

한국 서해안 조수 퇴적과정과 제4기 후기(현세와 선현세) 층서*

박 용 안

서울대학교 자연과학대학 해양학과

Tidal depositional processes and late Quaternary
(Holocene and pre Holocene) stratigraphy
in the western coasts of Korea*

Yong Ahn Park

Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

要 約

우리나라의 서해(West Sea)는 일명 황해(Yellow Sea)라고 일컬어지는 약 40여 m의 평균 수심을 갖는 대륙붕 해저지형 분지에 의하여 지배되는 전형적 육연해(陸緣海 : epicontinental sea)이다. 그런데 이 바다는 중심부(황해의 중심부)를 기준으로 하여 중국 대륙의 산둥반도에서 양자강 하구에 이르는 서부 해안을 가지며, 북부에는 발해만의 해안이 있고, 동부에는 서해(황해) 특유의 넓은 조수환경(tidal environment)과 조수해안이 발달한다. 그러나 남쪽으로는 북서 태평양과 연결된다.

한국 서해안이 평균 4m 이상의 조차(tidal range)를 나타내는 조간대 조수환경이며, 조간대 해저지형(intertidal morphology)이 전형적 퇴적층(체)에 의하여 지배되는 여러가지 특징을 나타낸다. 서해안 조수 환경은 네델란드, 독일 또는 미국의 경우와 같이 연구가 잘되어 세계적으로 널리 알려진 소위 barrier island system and tidal depositional environments와는 크게 다른 퇴적과정과 환경이

* 본 연구는 1994년도 교육부 기초과학육성 연구비(BSRI-94-5409)의 지원에 의한 것임.

다. 경기도 남양만의 조수 환경의 경우, 조간대 해저지형 요소인 조류로(tidal channel)와 조간대 정규해저(intertidal zone proper)에 관한 동력적 퇴적과정 연구결과 조간대 특유의 lateral sedimentation과 vertical sedimentation 2가지 퇴적과정중 후자의 퇴적과정이 우세한 것으로 밝혀졌고, 이러한 퇴적과정의 진행이 매우 안정한 지속성을 가지는 것이 특징이다. 이러한 퇴적과정의 조간대 퇴적물의 쇄설 입자는 약 20% 미만의 모래(sand) 입자, 50~70%의 실트(silt)와 점토(clay) 입자가 20~30%에 달하는 입자조직(grain texture)의 퇴적상을 나타낸다. 결과적으로, 조간대의 동력적인 조수 수위의 수위(level of tidal water)는 평균 만조선과 평균 저조선으로 한정되며 이것은 퇴적과정과 퇴적작용의 조정(control) 요인으로 조간대 퇴적상의 발달과 분포에 큰 영향을 미친다. 예를들면, 남양만 등의 대부분의 서해안 조간대 표층 퇴적상(surficial sedimentary facies)은 만조선에서 간조선에 가까울 수록 조립화 현상(coarsening trend)을 나타낸다. 이러한 퇴적상 변화는 저조선에서 만조선으로의 조간대 지형과 주조수로의 지형·수력학적 특성이 다음과 같기 때문이다.

- a) a general decrease in width
- b) a general decrease in depth
- c) a general decrease in maximum and average current velocities
- d) a general increase in contents of suspended mud
- e) a general decrease in grain size of the bottom sand, and an increasing abundance of muddy deposits.

우리나라 서해안 조간대 퇴적층(체)의 수직 층서(vertical stratigraphy)는 지난 3여년동안의 수십개의 vibracoring(주상시추)에 의하여 매우 흥미롭고 중요하게 밝혀지고 있는바, 이것은 현세(Holocene)와 선현세(preHolocene : 11000 years BP)의 오랜 시간 경과에 따른 조수환경 변화의 수직퇴적 과정과 기후 해수면 변화의 현상에 원인이 있다고 해석된다(박용안 외, 1992-1995). 결과적으로 서해안 조수 퇴적체(층)의 분지주변(basin margin) 진화 과정이 밝혀지고 있다.

ABSTRACT

A typical tidal depositional environment and its related physical processes are well recognized along the western coastal zone, the west sea of Korea. The muddy coast and/or high tidal muddy sedimentary facies seem to be controlled by macrotidal range and its related tide influenced physical processes, i.e. settling lag and scour lag. Furthermore, vertical sedimentation process seems to be more dominant than lateral sedimentation in the Namyang Bay tidal environment, which is a case study area of tide influenced clastic sedimentation.

