤 pipetting을 이용하여 2 μ m 이하의 입자들을 추출한 뒤 10,000 rpm에서 10분간 원심분리를 하여 남아있는 상등액은 제거하고 점토 반죽을 smear 방법을 사용하여 유리 슬라이드 위에 방향성 시료를 만들었다. 이 시료는 대기중에서 건조되었다. 이 시료들은 Cu-radiation 이 달린 Rigaku 사의 X선 회절기 (diffractometer)를 이용하여 분석되었다. 회절양상은 0.02°의 구간 크기와 1초의 계수시간 하에 2°에서 32°까지 주사되었다. 일차적으로 주사된 시료들은 에틸렌글리콜이 담겨있는 건조기에 넣어 65°C로 24시간 가열하였다. 반응이 끝난 후 다시 동일한 조건하에서 X선 주사를 하였다.

점토광물의 동정은 에틸렌글리콜로 처리가 된 시료의 결과를 기초로 하여 이루어졌다. 스펙타

이트는 17Å, 녹니석(chlorite)은 14.2Å, 3.54Å, 일라이트는 10Å, 카올리나이트는 7과 3.58Å의 peak를 기초로 하여 이루어졌다. 점토광물의 상대적인 비율결정은 Biscaye (1965)의 방법에 근거하여 이루어졌다.

결 과

퇴적상

퇴적물의 색상, 입도, 퇴적구조에 기초하여 18개의 퇴적상이 구분되었다. 우선 퇴적상은 입도에 따라 실트질 모래, 모래질 실트, 실트, 점토, 자갈질 모래의 5개 class로 구분되며 각각의 class는 퇴적구조에 따라 다시 교호엽리, 사층리, 생물교란 등의 세부 단위로 나뉜다. 대표적인 퇴적상은 <Fig. 2>에 제시되어 있다. 각각의 퇴적상에 대한 입도 분포 곡선을 살펴보면 풍화를 받

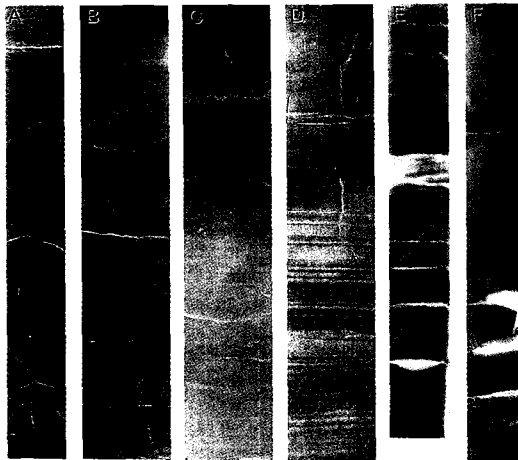


Fig. 2. X-radiographs, showing representative sedimentary facies. (A) Cross-laminated silty sand (KP3: 11.55~11.81 m), (B) Parallel laminated silty sand (KP2: 11.17~11.46 m), (C) Graded silty sand with shell layers (KP2: 7.1~7.39 m), (D) Parallel laminated silt (KP2: 15.1~15.38 m), (E) Parallel laminated mud (KP3: 24.8~25.04 m), (F) Cryoturbated mud (KP3: 20.6~20.89 m). Scale bar is 5 cm.

지 않은 퇴적상들은 단일모드의 입도 조성을 보이는 반면 풍화를 받은 퇴적상은 복모드의 입도 조성을 보여준다 (Fig. 3).

퇴적상조합과 층서단위

김포 조간대 퇴적층은 그 층서적 위치, 우세한 퇴적상에 기초된 퇴적상조합으로 분류되고 층서적 암상단위로 나누어졌다. 다음 4개의 암상층서단위는 층서적 상위로부터 단위 I, 단위 II, 단위 III 및 단위 IV이며, 특히 단위 III은 풍화작용을 받은 상부부분과 (단위 III-a), 풍화작용을 받지 않은 하부부분 (단위 III-b) 으로 세분된다 (Fig. 4).

