

## 부산점토의 특성: 가덕도 지역 조간대 퇴적물의 대자율

### The Properties of Pusan Clay : Magnetic Susceptibility of Deltaic sediments in Gadeok-do Area

김성욱<sup>1)</sup>, Sung-Wook Kim, 김인수<sup>2)</sup>, In-Soo, Kim, 이선갑<sup>3)</sup>, Sonkap Lee, 김무겸<sup>4)</sup>, Moo-Kyum Kim, 정성교<sup>5)</sup>, Seong-Gyo Chung

<sup>1)</sup> 지반정보연구소, Institute of Ground Information Co., Ltd.

<sup>2)</sup> 부산대학교 지질학과 교수, Professor, Dept. of Geology, Busan National Univ.

<sup>3)</sup> 지반정보연구소, Institute of Ground Information Co., Ltd.

<sup>4)</sup> 지반정보연구소, Institute of Ground Information Co., Ltd.

<sup>5)</sup> 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dong-A Univ

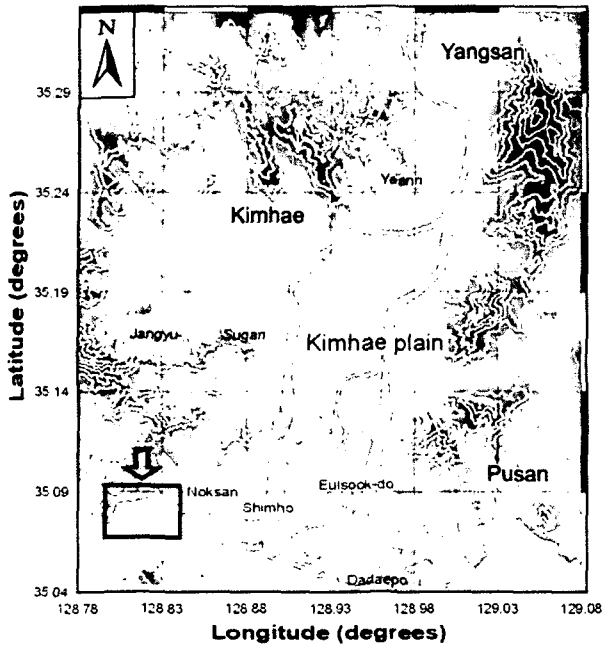
**SYNOPSIS** : This study was carried out to understand the stratigraphy and depositional environment of clayey soils that distributed in the Gadeok-do area, Kimhae plain (Nakdong estuary). For the study, SPT core sampling and magnetic susceptibility analysis were conducted. Soils in study area is classified into five sedimentary facies ascending order; sand/gravel, clay, sand/gravel, clay, interbedded sand and silty clay. Analysis of magnetic susceptibility for Gadeok-do clayey soil reveals that depositional process and environment can be divided into upper, middle and lower layer, and they are closely related to the sea level change since late Quaternary.

**Key words** : Clayey solis, Magnetic susceptibility, late Quaternary

## 1. 서 론

연구지역은 낙동강 하구 삼각주의 남서부 일원으로 하부 지반은 부산점토 (정성교 외, 2001)로 알려져 있으며, 미고결 점토의 함량이 높은 지층으로 구성되어 있다. 부산 점토는 개발사업과 관련하여 많은 토질조사가 수행되었으나, 현재까지 토질특성평가가 확실하지 않아 신뢰성 있고 정량적인 특질특성평가가 요구되고 있다. 한편 현생퇴적층의 연구는 제한적으로 획득되는 시추자료의 의존도가 높을 수밖에 없으므로 동일 시료에 대한 다양한 방편의 연구가 필요하다.