In the case study of the late Quaternary (Holocene and preHolocene) tidal deposit stratigraphy, the Namyang Bay tidal basin and its tidal deposits are described as the following ; the uppermost stratigraphic sequence of the late Holocene Namyang intertidal deposit overlies three different stratigraphic sequences (1) early Holocene oxidized reddish brown muddy deposit (Yongduri Member), (2) preHolocene oxidized yellow deposit (Kanweoldo Formation) and (3) the pre-Cambrian gneiss complex unconformably. Accordingly, three unconformities between those different sequences are recognized.

서 언

한국 서해안은 황해분지의 동부주변 (eastern margin)에 해당되며 평균 4m 이상의 조차를 가지는 거조차(macrotidal regime) 해안으로서 수 km의 넓은 조간대를 나타내는 것으로 특징적이다. 이러한 서해안은 전형적인 조수환경(tide-water environment)에 의하여 지배되며 조하대, 조간대, 주조류로 및 조상대(supratidal zone) 등의 뚜렷한 소환경을 나타낸다. 한국 서해의 조수환경에 관한 기초해양과학적 조사와 연구는 1960년대 후반부터 비교적 활발하였고, 대학교와 출연연구소의 연구진은 미국과 독일의 전문 연구자와의 공동연구 수행을 수차례 실시 한 바도 있다.

필자가 발표하는 중요 내용은 우리나라 서해안의 조수퇴적환경 (tide influenced depositional environment) 에 관한 것으로 조수 퇴적환경에 따른 쇄설물질 퇴적과정과 퇴적상의 기본적 특성을 설명하고 조수 퇴적분지의 제 4기 층서 (Quaternary stratigraphy) 발달과 진화에 관하여 기술한다.

따라서 제 4기의 해수면 변동과 기후 변이에 관한 기록이 조수퇴적분지의 퇴적체 (층) 진화과정에 존재함을 연구의 중요 결론으로 제시한다.

조간대 조수 퇴적과정

조간대 퇴적환경(intertidal depositional environment)은 조류로 (tidal channel), 만조선 부근 조간대(high flat), 저조선 부근 조간대(low flat) 및 중간조간대(middle flat)의 소환경(subenvironment)으로 구분되며, 각각의 조간대 소환경은 조류의 동력적 거동과 쇄설물질 운반 퇴적 또는 생물분포 등의 환경 요소에 있어 상대적 차이와 특성을 나타낸다.

“High flat”에서 세립입자(실트+점토) 쇄설 퇴적물이 우세하게 집적되는 현상은 물리적 퇴적과정(physical process)에 따른 다음과 같은 지형·물리적 요인에 의한 것이다.

- (1) 저조선(low tide)으로부터 만조선으로의 지형과 수로의 깊이는 점점 얕아진다.
- (2) 주조류로(main tidal channel)의 폭이 만조선으로의 조류세곡(tidal fully)에 이르기까지 점점 더 감소한다.
- (3) 저조선에서 만조선으로 이동하는 조수 수괴의 조류유속 최대 값과 평균유속이 점점 더 감소한다.
- (4) 저조선에서 만조선으로 접근할수록 조류에 함유되는 실트와 점토 입자의 함