층서단위 I

올리브 회색 (5Y 4/1) 내지는 진한 녹회색 (5GY 4/1)을 나타내는 퇴적층으로서 교호엽리 구조, 사층리구조, 생물교란구조를 잘 나타내며 모래와 니토로 구성되어 있다. KP-1에서는 7 m, KP-2에서는 15 m, KP-3는 17 m 두께에 달하며, 외해쪽으로 가면서 그 두께는 증가하는 경향이 있다. 평균입도는 수직적으로 그 변화폭이 큰 범위이나 3.5~8.3φ 사이의 값이며, 상향조립화 경향이 나타난다. 분급은 불량한 편이다. KP-2의 7~9 m 사이에는 폭풍에 의해 형성된 것으로 해석되는 다수의 조개층이 협재한다 (Fig. 2C). 또한 10~13 m 사이에는 상향세립화 경향을 보이는 조수로 충전(tidal channel fill) 퇴적층이 협재한다. KP-3에서도 9~15 m 사이에 조수로 (tidal channel) 충전 퇴적층이 협재하며, 6~9 m에는 수평엽리구조의 발달이 우세하다. 일부 구간에서는 엽리두께 변화가 조석주기에 의하여 조정되는 조수기원 리듬층이 관찰된다. 이러한 조수 리듬층의 존재는 층서단위 I이 현재의 대조차 환경에서 형성된 것임을 지시한다. 상향조립화 경향은 한국 서해안의 여러 조간대에서 보고된 바 있으며 이는 해수면 상승속도가 퇴적물보다 큰 경우에 나타나는 전형적인 해침층서를 반영한다

