

## 낙동강 하구 점성토 지층의 층서와 퇴적환경

### Depositional Environments and Sequence Stratigraphy of estuary of the Nakdong River.

김성욱<sup>1)</sup>, Sung-Wook Kim, 이승원<sup>2)</sup>, Seung-Won Lee, 이정완<sup>3)</sup>, Jeong-Wan Lee, 조기영<sup>4)</sup>, Ki-Young Jo, 김윤태<sup>5)</sup>, Yun-Tae Kim, 김진섭<sup>6)</sup>, Jin-Seop Kim

<sup>1)</sup> 지반정보연구소, Dr. Geo-Information Research Group Co., Ltd.

<sup>2)</sup> 현대건설, Dr., Hyundai Development Institute of Construction Technology

<sup>3)</sup> 평원엔지니어링, Managing Director, Pyeong-won Engineering & Construction Co., Ltd

<sup>4)</sup> 부산광역시 도시개발공사, Dr., Busan Urban Development Co.

<sup>5)</sup> 부경대학교 해양공학과, Professor, Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National Univ.

<sup>6)</sup> 부산대학교 지질학과, Professor, Dept. of Geology, Pusan National Univ.

**SYNOPSIS** : Sedimentological, geochemical, geophysical and micropaleontological analyses of 10 borehole cores were carried out to understand depositional environment and sequence stratigraphy of late Quaternary sedimentation in the estuary of the Nakdong River. Holocene Formation in study area is classified into five sedimentary units. Early Holocene freshwater lower pebbly sandy deposit(Unit I), lower muddy deposit(Unit II), middle thin sandy deposit(Unit III), upper muddy deposit(Unit VI), and upper sandy deposit(Unit V), in ascending order controlled by global sea-level change since interglacial period(about 15,000 yrs B.P.). Unit I deposited in erosional environments before marine transgression. Unit II and Unit VI composed of clay were deposited in cold and warm currents for marine transgression., respectively.

**Key words** : Sequence stratigraphy, Sedimentary units

## 1. 서 론

신생대 제4기는 빙하기와 간빙기가 반복되어 기후 변화에 따른 해수면의 변동, 지형 변화 등의 다양한 환경적인 변화가 수반되었다. 환경 변화는 수계, 식생과 같이 공급되는 퇴적물에 직접적인 영향을 미치게 되며, 퇴적물의 다양한 특성은 제4기 환경을 추정하는데 효과적인 수단이 된다.

한반도의 서해, 남해안은 외해와 연결되는 조간대가 형성되어 있으며, 해안 및 연근해 퇴적쇄설물의 대부분 제4기 말 해수면 변동에 수반된 환경변화에 수반되어 형성되었다.

연구 지역에 해당하는 낙동강 하구 삼각주는 부산점으로 알려진 점성토 지층이 지역에 따라 20m에서 70m의 두께로 발달한다. 퇴적층은 상류에서 유입되는 토사가 퇴적되어 형성되었으며, 삼각주와 사주의 발달이 양호한 특징을 가지고 있다. 하구로 유입되는 토사는 연간 1,000만톤 이상으로 추정되며 하천, 조석, 파랑의 영향으로 전형적인 삼각주와 사주를 지속적으로 형성하고 있다.

이 연구는 낙동강 하구의 점성토 지층 분포지별(그림 1) 퇴적물의 광물 조성, 지화학 및 물리적 특성, 생물상에 기초하여 퇴적 단위를 구분하고, 지역별 퇴적단위의 대비를 통해 제4기 빙하기 이후 퇴적 환경의 변화에 대하여 고찰하고자 한다.