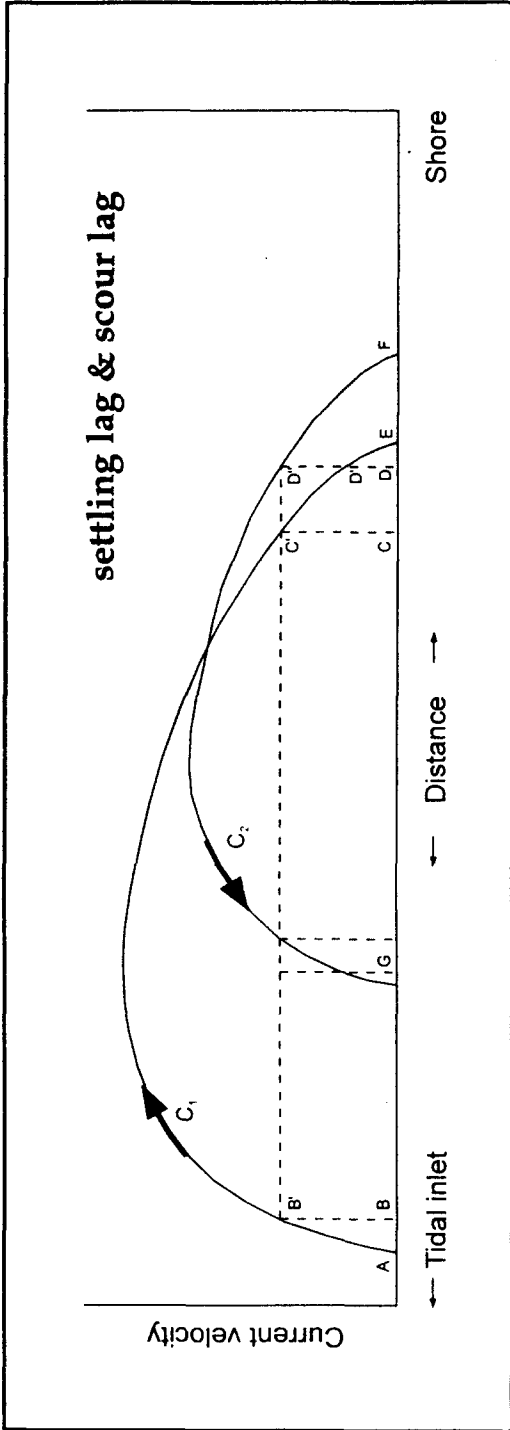


Fig. 1. Distance-current velocity diagram of tide waters moving from MLW to MHW. (Redrawn from van Straaten and Kuenen, 1957)

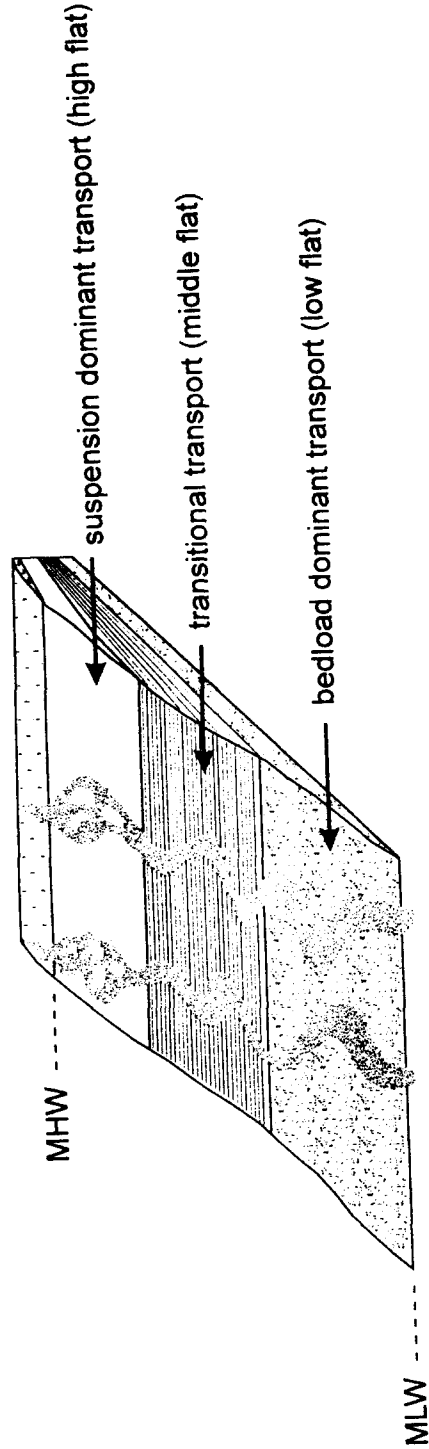


Fig. 2. A model showing 3 major intertidal subenvironments and physical processes.

유량 (tidal current capacity)은 증가된다.

- (5) 주조류 바닥에 분포하는 사립자(sand)의 입도는 만조선으로 가까울수록 점점 더 세립 하여지며 이토 (mud) 함량이 더 증가된다.