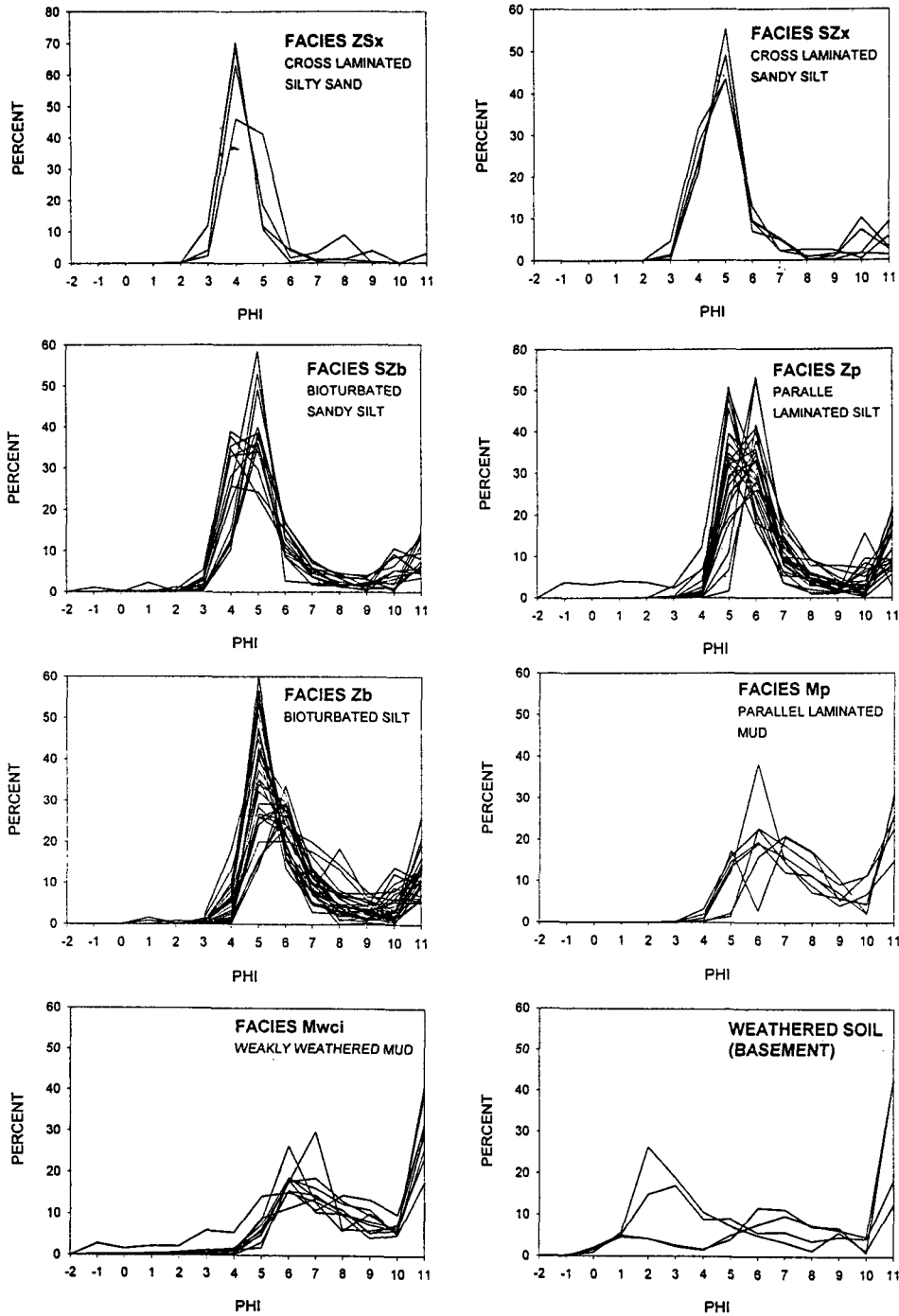


Fig. 3. Size frequency curves for representative sedimentary facies. Weathered and cryoturbated facies (Mwci, weathered soil) are characterized by poor sorting and bimodal distribution. Mean size ranges for silty sand, sandy silt, silt and mud lie in 4ϕ , 5ϕ , $5\sim 6\phi$ and $6\sim 7\phi$, respectively.