지구물리학의 연구 성과들은 과거 지질시대 동안 지구의 형성과 발전을 규명하는데 중요한 정보들을 제공하였으며, 퇴적분지의 연구 등에서 층서와 환경을 이해하는 수단으로 이용되고 있다. 연약지반의 연구에서 물리탐사와 같은 비파괴 조사방법들이 적용되고 있으며, 시추된 시료에 대해서도 지구물리학에 근거한 연구 방법 (김성욱 외, 2001, 2002)을 시도되고 있다. 그 동안 퇴적분지의 연구에서 수행된 지구물리학적 연구 방법들을 현생 퇴적층 연구에 적용함으로써 지층의 상호 대비와 퇴적 연대와 같은 중요한 정보를 제공할 수 있다. 최근의 연구 (Chung, 2002; Tanaka et al., 2001)에서 점토층을 포함하는 미고결 퇴적층의 물리, 역학적 성질은 지층을 구성하는 광물조성과 퇴적환경에 의한 것으로 이해되고 있는 추세다. 이러한 관점에서 이 연구의 자료들은 여러 연구에서 축적된 물리적, 화학적, 공학적 자료들과 연계하여 퇴적층의 형성과 발달과정에 따른 고환경 변화를 이해하는 자료가 된다.



S.P.T sampling sites

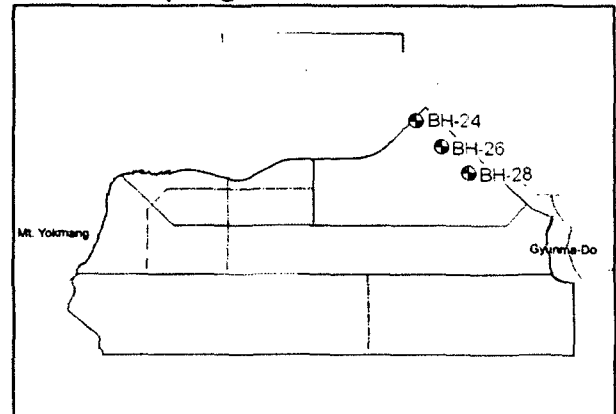


그림 1. 연구지역과 시료채취 위치

## 2. 연구방법

연구는 부산 신항 배후부지가 조성중인 가덕도 일원에서 채취한 시추코어에 대하여 층위별로 대자율을 측정하고, 지층의 분포 위치와 심도에 따른 대자율의 변화로써 지층 대비와 퇴적환경의 변화를 이해하기 위해 실시되었다.

물체에 외부자기장 (H)을 가하면 유도자기 (M)가 생성되며 그 관계는  $M = \kappa H$  로 표현된다. 여기서  $\kappa$  를 그 물체의 대자율 (magnetic susceptibility)이라 한다. 대자율은 암석이나 토양을 구성하는 자성광물의 종류와 형태에 따라 달라지며, 이러한 성질은 물체의 특성을 반영한다. 대자율의 분포를 측정함으로써 자성광물의 종류와 농집 및 분산의 정도를 파악할 수 있고 이 원리를 이용하여 암석과 토양의 광물학적 특성을 판단하거나, 하천이나 해저 퇴적물의 층서 연구, 고기후, 산업공해도, 시추코어의 기재와 대비 등에 이용되고 있다. 대자율의 측정은 부산 신항 배후부지 조성지역의 3개 지점 (BH-24, BH-26, BH-28)에서 표준관입시험용 샘플러로 코어시료를 채취하여 측정하였다 (그림 2). 대자율은 5cm 간격으로 측정하였으며, 측정지점에 대한 육안적인 특징을 기재하여 퇴적 주상도를 작성하였다. 측정은 Bartington Instruments (영국)의 MS2 Magnetic susceptibility system과 Geofyzika의 KT-6 Kappameter를 사용하였다.

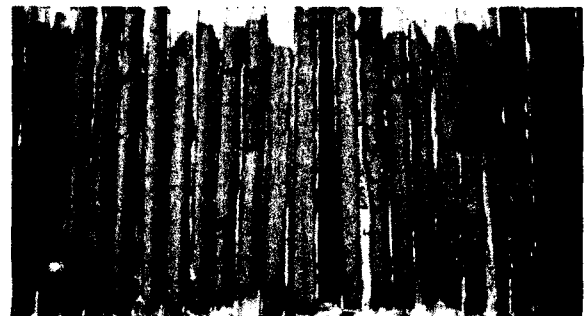


그림 2. 채취된 코어 시료

## 3. 연구결과

시료채취를 위한 시추 (BH-24, BH-26, BH-28)는 육지에서 해안 방향으로 실시되었다 (그림 1). 채취된 원통형 시료의 단면의 특징을 기재하여 퇴적주상도를 작성하였다 (그림 3). 그림은 각 시추공 사이의 층서적 대비를 보여주는데, 하부로부터 모래-자갈층 (A), 하부 점토층 (B), 모래-자갈층 (C), 상부 점토층 (D), 모래-