위와 같은 조간대 지형 물리적 요인에 의하여 만조선 근방의 "high flat"에서 세립질 갯벌 퇴적층이 우세 할 뿐만 아니라, 조수 수괴(tide-water mass)의 수력적 조건에 의한 settling lag(침전지연)와 scour lag(침식지연)에 지배되는 결과는 세립 쇄설물질이 그림 1과 같이 점점 더 만조선 쪽으로 이동 운반되고 집적된다. 그림 1의 내용을 요약하면 한 조석 주기의 결과는 B 지점의 퇴적물은 G 지점까지의 거리만큼 이동 운반되고 계속적인 조석주기(tidal cycle)에 따른 settling lag와 scour lag 효과는 세립 물질의 만조선 근방(high flat) 퇴적현상으로 나타난다.

그러나 저조선 근방의 "low flat"에는 만조선 근방 "high flat"의 세립질 퇴적물 우세 경우와 다르게 조립질 퇴적물의 집적된다. 저조선의 "low flat"은 조하대(subtidal zone)와 연결되므로 파랑 작용과 해류 작용의 영향을 크게 받고 bedload(밀집) 퇴적물의 운반과 집적이 우세한 소위 high energy 퇴적환경으로 특징 지워진다.

이상과 같이 저조선 부근의 "low flat"와 만조선 부근의 "high flat" 조간대 특유의 subenvironment는 조간대 해저 지형의 구배에 따른 함수 관계에 있어 그 사이에 소위 중간조간대(middle flat)가 존재한다. "middle flat"에서의 물리적 퇴적과정은 매우 특징적인 조간대 지시적 퇴적구조인 tidal rhythmite와 flaser bedding이 생성 되도록 한다. 즉, 만조선 근방에서의 부유세립 퇴적물 운반과정과 저조선 근방의 밀집 조립 퇴적물의 운반과정이 혼합 교호하는 퇴

적 과정이 우세하기 때문이다.

이러한 전형적인 3가지 조간대 퇴적과정의 모델을 제시하면 그림 2와 같다.

남양만 조간대 퇴적층의 층서와 부정합

남양만 조간대 퇴적층의 층서는 만조선에서 간조선에 이르는 6개의 주상시추(vibracoring)의 연구결과에 기초하여 해석되었다. 본 연구에서 밝혀진 3개의 부정합과 부정합적 층서의 각 지층을 최고기 층에서 신기 지층의 순으로 설명하면 다음과 같다. 본 연구해역의 조수 퇴적분지의 기반(basement)은 선캄브리아의 원생대에 속하는 부천층군의 지층이며 우리나라 경기만 일대와 경기도 내륙의 넓은 지역에 노출하고 있는 화강편마암층이다(그림 3). 이러한 화강편마암층과 부정합적 관계를 가지고 그 상위에는 간월도층과 대비되는 선현세의 산화대층(consolidated yellowish orange, 10 YR 6/6)이 발달한다(그림 3, unit B). 이 지층은 고기의 상부조간대층에 대비되는 지층으로서 황색 또는 황갈색을 띠는 매우 단단한 니질의 퇴적층으로 위스콘신 빙하기 후기(late Wisconsin) 동안 대기에 노출되므로써 생성되는 동토구조(cryozenic structure)를 나타낸다. 이러한 고화된 산화대층(간월도층)은 천수만과 곰소만 등의 한국 서해 연안해역의 현세 조간대 퇴적층과 부정합 관계를 이루며 그 하위에 분포하고 있다(김, 1989; 장, 1955). 이 간월도 퇴적층은 김과 박(1989)에 의해 명명된 지층으로서 약 30,000 yr B.P. 내외의 아간빙기(Interstadial)에 해당하는 상부조간대의 니질 퇴적층(탄화된 식물의 14C: 연령 16, 300±130 y BP)이며, 그 당시 만조선 부근의 상부니질 조간대를 지시하는 게구멍(crab burrow)의 흔적화석이 존재함이 특징이다(그림4). 본 연구 해역인 남양만 조수분지에서 발견된 이 산화대층은 간월도층