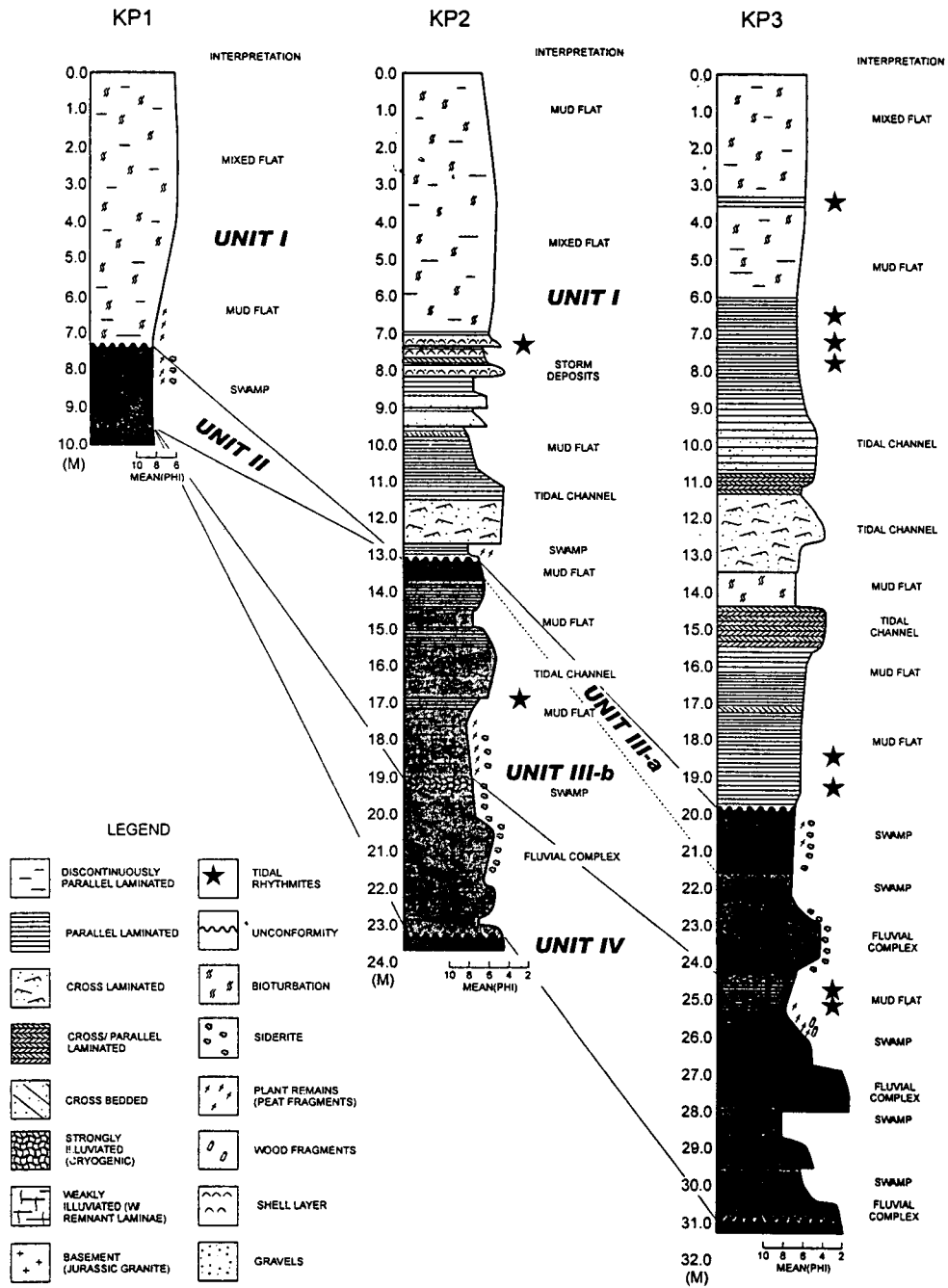


Fig. 4. Columnar section of three borings (KP-1, KP-2, KP-3). Note seaward deepening of sequence boundary between late Pleistocene and Holocene.

(최, 1987; 장, 1995; Kim et al., 1999). KP-2과 KP-3에서 관찰되는 점이층리와 조개층은 폭풍의 영향에 따른 퇴적기작을 지시한다.

층서단위 II

단위 II는 KP-1에서만 관찰되며 깊이 7.6~9.7 m 사이에 발달한다. 황갈색 (10YR 5/4)을 나타내는 반고화된 점토로 구성되어 있으며 모래가 5% 미만, 실트가 32~45% 미만, 니토가 50~63% 미만이다. 평균입도는 8.38~8.55로서 전체 층서단위 중에서 가장 세립하다. 흑색의 토탄파편, 갈대줄기 등이 발견된다. 한편 자생광물의 일종인 능철석 (siderite)이 다량으로 산출되며 이 능철석은 주로 구형의 형태를 갖고 있고 광물 입자 외부에 잘 발달된 rhomb형태를 특징적으로 갖는다 (Fig. 2F). 자생기원 능철석의 존재는 층서단위 II의 퇴적물이 담수기원임을 지시하며, 이러한 능철석의 형성이 다량의 유기물을 필요로 하는 바 실제로 흑색의 토탄파편들이 다량으로 존재하는 것으로 미루어 유기물의 공급이 우세한 습지환경에서 형성된 퇴적물로 해석된다 (Khim et al., 1999).

층서단위 III

층서단위 III은 풍화를 받은 상부부분 III-a와 풍화를 받지 않은 하부부분 III-b로 세분되며 III-b는 노출되지 않은 지하의 부분이다.

단위 III-a는 황갈색 (5YR 4/4)이 우세하며 매우 고화된 실트 및 점토로 구성되고 모래의 함량은 3% 미만, 실트는 70%, 니토의 함량은 30% 내외이다. 평균입도는 6.8~6.9이고 분급은 불량한 편에 속한다. 일차적인 퇴적구조는 관찰되지 않으며 동토구조가 뚜렷하게 관찰된다. 토양화작용에 의한 구성물질들의 이동과 재비치에 따른 실트캡이 관찰된다 (Fig. 5). 단위 III-a는 KP-2에서는 13 m 깊이에서 약 50 cm 두께이며, KP-3의 경우 약 20 m 깊이에서 1.5 m 두께이다.