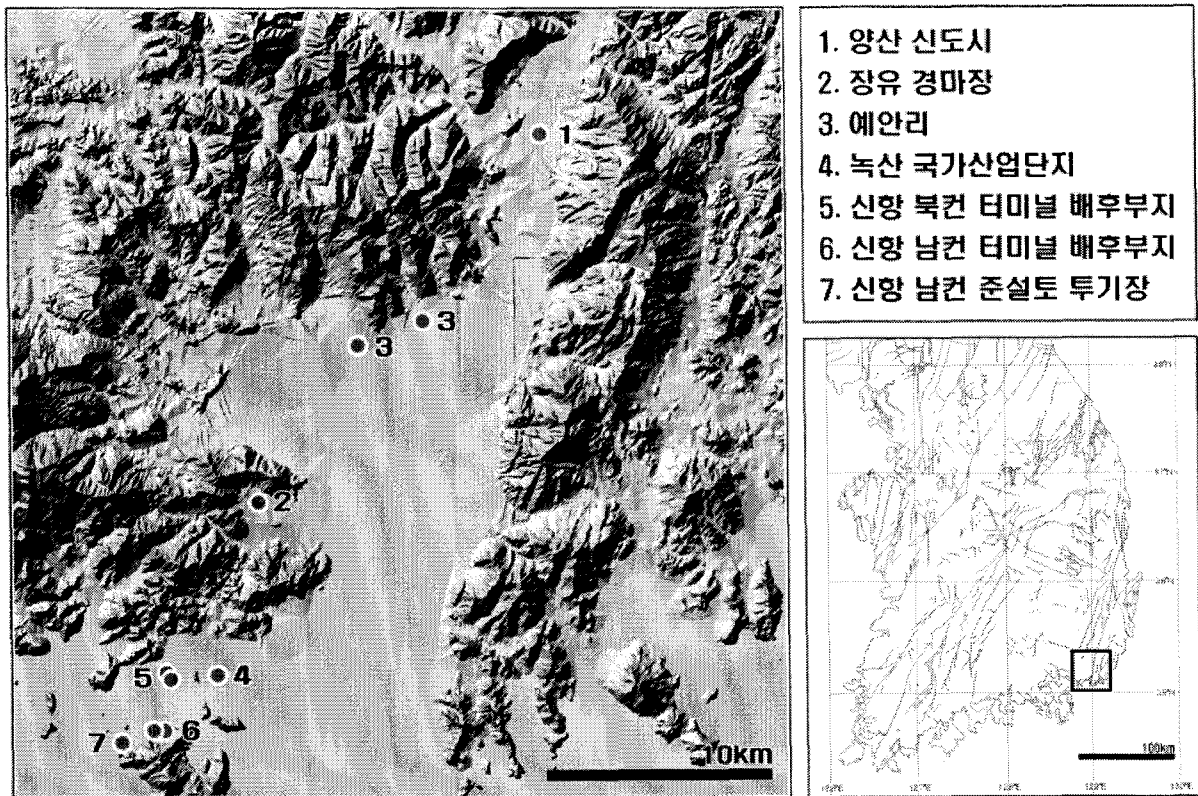


그림 1. 연구지역의 위치

## 2. 연구방법

낙동강 하구의 7개 지역(양산, 예안리, 장유, 녹산, 북컨테이너 배후부지, 남컨테이너 배후부지, 남컨테이너 준설토 투기장)에서 시료를 채취하였다. 이 중 양산, 장유, 북컨테이너 배후부지는 SPT 시료를 분석하였으며, 나머지는 지역은 기반암(풍화잔류토)까지 퇴적층에 대해 불교란 시료와 SPT 시료를 동시에 채취하여 분석하였다. 시료의 분석은 지층을 구성하는 조암광물과 점토광물의 종류와 함량비를 분석하였으며, 색, 입도, 퇴적구조, 대자율, 비저항 등의 물리적 특성과 양이온, 음이온 등의 지화학적 특성을 분석하여 퇴적단위를 구분하였다. 일부 지역의 시료는 미화석 관찰을 통해 퇴적환경의 변화를 제시하였다.

## 3. 연구결과

이 연구에서 지역별 퇴적층 시료의 상세한 분석 결과는 제외하였으며, 지역별 시추코어의 분석 결과를 정리하여 퇴적 단위의 구분과 이에 대응되는 퇴적환경을 대비하여 제시하였다.

### 3.1 해수면 변동

한반도의 서해와 남해 연근해 해역에서 조사된 해수면은 20,000년 이전에는 현재에 비해 약 -150m 정도에 위치하였으며, 이후 대륙 빙하의 소멸로 지속적으로 해수면이 상승하여 4000년을 전·후로 현재 해수면과 유사한 위치까지 상승한 것으로 알려져 있다(그림 2). 낙동강 조간대의 경우도 다른 해역과 유사하며, 10,000년 전 1번의 짧은 해수면 하강시간을 거쳐 6,000-4000년경에 지금의 해수면에 도달한 후 소규모의 승강운동이 반복되었으며, 퇴적층의 대부분은 해수면 상승기 동안 형성되었음을 알 수 있다.