점토 호층대 (E)로 구분된다. 하부의 자갈-모래층은 분급이 불량하며 상부 모래-점토의 호층대 (A층)는 9~18m까지의 심도까지 분포하며 육지에서 멀어질수록 지층의 두께가 증가한다. 상부 점토층 (D)의 경우 BH-24에서 BH-26으로 갈수록 지층의 층후가 증가하며 BH-26에서 BH-28사이에서 지층은 일정한 두께를 가진 수평 퇴적층을 지시한다. 육지쪽에 인접한 BH-24에서 하부 모래-자갈층 (A)과 점토층 (B)이 분포하지 않는 것을 볼 수 있다. BH-24 시추지점에서 하부 점토층의 부재는 기반암의 얇은 분포심도에 의한 것으로 추정되는데, 연구지역 동부의 녹산지역 시추자료 (이선갑 외, 2003)에서 남-북 방향으로 기반암의 분포심도는 일정한 반면 동-서 방향으로 기반암의 기복 변화를 잘 보여준다.

그림 4 ~ 그림 6은 각 시추 시료에서 측정된 층위별 대자율을 나타낸 것이다. BH-24 지점의 대자율에서 20m의 심도까지 대자율은 점진적으로 감소한다. 이 구간 중 상부 모래-점토의 호층대 (0~10m)에서 대자율은 증감을 반복하는데 이는 구성 물질의 입도 차이에 의한 것으로 판단되며, 비교적 균질한 입도를 가지는 점토층 (10~20m)에서 지속적으로 감소하는 경향이 뚜렷하다. 20~40m 구간 지층에서 점토층은 일정한 범위의 대자율로 일정하며 대자율의 변화는 입도에 비례한다 (그림 4). BH-26 지점은 0~20m심도까지 대자율이