그런데 단위 III-a의 가장 뚜렷한 특징 가운데 하나는 고화된 갈색 우세의 세립퇴적상이며 결빙

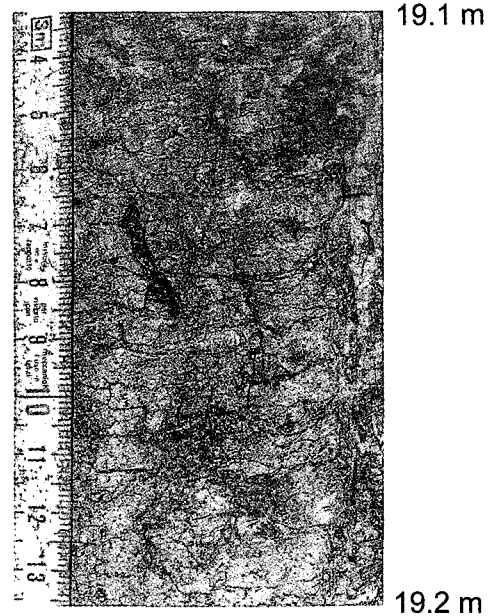


Fig. 5. Photograph of weathered sandy silt (KP-2: 19.1~19.2 m) showing wavy dark mud laminae formed by pedogenesis and cryoturbation.

구조의 존재이다. 점토를 함유한 퇴적층이 고화되어 있다는 것은 이 층이 대기중에 노출되었음을 지시하며 특히 결빙구조의 발달은 이 퇴적단위가 과거 마지막 최대 빙하기 (LGM) 동안 풍화(토양화)작용을 겪었음을 지시한다.

층서단위 III-b는 올리브회색 (5Y 4/1) 내지는 녹회색 (5GY 4/1)이 우세한 모래와 점토로 구성되며 교호구조, 생물교란구조 및 사층리의 발달이 우세하다. 평균입도는 5~8.6 내외이다. 퇴적단위 III-b는 KP-2의 경우 13.5~17.5 m 사이에 4 m 두께이며, KP-3에서는 21.5~26 m 사이에 4.5 m 두께이다. 특히, 엽리의 두께 변화가 주기성을 갖는 '조수리듬층'이 관찰된다. 수개월간의 연속적인 조수퇴적기록을 나타낸다 (Fig. 2D,E). 암상층서단위 I과 유사한 퇴적구조 및 입도조직 등의 특성을 갖는 것으로 보아 단위 III-b

는 조간대 퇴적환경으로, 한편 퇴적시기는 플라이스토세 후기의 마지막 간빙기 (last interglacial)로 추정된다. 이것은 조수리듬층이 상부 조간대 환경을 지시한다는 사실과 이 층의 분포 깊이가 현재 평균만조선하부 20 m 이내인 점을 고려하여 도출된 결론으로, 사실상 현재 (Holocene) 이전에 현재 해수면과 유사했던 시기는 마지막 간빙기인 것으로 보고되고 있기 때문이다 (Yim et al., 1990; Yim, 1999).

층서단위 IV

암상층서단위 IV는 올리브 회색 (5Y 6/1)의 자갈질 모래 및 모래질 자갈로 구성되어 있으며 평균입도가 5~8.2 ϕ 이다. 분급은 매우 불량한 편이다. 하천과 연계된 담수환경에서 형성된 것으로 해석된다. 그런데 KP-1에서는 나타나지 않고, KP-2와 KP-3에서는 각각 2 m, 5 m 내외로 나타난다. 자연환경을 지시하는 미화석과 퇴적구조의 관찰이 용이하지 않아 퇴적환경의 유추가 어렵지만 퇴적상의 특징과 층서적 위치를 해석하면 하천과 연계된 육상환경인 것으로 사료된다.

부정합

층서단위 I과 층서단위 III-a 사이에 존재하는 부정합은 퇴적학적, 점토광물학적, 고지자기학적 측면의 분석자료에 근거하여 뚜렷한 특징을 갖는다. 우선 부정합이 나타나는 깊이는 KP-1에서 9 m, KP-2, KP-3에서는 각기 13, 20 m로서 외해 쪽으로 가면서 그 심도가 깊어지는 경향을 보여 준다 (Fig. 4). 퇴적학적 측면에서 부정합에 해당하는 층서단위 III-a의 퇴적층은 색상이 황갈색으로 상위 조간대층의 올리브 회색 및 녹회색과는 뚜렷한 구분이 된다. 한편 퇴적물은 함수율이 22% 내외로 상위의 층서단위 I에 비해 30% 감소한 값을 보이며 반고화된 상태에서 전단응력값은 0.575~1.125 kg/cm²의 범위를 갖는다. 이러한 전단응력값은 상위의 퇴적물에 비해 두 배 이상 증가한 값이다 (Fig. 6). 층서단위 III-a층은 스멕타이트가 전혀 산출되지 않으며 카올리나이