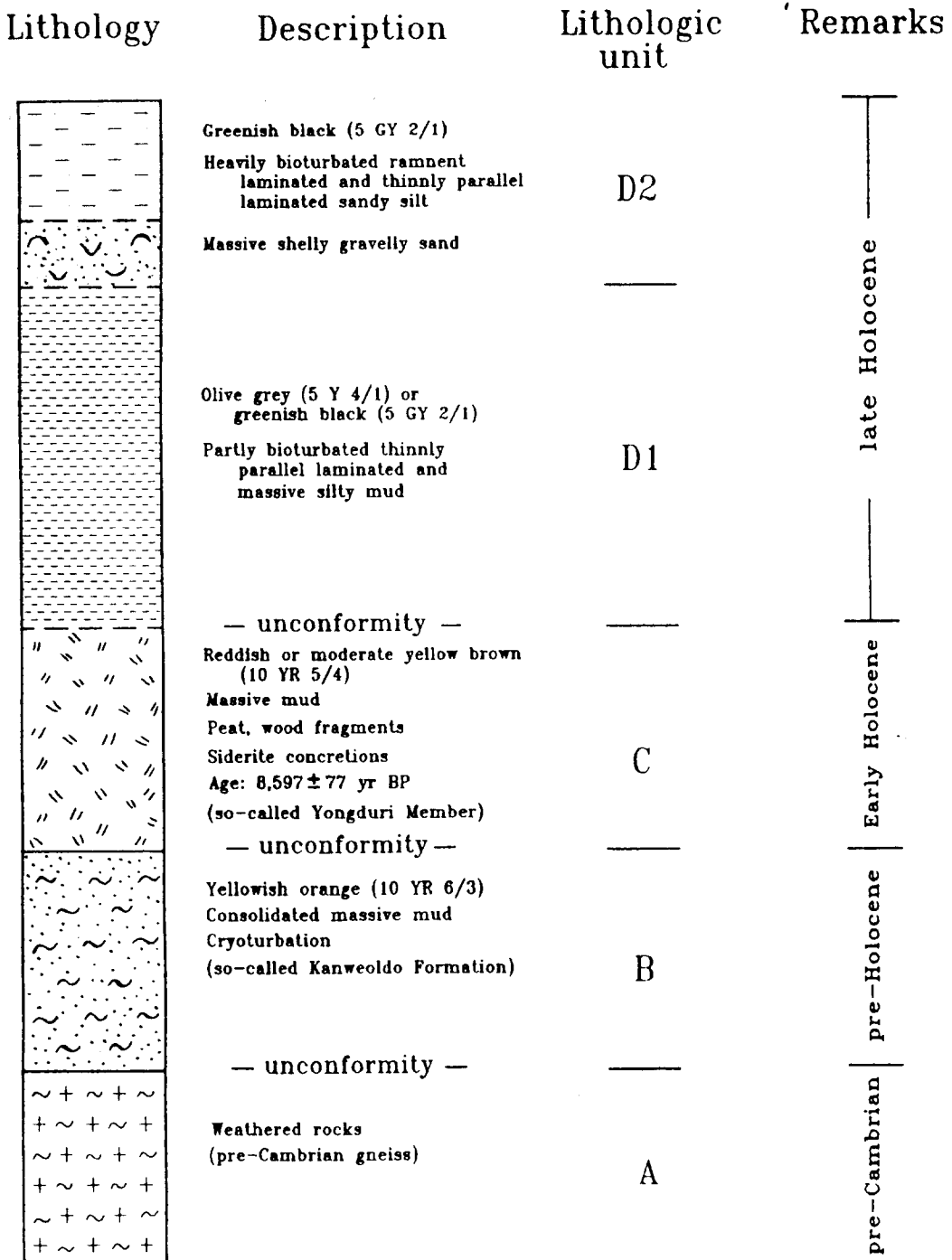


Fig. 3. Description of a representative vertical stratigraphy and unconformities in the tidal basin investigated (After Y.A. Park *et al.*, 1995).



Fig. 4. Crab burrow from the Kanwoeldo Formation(After Y.A. Park *et al.*, 1995).



Fig. 5. Siderite grains from the reddish brown sediments(Yongduri Member) (After Y.A. Park *et al.*, 1995).