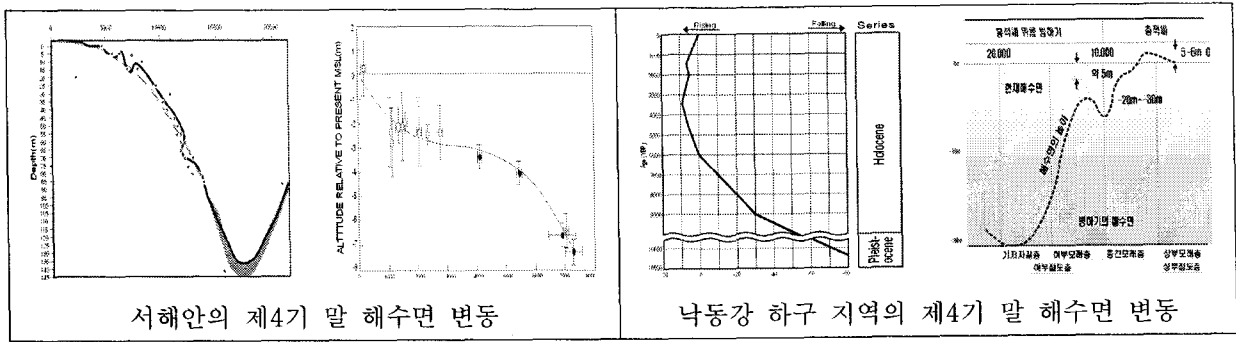


그림 2. 한반도 서해와 남해의 해수면 변동

### 3.2 낙동강 조간대 상부 및 중부 지역의 퇴적 단위: 양산, 장유, 예안리 지역

낙동강 삼각주의 상부와 중부에 속하는 양산과 장유지역은 SPT 시료의 입도와 비저항, 대자율로부터 퇴적단위를 구분하였으며, 하부로부터 하부 함력사질토층, 상부 점성토층, 상부 사질토층의 3개 지층으로 구분된다(그림 3). 상부 점성토층은 매우 일정한 비저항과 대자율을 보여주며, N-치가 5미만으로 연약지반에 해당한다. 낙동강 삼각주의 하부에 위치하는 녹산 가덕도 일원 퇴적층과 대비할 때 하부 점성토층과 중부 사질토층이 결층으로 나타난다.