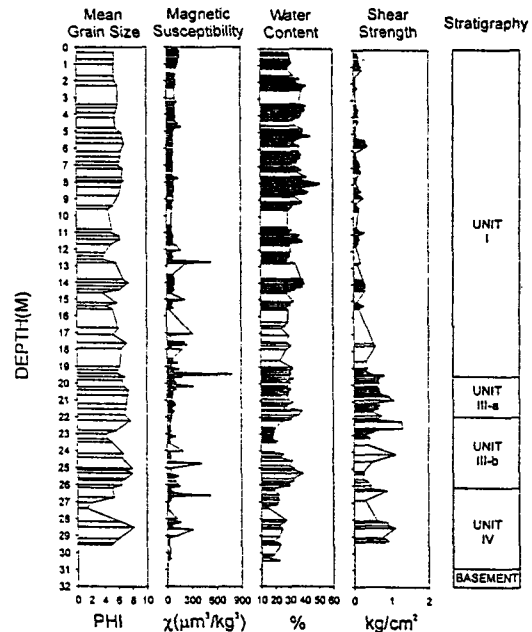


Fig. 6. Vertical variation of mean grain size, magnetic susceptibility, water content and shear strength in KP-3.

트가 30% 내외로 증가된 점토광물 조성을 보인다. 대자율측정 결과 층서단위 III-a층에서 대자율이 갑자기 증가하는 양상을 보인다. 즉 상위의 퇴적층의 대자율이 0~150 $\mu\text{m}^3/\text{kg}^3$ 사이의 값을 갖는데 비해 층서단위 III-a층에서는 800 $\mu\text{m}^3/\text{kg}^3$ 이상의 값을 나타낸다 (Fig. 6).

층서단위 III-a층이 황갈색을 띠는 것은 산화된 퇴적층임을 지시하며 이것은 함수율이 감소하고 전단응력값이 증가하는 것으로 확인된다. 또한 풍화에 매우 약한 스멕타이트의 함량이 전혀 없는 것은 풍화가 오랜 기간 지속되었음을 지시하고 카올리나이트의 함량이 상위의 퇴적층에 비해 증가하는 것은 토양화작용에 의해 스멕타이트와 같은 점토광물들이 카올리나이트로 치환되었음을 의미한다 (McCarthy and Plint, 1998).

대자율값 역시 이 층에서 큰 증가를 보이는데 이것은 대기중 노출에 의해 III-a 층내에 자생적인 자화광물들의 함량이 증가했기 때문인 것으

로 사료된다.

토 의

지난 5~6여년간 한국 서해 조간대 퇴적층(체)에 대한 층서(심부 시추) 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 그러나 1970년대와 1980년대 또는 1990년대 초반까지의 표층연구(동력퇴적학)와 수 m 깊이까지의 천부층서학적 연구는 현세 후기조간대 진화에 관한 중요한 결과를 제시하였다. 이 연구의 결과는 기반암까지의 심부 시추에 근거한 서해안의 제4기 후기 층서와 해수면 또는 기후 변동에 대한 중요한 사실을 제시하였다. 지금까지의 연구결과를 종합하면 서해안 조간대 지층의 현세와 선현세(플라이스토세 후기) 퇴적층의 층서설정과 분지진화의 과정을 제시하였다. 인접한 영종도의 경우, 현세 조간대 퇴적층의 두께는 최대 15 m에 달하고 플라이스토세 후기 지층과의 침식면(부정합)의 위치는 평균 만조선 하위 약 5~14 m에서 관찰된다 (Park et al., 1999).