에 대비되는 것으로 최대 빙하 발달시기 LGM(last glacial maximum)에 해당하는 약 15,000 yr B.P.에 이르기까지 한냉 건조한 기후의 대기에 노출되었던 선현세 퇴적층(pre-Holocene deposits)으로 해석된다.

이 선현세 산화대층(간월도층) 상위에 부정합적으로 놓이는 지층은 적갈색의 니질세립층이다(그림 3, unit C). 이 지층은 잠정적으로 용두리층(Yongduri Member)으로 명명할 것을 제안한다. 용두리층은 적색에서 적갈색 (reddish or moderate yellowish

brown, 10 YR 5/4)을 나타내며 많은 양의 식물 파편들을 함유하고, 물리적 퇴적구조와 생흔구조가 없는 고화되지 않은 괴상의 니질퇴적층(massive mud deposits)이다. 그림 5에 제시된 바와 같이 이 퇴적층에서 특징적으로 발견되는 능철석 (siderite ; FeCO_3)은 일반적으로 습지(bog)와 소택지(swamp)에서 자생적으로 형성되는 비해성 퇴적물의 좋은 지시자로 해석된다(Berner, R. A. 1971). 이 용두리층의 상부에서 채취된 토탄(peat)의 연령은 $8,597 \pm 77$ yr BP

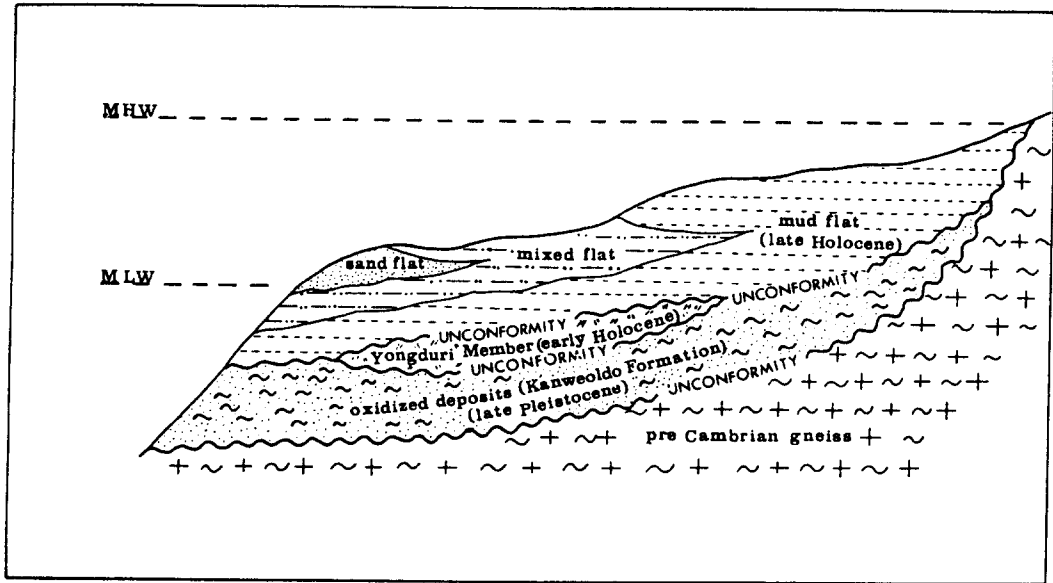


Fig. 6. Diagram suggesting a model of stratigraphic cross section of the Namyang Bay tidal basin (After Y.A. Park *et al.*, 1995).

이며, 이는 초기 현세 (early Holocene) 의 말기에 해당한다. 그러므로 용두리층은 초기 현세 이전의 해수면과 어느 정도의 거리를 가진 그 당시의 해안선 근방의 육지에 발달한 습지 퇴적물로 해석된다. 위에 설명된 용두리층을 부정합적으로 피복하는 지층은 남양만의 조간대층이며 남양만 조수 분지에서 최상위의 신기 지층이다(그림 3 unit D1 과 D2). 이 조간대층은 $2,321 \pm 65$ yr BP의 탄소-14 연령을 나타내는 현세 후기(late Holocene)의 지층이며 서해안의 대부분의 현세 조간대(갯벌) 층과 같은 것이다. 이 조간대층은 상부층 (그림 3-unit D2)과 하부층(그림 3-unit D1)으로 구분되는바 상부층은 평균 약 100cm의 두께를 가지며 암록회색 (dark greenish black, 5 GY 4/1)의 실트질 모래(silty sand)층의 혼합퇴적층으로 자갈과 패각을 함유한다. 이 상부층의 주된 퇴적구조는 평행 엽층리(parallel lamination)이며 심한 생물교란구조가 부분적으로 관찰된다. 하부층은 상부층의 혼합퇴적상과 구분되는 녹회색(greenish gray, 5 G 6/1)의 니질층(mud sedi-