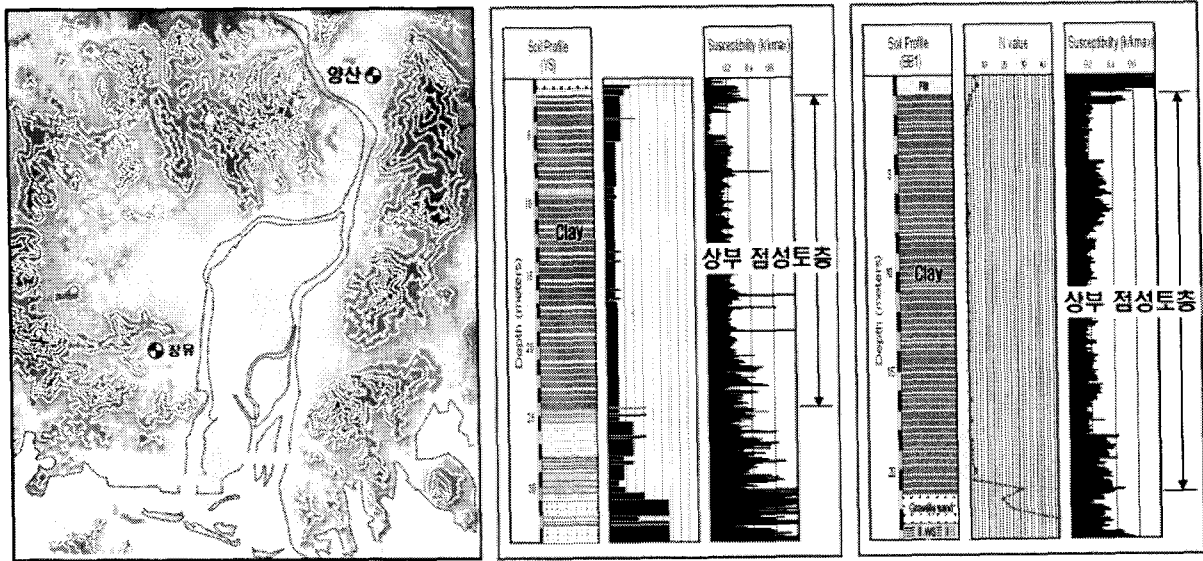


그림 3. 양산, 장유 지역 퇴적층의 물리적 특성

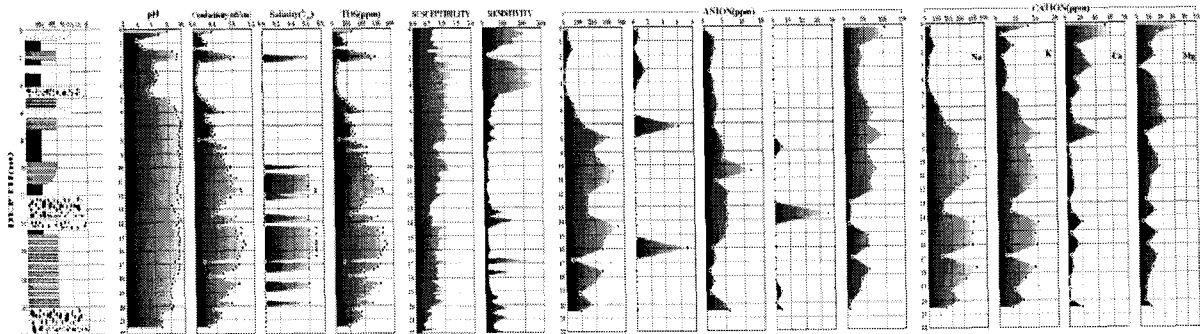


그림 4. 예안리 지역 퇴적층의 특성

예안리 지역은 양산 지역과 유사하게 하부 함력사질토층, 상부 점성토층, 상부 사질토층의 3개 지층으로 구성되며, 점토광물의 함량은 일라이트>녹니석>카올린광물>몬모릴로나이트의 순서로 한반도 연안 해양퇴적물의 광물조성과 동일한 분포를 보인다. 지화학적인 특성에서 하부 함력사질토층, 상부 사질토층은 해수의 영향을 받지 않은 육성퇴적층에 해당하며, 상부 점성토층은 pH, 염도, 양이온, 비저항등의 결과를 종합하면 해성환경에서 형성된 지층으로 구분된다(그림 4). 특히 상부점성토층은 두께가 수 m에 불과하고 점이층리 등의 퇴적구조는 해침의 최후기에 형성된 지층을 지시하며, 상부 사질토층은 해수면이 현재와 유사한 위치에 도달한 이후에 형성되었다.

### 3.3 낙동강 조간대 하부 지역의 퇴적 단위: 녹산, 용원, 가덕도 지역

녹산 지역 시료의 입도, 광물조성, 물리적 특성에 기초하여 퇴적층은 하부로부터 하부 함력사질토층, 하부 점성토층, 중부 사질토층, 상부 점성토층, 상부 사질토층의 5개 층으로 구분되며, 사질토층과 점성토층이 2회에 걸쳐 반복된다. 지층의 퇴적 당시의 고환경은 bay-offshore-bay의 환경으로 변화된 것으로 알려져 있으며, 환경의 변화는 퇴적기간 동안 지속된 해수면의 상승에 의한 영향으로 해석된다(그림 5).

녹산 지역에 인접한 용원지역 북컨테이너 배후분지 퇴적층은 녹산 지역과 동일한 층서를 보이며, 육지에 접한 지역(그림 6 BH-24)은 하부 점성토층, 중부 사질토층이 결층으로 나타난다. 하부 점성토 지층은 40m를 전후한 심도에서 발달하며, 녹산 지역 퇴적층의 고환경의 경계가 되는 심도와 동일하다. 하부 점성토층은 중부 사질토층에 의해 상부 점성토층과는 경계지워진다(그림 6). 상부 점성토층의 분포심도는 지역에 따라 상이하며, 최대 심도를 보이는 지역은 20m 내외의 심도에서 관찰된다.