전남 합평만, 해남만, 충남의 천수만에서도 유사한 조간대 층서가 보고되었다 (김과 박, 1992; 박 등, 1997; Park et al., 1995, 1998, 1999).

층서단위 III의 상부에서 관찰되는 특징적 엽리 구조는 천수만에서 최초로 보고된 이래 동토결빙 구조로 해석되고 있다 (김과 박, 1988; 오 등, 1995). 부정합의 위치는 대체로 평균 만조선의 2 m 하위에서 관찰되며 평균간조선 방향으로 가면서 그 심도는 깊어지고 매우 불규칙적이다. 그런데 김포 조간대의 경우 KP-1에서 9 m 이고 바다 쪽인 KP-2, KP-3에서는 각각 13 m와 20 m이다. 한편 이러한 부정합의 층서적 위치는 그 산출깊이가 일정하지 않다는 사실을 의미한다. 지구구조적으로 안정한 서해(황해) 대륙붕에서의 제4기 층서 발달과 퇴적작용은 주로 전지구적 해수면 변동(eustasy)에 의해 크게 영향 받는데, 지난 최대빙기(LGM) 동안 전체 황해가 육지화되어 대기중에 노출되었고 침식 및 풍화작용이 우세하였

다고 보고되었다 (Park and Yi, 1995). 해수면 상승에 따른 해침에 의하여 침식작용을 받은 고향해의 해저분지는 현세 퇴적층에 의하여 피복되었다. 플라이스토세 후기 층(층서단위 III)이 조간대 층이라는 사실은 그 시기의 해수면이 간빙하기의 해수면 상승 수위이었다는 중요한 정보를 제공한다. 영종도와 김포조간대에서 발견된 조수리듬층에 근거하면 해수면은 적어도 현재 만조선 아래 5~7 m 까지 상승하였던 것으로 판단된다. 특히 조수리듬층의 존재는 고경기만 (Paleo-Kyunggi Bay)의 환경이 현재와 유사한 대조차 반일주조 우세 조간대임을 지시한다 (Park and Choi, 1998; Choi and Park, submitted).

결 론

김포 조간대의 층서는 상위에서 하위로 단위 I, 단위 II, 단위 III, 단위 IV로 구분되며 단위 I과 II는 현세(Holocene)시기이고 단위 III과 IV는 플라이스토세 후기(late Pleistocene)에 해당한다. 부정합은 단위 I과 III사이에 존재한다. 층서단위 III의 상부지층(III-a)의 점토광물, 동토결빙구조, 합수율, 전단응력, 대자율값 및 퇴적층의 색 등은 지난 빙하기(LGM)동안에 단위 III의 지층(조수퇴적층)이 대기에 노출되었다는 사실을 의미한다. 이 부정합은 제4기 후기층서의 현세와 선현세를 경계짓는 층서적 경계(sequence boundary)로 해석된다.

사 사

김포 조간대 심부 시추를 위해 애써주신 동아 컨설턴트(주)의 여러분과 최병훈 부장께 감사드립니다. 실험실에서의 분석을 위해 많은 도움을 준 김수정 학사와 황선영 석사에게 진심으로 감사한다.