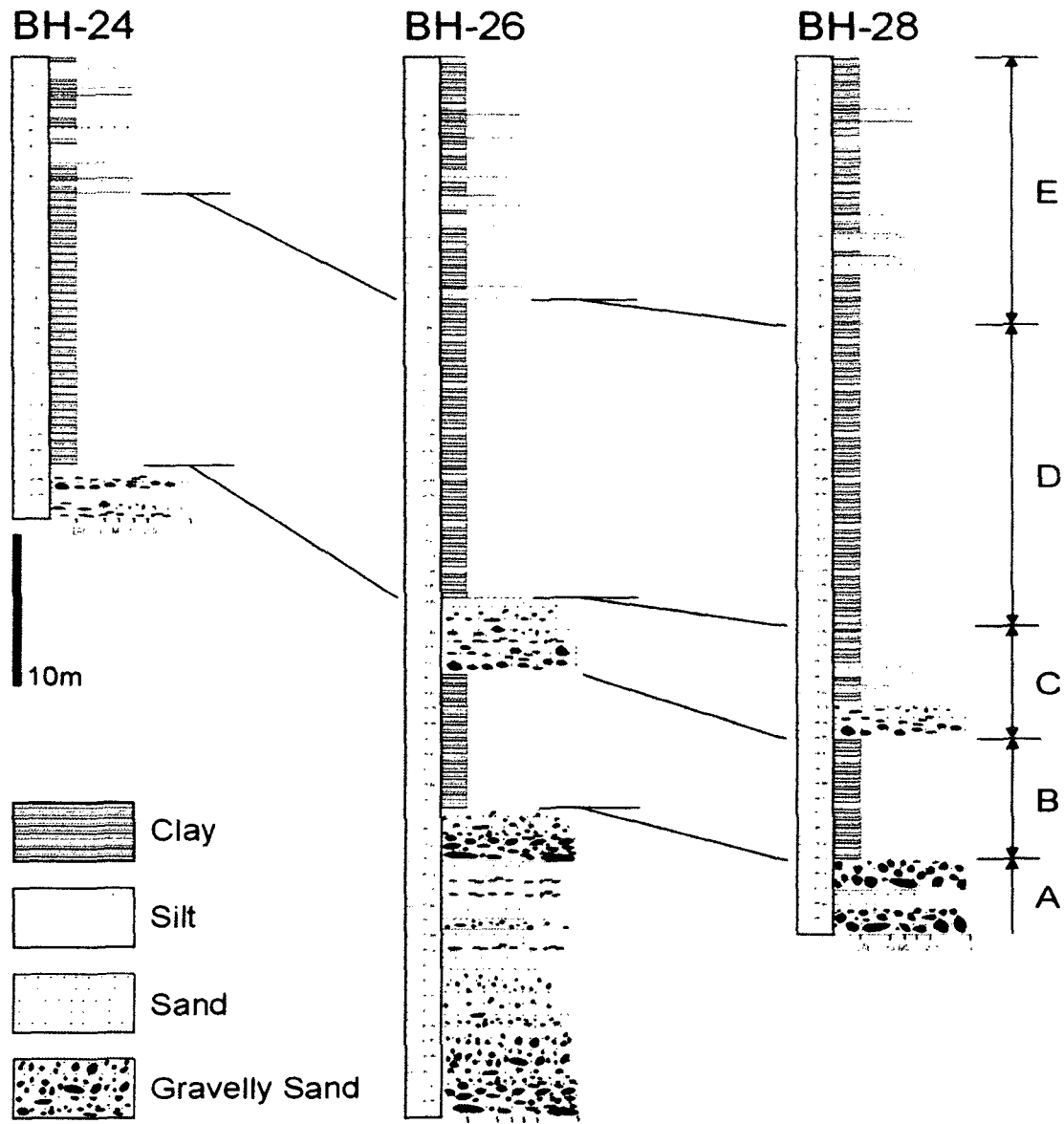


그림 3. 가덕도 지역 시추공 단면의 주상도

점진적으로 감소하며 모래, 실트, 점토가 반복되는 구간에서 대자율의 변화가 관찰된다. 20~40m 구간의 대자율은 10이하로 일정하다. 40m 심도를 전후로 하여 관찰되는 대자율 변화는 지층 구성물의 변화에 따른 것이며, 40m이하부터 70m까지 지층의 대자율은 심도가 증가함에 따라 대자율도 증가한다 (그림 5). BH-28 지점의 대자율 측정 결과는 BH-26와 동일하다. 0~20m심도까지 대자율은 감소하는 경향을 보이며, 특히 점토층만을 대비할 때 대자율의 심도가 증가함에 따라 선형의 감소를 보여준다. 20~35m의 심도까지 지층은 점토층으로 대자율은 변화가 거의 나타나지 않는 일정한 값을 보여준다. 즉 이 구간에서 퇴적된 점토층의 구성물질은 동일한 퇴적물로 구성되어 있음을 지시한다. 35~45m심도의 대자율은 입도에 비례하여 증감이 반복되며 45m이하의 심도에 분포하는 점토층은 상부 점토에 비해 높은 대자율을 보이며 심도가 비례하여 대자율이 증가한다. 하부 점토층에서 대자율의 증가는 BH-26지점의 시료에 비해 뚜렷하다 (그림 6).