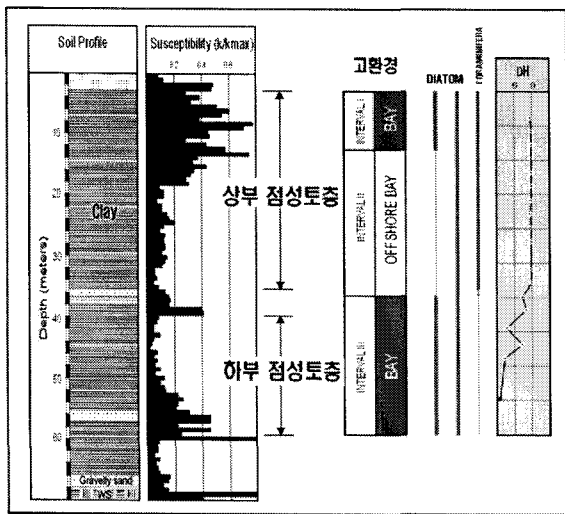


그림 5. 녹산 국가산업단지 퇴적층의 물리적 특성

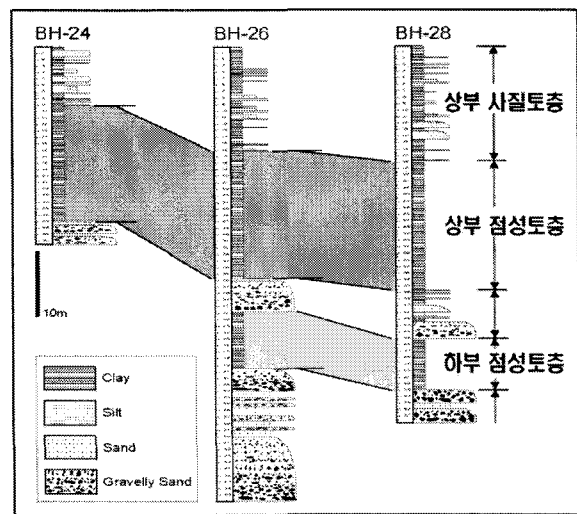


그림 6. 북컨테이너 터미널 배후부지의 퇴적단위

남컨테이너 배후분지 퇴적층은 녹산 지역과 같이 하부로부터 하부 함력사질토층, 하부 점성토층, 중부 사질토층, 상부 점성토층, 상부 사질토층의 5개 층으로 구분되며, 사질토층과 점성토층이 2회에 걸쳐 반복된다. 상부 점성토층은 관입시험에서 N-치가 거의 0에 가까운 반면 하부 점성토층은 상부에 비해 높은 지층 강도를 보인다.

지화학적인 특성과 분석 자료에 기초한 퇴적층의 형성 환경은 4개 환경으로 나누어진다. 최하부 함력 사질토는 무화석대로 육성환경-호성환경을 지시하며, 미화석의 분포로부터 해수면 상승초기의 한류의 유입이 활발했던 해성환경과 난류가 유입된 해성환경이 구분된다. 최상부는 담수의 영향을 받는 혼성환경에 해당한다. 하부 점성토층은 한류 유입 시기의 해성환경에 대비되며, 중부 사질토층과 상부 점성토층은 난류 유입 시기의 퇴적환경을 지시한다(그림 7).