참고문헌

- 김여상, 박용안. 1988. 한국 서해 천수만 북동부에 발달한 제4기 현세 조간대층 하위의 퇴적층의 간월도층 연구. 한국 제4기학회지, 2: 13-24.
- 김여상, 박수철. 1992. 한국 서해안 근홍만의 조간대 퇴적층 연구: 층서 및 형성과정, 한국 지구과학회지, 13: 41-52.
- 농어촌진흥공사, 1996. 한국의 간척. 대성인쇄공사, 경기도, 405pp.
- 박용안, 임동일, 최진용, 이영길. 1997. 한국 서남해 함평만 조간대 퇴적층의 제4기 후기 층서 연구. 한국해양학회지 바다, 2: 138-150.
- 오경섭, 박용안, 최진용. 1995. 천수만 간월도층의 퇴적후 변형상(Cryoturbation)으로 해석되는 제4기 퇴적층서와 부정합. 한국해양학회지, 9: 43-60.
- 장진호. 1995. 한국 서해 곰소만 조간대 퇴적작용. 서울대학교 박사학위논문, 191pp.
- 장현도, 오재경. 1991. 한강종합개발 이후 한강하구 및 경기만의 퇴적환경. 한국해양학회지, 26: 13-23.
- 최강원. 1987. 한국 서해안(경기만, 아산만) 조간대 퇴적층의 층서, 퇴적학적 연구. 서울대학교 석사학위논문, 70pp.
- Alexander, C. R., Nittrouer, C. A., DeMaster, D. J., Park, Y. A. and Park, S. C. 1991. Macrotidal mudflats of the southwestern Korean coast: a model for interpretation of intertidal deposits. *Jour. Sedimentary Petrology*, 61: 805-824.
- Biscaye, P. E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. An. Bull.*, 76: 803-831.
- Choi, K. S. and Park, Y. A. (submitted). Late Quaternary silty tidal rhythmites in the macrotidal flat between Youngjong and Yongyou Islands, west coast of Korea.
- Frey, R. W., Howard, J. D., Han, S. J. and Park, B. K. 1989. Sediments and sedimentary sequences on a modern macrotidal flat, Incheon, *Korea. J. Sediment. Petrol.*, 59: 28-44.
- Hahn, S. D. 1980. Variability of tidal range at Incheon. *J. Oceanological Society of Korea*, 15: 123-128 (in Korean)
- Khim, B. K., Choi, K. S., Park, Y.A. and Oh, J. K. 1999. Occurrence of authigenic siderites in the early Holocene coastal deposit in the west coast of Korea: an indicator of depositional environment. *Geoscience Journal*, 3: 163-170.
- Kim, Y. H., Lee, H. J., Chun, S. S., Han, S. J. and Chough, S. K. 1999. Holocene transgressive stratigraphy of a macrotidal flat in the southeastern Yellow Sea: Gomso Bay, *Korea. Journal of Sedimentary Research*, 69: 328-337.
- Korea Airport Construction Authority (KACA), 1996. Geotechnical investigation report on Incheon International Airport Transportation Center, 342pp.
- 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. *Jour. Sediment. Research A64*, 886-893.
- McCarthy, P. J. and Plint, A. G. 1998. Recognition of interfluvial sequence boundaries: Integrating paleopedology and sequence stratigraphy. *Geology*, 26: 387-390.

- Park, Y. A. and Yi, H. I. 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 Choi, K. S. 1998. Recognition of silty tidal rhythmite from the upper Pleistocene sedimentary sequence, western coast of Korea. *Journal of Korean Society of Oceanography* 33, 71-79.
- Park, Y. A., Choi, K. S. and Oh, J. H. 1999. Late Quaternary stratigraphy in the reclaimed tidal flat in Youngjong Island, west coast of Korea: implication on the climate and sea-level changes. In: *proceedings of the first international symposium on the geoenvironmental changes and biodiversity in the northeast Asia*, Seoul, November 16-19. 41-53.
- Park, Y. A., Lim, D. I., Khim, B. K., Choi, J. Y. and Doh, S. J. 1998. Stratigraphy and subaerial exposure of late Quaternary tidal deposits in Haenam Bay, Korea (south-eastern Yellow Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47: 523-533.
- Park, Y. A., Choi, J. Y., Lim, D. I., Choi, K. W. and Lee, Y. G. 1995. Unconformity and stratigraphy of late Quaternary tidal deposits, Namyang Bay, west coast of Korea. *Journal of Korean Society Oceanography*, 30: 332-340.
- Park, Y. A., Wells, J. T., Kim, B. W. and Alexander, C. R. 1996. Tidal lamination and facies development in the macrotidal flats of Namyang Bay, west coast of Korea. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 24: 183-191.
- Yim, W. W. -S. 1999. Radiocarbon dating and the reconstruction of late Quaternary sea-level changes in Hong Kong. *Quaternary International*, 55: 77-91.
- Yim, W. W. - S., Ivanovich, M. and Yu, K.-F. 1990. Young age bias of radiocarbon dates in pre-Holocene marine deposits of Hong Kong and implications for Pleistocene stratigraphy. *Geo-Marine Letters*, 10: 165-172.

(Accepted : December 13, 1999)