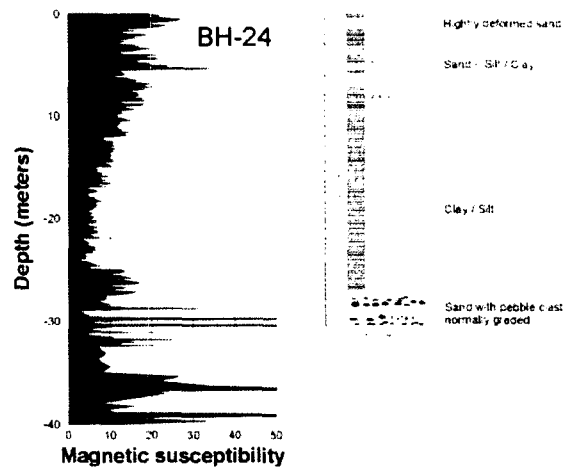


그림 4. BH-24 시료의 대자율 변화

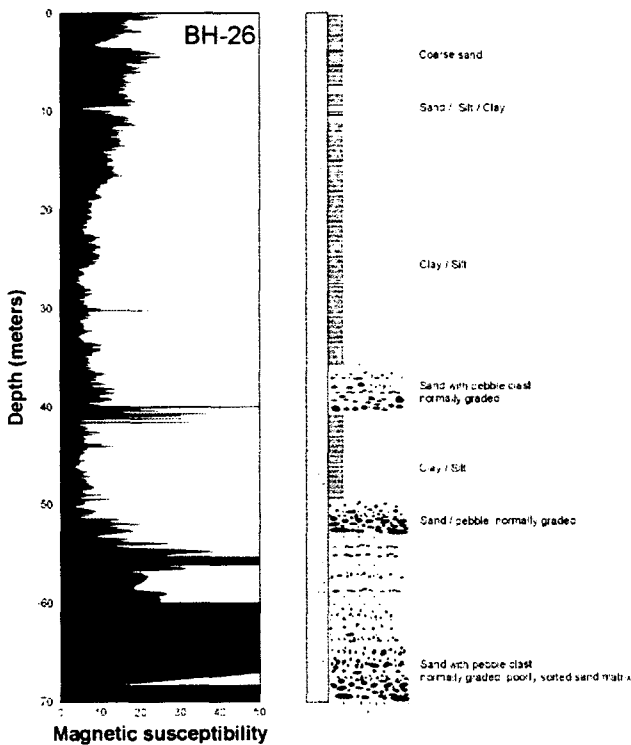


그림 5. BH-26 시료의 대자율 변화

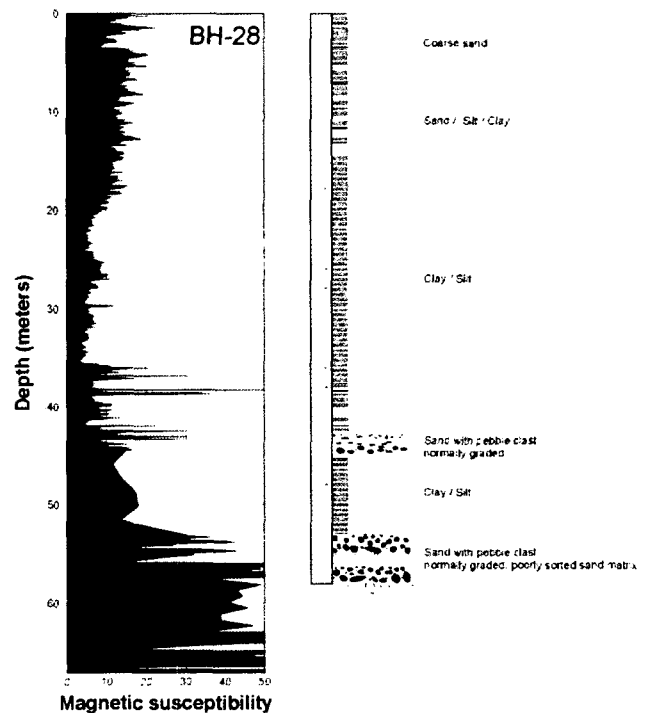


그림 6. BH-28 시료의 대자율 변화

기반암의 심도가 같은 BH-26과 BH-28의 주상도와 대자율 분포로부터 지층의 상호 대비가 가능하며 신항배후부지 조성지역의 중앙부의 코어시료에서 측정된 대자율도 이 연구와 같은 경향의 대자율분포를 보여주었다 (김성욱 외, 2002). 그림 7은 이 연구의 측정결과를 종합한 것으로 대자율은 20m 심도까지 점진적으로 감소하는데, 동일한 점토층을 대비할 때 심도에 따른 대자율의 감소는 보다 뚜렷하다. 20~40m 구간에서 점토층의 대자율은 10이하로 일정한 크기를 가진다. 40~50m 구간에 분포하는 하부 점토층의 점토층의 대자율은 BH-26과 BH-28지점에서 다소 상이하며 45m이상부터 심도가 증가함에 따라 대자율은 증가한다. 0~20m의 상부와 40m이하의 점토층에서 심도의 증가에 따라 상반되는 대자율의 증

깊은 실트 및 모래 퇴적층에서도 공통적으로 나타나는 현상이다. 퇴적층의 상 (facies)은 퇴적이 이루는 지는 퇴적 위치와 환경에 따라 다양한 형태로 나타나며, 지층의 시간층서는 반드시 수평의 경계면을 가지지 않는다. 반면 해수면의 승강 (eustatic sea level change)과 같은 환경변화는 천해에 퇴적된 지층에 대해 직간접적으로 퇴적물의 특성에 영향을 주게되며, 지층의 이차적인 특성 변화는 해수면과 같이 수평으로 작용하게 될 것이다. 그러므로 지층이 퇴적된 후 작용한 환경 변화의 영향은 같은 높이에 위치한 지층을 대상으로 고려되는 것이 타당하다. 이 연구에서 같은 구성을 가진 지층에서 심도에 따라 증가 내지 감소되는 대자율도 이러한 견지에서 해석되어야 할 것이다.