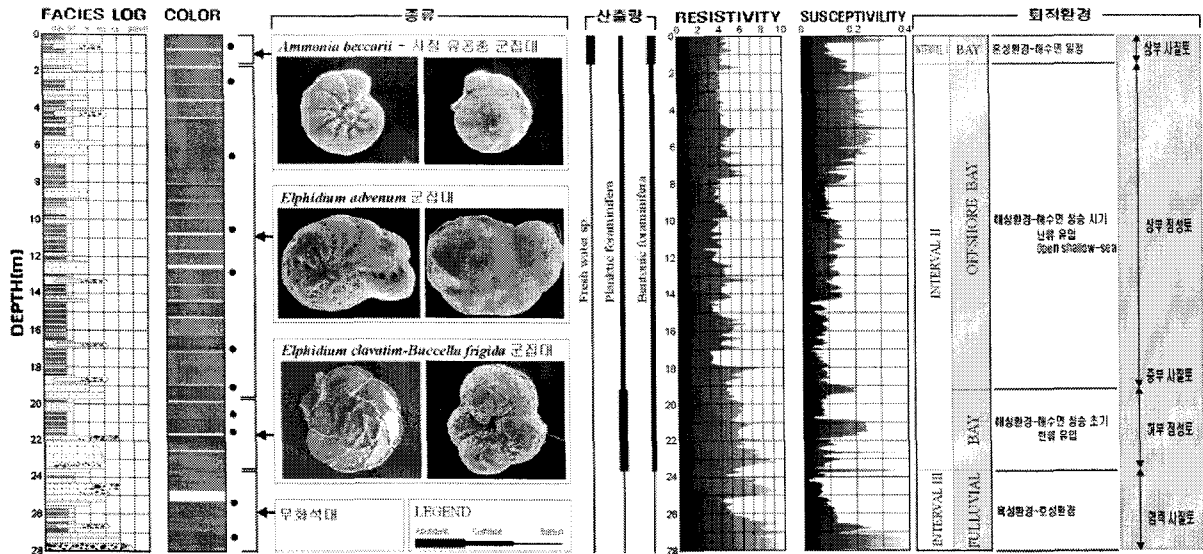


그림 7. 남컨테이너 배후부지 퇴적층의 퇴적단위

남컨테이너 준설토 투기장 퇴적층 시료에 대하여 육안관찰, 광물 조성, 지화학적, 물리적, 생물학적인 퇴적 환경 요인을 상호 비교하여 하부로부터 5개의 퇴적단위로 구분되며(그림 8), 육지(가덕도)에 인접한 지역은 하부 점성토층, 중부 사질토층이 결층으로 나타난다(그림 9). 이러한 퇴적단위는 녹산, 북컨테이너 터미널 배후부지 및 남컨테이너 터미널 배후부지와 유사한 결과를 보였다. 심도별로 지층을 구성하는 입자의 크기는 하부 함력사질토층>중부 사질토층>상부사질토층>하부 점성토층>상부점성토층의 순으로 구분되어 상부 지층으로 갈수록 세립화되는 경향을 지시한다. 하부 점성토층과 상부 점성토층은 광물 조성에 차이를 보이는데 녹니석과 스�멕타이트의 경우 상부 점성토층은 일정한 구성비를 보이는 반면 하부 점성토층은 심도가 증가함에 따라 감소하며, 카올린은 하부 점성토층에 증가하는 경향을 보인다.

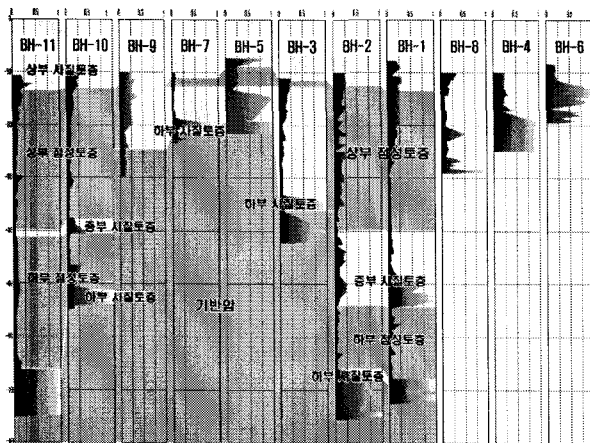


그림 8. 남컨 준설토 투기장 퇴적층의 주상도

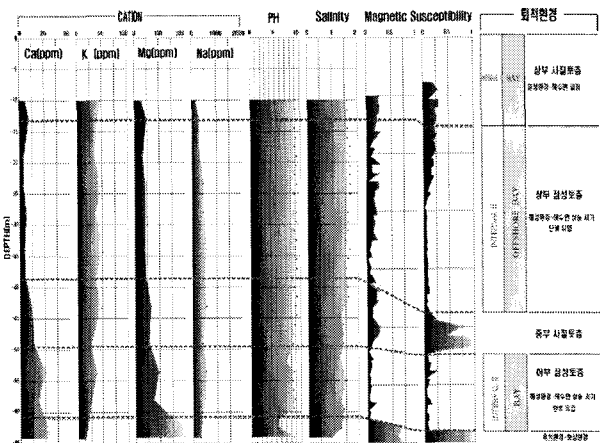


그림 9. 남컨 준설토 투기장 퇴적층의 퇴적단위

#### 4. 고찰 및 결론

후기 제4기 동안 하구의 퇴적 작용은 육상에서 유입되는 퇴적물과 해수면의 상대적인 위치에 따라 달라지며, 연구지역은 낙동강에서 기원된 육성기원 퇴적물이 해류와 조류의 영향에 의해 퇴적작용이 진행되고 있는 지역이다.