ments)으로 평균 300cm(110~400cm)의 두께를 가진다. 하부층은 상부층과 가르게 뚜렷한 퇴적구조가 빈약한 피상의 퇴적층이며, 부분적으로 조수 퇴적구조의 하나인 렌즈형 세립사층(fine sand lenticular bedding)을 나타낸다. 또한 이 층의 최하부에서는 식물파편이 비교적 흔하게 발견된다. 요약하여 설명하면 상부층과 하부층으로 구분 가능한 남양만 현세 조간대층은 층서적으로 최상위의 지층이며 상향 조립화(coarsening upward)의 수직적 퇴적상을 나타내며, 이는 해수면 상승에 따른 퇴적과정의 의미를 의미한다.

결론적으로 본 연구는 남양만 조수분지(tidal basin)의 기저층을 이루는 지층에서부터 현세 후기의 현세 조간대층에 이르는 전체적인 지층 층서단위의 층서구분과 3개의 부정합을 규명한 것이며, 또한 최상위현세 조간대층 하부의 쇄설물질은 현세 후기의 초기의 해수면 상승에 따른 해침 퇴적과정에서 해록석을 비롯한 사립자 및 니질입자가 황해 대륙붕으로부터 공급 운반된 것으로 해석한다. 남양만의 조수퇴적체와 그

하위의 층서적 단위지층 및 부정합 상호간의 순차적 발달과정을 의미하는 모델을 제시하면 그림 6과 같다.

남양만의 조수퇴적층은 현세 후기 (약 2, 320 yr BP)에 해당하며, 용두리층을 부정합적으로 피복하는 최상위의 현세지층이다. 용두리층(본 연구에서 규명된 육상의 호수습지 지층)은 선현세 산화대층(간월도층과 대비)을 부정합적으로 피복하며 이 층은 남양만의 기반지질을 이루는 최하위 층서적 단위지층인 선캠브리아의 변성퇴적암인 화강암질 편마암을 부정합적으로 피복하는 것으로 규명하였다. 남양만의 현세 조수퇴적체의 하부층은 현세 후기의 해수면 상승과정의 해침운반에 의한 황해 대륙붕으로부터의 쇄설 퇴적물로 구성되며 전형적인 현세 해침층서(Holocene transgressive sequence)를 나타낸다.

참 고 문 헌

- 김여상, 1988. 한국 서해 천수만 사장포해안의 조간대층의 퇴적환경과 진화. 박사 학위논문, 서울대학교, 169pp.
- 김여상, 박용안, 1988. 한국 서해 천수만 북동부에 발달한 제 4기 현세 조간대층 하위의 퇴적층의 간월도층 연구. 한국 제 4기 학회지 2:13-24
- 김백운, 1989. 한국서해 남양만 조간대 퇴적층의 퇴적구조. 석사학위논문, 서울대학교 96pp.
- 박용안 외, 1995. 한국 서해 남양만 조수 퇴적분지의 제 4기 퇴적층서와 부정합, 한국해양학회지, v.30, p.332-340.
- 장진호, 1995. 한국 서해 곰소만 조간대 퇴적작용. 박사학위논문 서울대학교 191pp.
- 최경식, 1994. 한국 서해 만경강-동진강 연근해역 해저 퇴적층의 퇴적학적 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 183pp.
- Berner, R.A., 1971. Principles of chemical sedimentology, McGraw-Hill, New York, 199-200.
- Lee, D.S., eds., 1987. Geology of Korea. Seoul Geological Society of Korea. 514.
- Straaten, L.M.J.U. van and Ph.H.Kuenen, 1957, Accumulation of fine-grained sediments in the Dutch Wadden Sea. Geologie en Mijnbouw, v.19, p329-354.

Received : November 20, 1995

Accepted : December 20, 1995