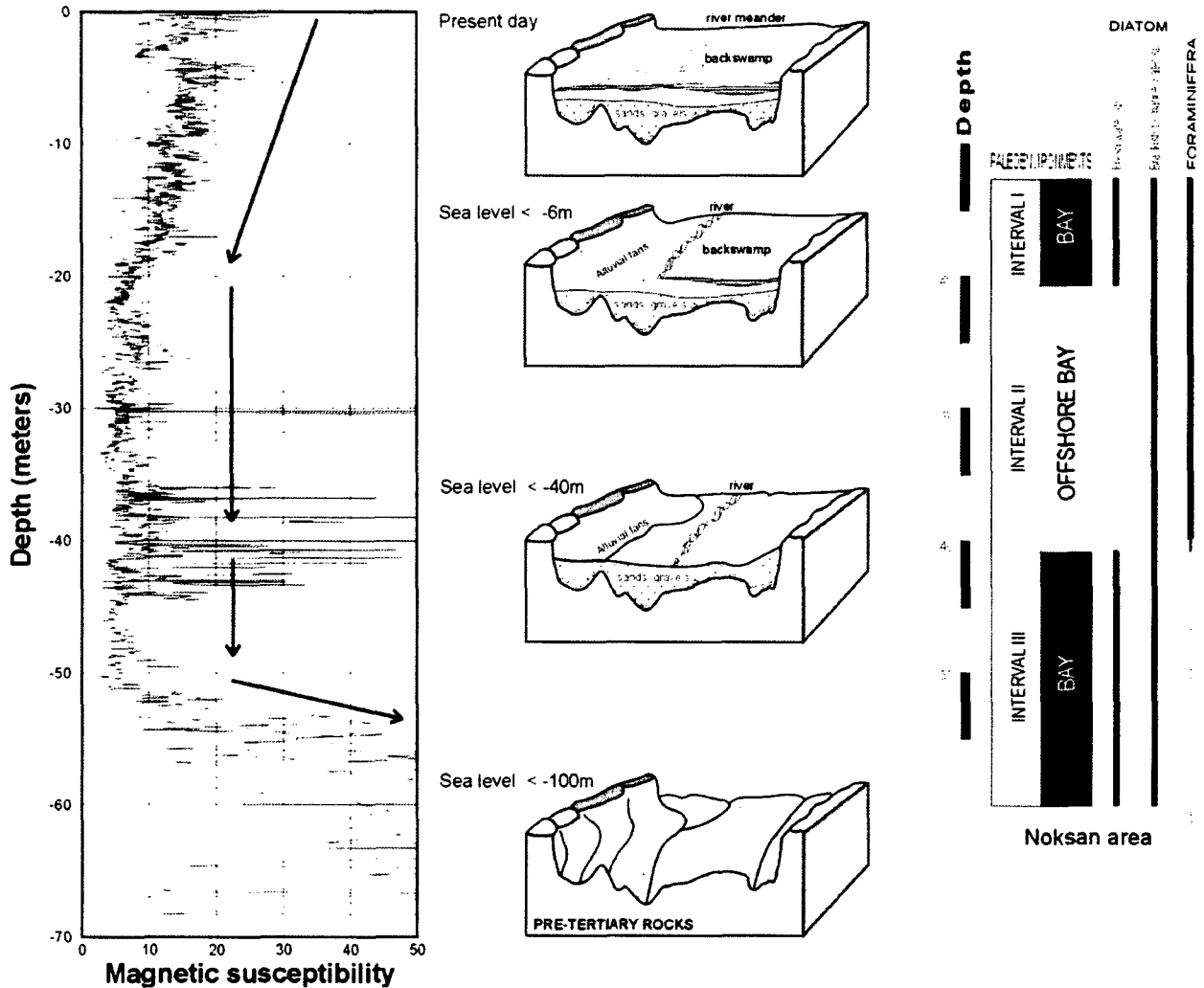


그림 7. 가덕도 지역 시추코어의 대자율과 녹산지역 퇴적층의 고환경

지금까지 가덕도 일월의 퇴적물에 대한 고환경에 대한 연구는 미미하며 연구지역과 인접한 녹산지역의 코어시료를 통한 미화석과 점토광물의 동정 (이선갑, 1999; Kang, et. al., 2000)으로 밝혀진 퇴적환경 연구는 하부로부터 bay-offshore-bay의 환경으로 변화된 것으로 알려져 있다. 이와 같은 환경의 변화는 해수면 상승에 의한 것으로 해석되는 것이 일반적인 견해이다. 이 연구결과 중 동일지층에서 대자율의 변화가 나타나는 20m와 40m 지점은 녹산지역 고환경 연구에서 퇴적환경의 변화가 나타나는 지점들과 일치한다. Bay 퇴적환경에서 대자율은 층위에 따라 크기의 변화가 심한 반면 비교적 깊은 수심에서 퇴적된 지층들은 일정한 대자율을 가진다. 대자율의 변화가 심한 층위는 육성 내지 천해 환경으로 단기적인 환경의 변화에 민감했던 반면 비교적 수심이 깊은 곳에서 형성된 지층들은 퇴적 동안 환경 변화를 거의 받지 않아 동일한 대자율을 가지는 것으로 추정된다.

필자들은 연구지역에 분포하는 퇴적층을 대상으로 공학적, 물리적, 화학적 특성을 규명하기 위한 연구를 수행 중이며 아울러 지층의 층서와 연대 자료를 획득하여 포괄적인 퇴적시스템에 대한 해석을 하고자한다. 이 연구에서 제시되는 내용은 퇴적층의 물리적 특성에 기초한 시추 시료의 심도별 대자율 분포에 대한 내용으로 제한되고 있으며 추후 단계적으로 다른 방면의 연구와 상관 해석된 결과를 제시할 것이다.