표 1. 퇴적층의 단위 및 환경

상부 사질토층	·분급이 양호한 사질토층	Bay, Fluvial	혼성환경
상부 점성토층	·점토의 구성비 20% 이상으로, 실트, 점토의 교호층 ·난류 퇴적층	Bay	혼성환경
중부 사질토층	·분급이 양호한 사질토층	Offshore bay	해성환경
하부 점성토층	·점토의 구성비 20% 이하이며, 실트, 모래의 구성비가 큰 교호층 ·한류 퇴적층으로 해수면의 빠른 상승기 동안 퇴적	Bay	해성환경
함력질 사질토층	·기저역암, 해침형 사질토	Fluvial	육성환경

낙동강 하구 퇴적층의 분석결과, 퇴적단위는 하부로부터 하부 함력사질토층, 하부 점성토층, 중부 사질토층, 상부 점성토층, 상부 사질토층으로 구분되며, 하구의 상부와 중부 지역은 하부 점성토층, 중부 사질토층이 결층으로 나타난다.

선행된 연구에 의하면 연구지역은 마지막 빙하기 동안 현재 해수면 대비 120m-130m 하강하였으며, 당시의 해안선은 남동 방향으로 6km 정도 이동한 것으로 알려져 있다. 이 경우 연구지역은 광범위한 침식환경에 노출된 지역에 해당되며, 침식과정에서 홀로세 퇴적층의 하부 경계면이 형성되었다.

약 15,000년을 전후로 저해수면 조건의 빙하기 끝나고 해침이 시작되었고, 해침의 초기에는 한류의 유입이 활발한 환경이 조성되었을 것으로 추정된다. 이후 해수의 온도는 해수면의 상승과 더불어 상승하였으며, 퇴적물의 공급에 비해 퇴적공간의 증가속도가 현저하게 빠른 환경에서 두꺼운 퇴적층을 형성하지 못하였고, 해수면의 승강 속도가 둔화되면서 퇴적물의 두께가 증가하였을 것으로 해석된다.

해수면 상승 속도의 둔화로 하부 점성토층과 상부 점성토층 사이 중부 사질토층에 해당하는 지층이 넓게 형성되었으며, 하부 점성토층에 비해 두꺼운 층후를 가지는 하부 점성토층이 퇴적되었다. 광물의 조성에서 상부 점성토층은 하부 점성토층에 비해 높은 점토의 구성비가 높고 퇴적물의 공급이 양호하여 사질과 점토가 교호하는 층리구조가 발달한다.

최상부의 상부 사질토층은 해수면이 현재와 유사한 위치에 도달한 이후 삼각주 환경에서 형성된 지층으로 사질과 점토질이 교호되며, 상향 세립화되는 퇴적구조가 관찰된다.

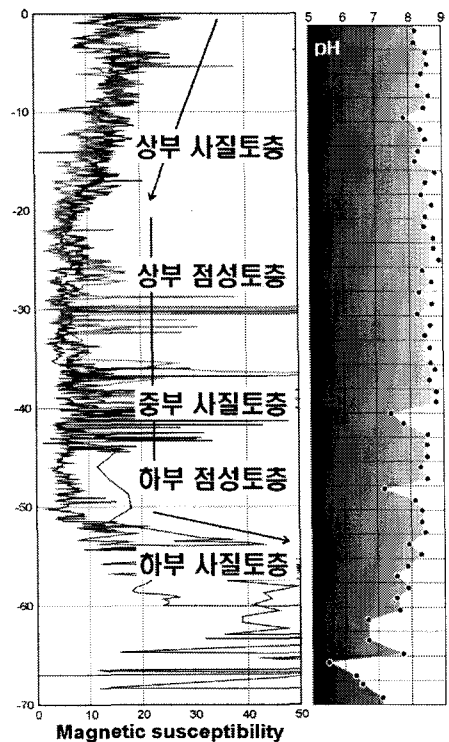


그림 10. 낙동강 하구 퇴적층의 층서