#### 4. 결론

낙동강 조간대 퇴적층 형성과 발달 과정에 대한 연구의 중의 하나로 부산신항 배후부지에 분포하는 현생 퇴적층에 대한 대자율 분석을 실시하였다. 퇴적층은 하부로부터 모래-자갈층, 하부 점토층, 모래-자갈층, 상부 점토층, 모래-점토 호층대로 구분된다. 상부의 모래-자갈층의 두께는 시추 위치에 따라 변화가 심한데 육지에서 멀어질수록 증가한다. 층위별 대자율은 입도에 비례하여 증가한다. 같은 입도 구성을 가지는 지층에서 대자율은 3회에 걸쳐 변화가 나타나는데 0~20m 까지는 심도가 증가함에 따라 대자율은 감소하며 20~40m 구간에서 대자율은 일정한 값을 보여준다. 40m 이상의 심도에서 대자율은 심도에 비례하여 증가한다. 대자율의 변화가 나타나는 심도는 주변 지역에서 수행된 고환경 연구의 결과와 일치하는 것으로 대자율의 변화는 퇴적환경의 차이에 의한 것으로 해석된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김성욱, 정성교, 김인수(2002), “부산점토의 특성: 전기비저항과 대자율”, ISSMGE ATC-7 Symposium, p. 53-58
2. 이선갑, 김성욱, 황진연, 정성교(2003), “녹산구가공단지역 점토 퇴적물의 광물조성과 토질공학적 특성” 한국지구과학회 2003년도 춘계학술발표회 논문집, p. 45-50.
3. 정성교,곽정민, 김규종, 백승훈(2001), “부산점토의 지반공학적 특성”, 2001년도 ISSMGE ATC-7 Symposium, p. 27-41
4. Chung, S. G.(2002), “Engineering geology and index properties of Pusan clay”, ISSMGE ATC-7 Symposium, p. 5-29
5. Kang, S., Lee, Y. G., Bae, B. Y., Lee, J. W. and Yoon, S.(2000), “The Holocene environmental change of the estuary of Nagdong River, southern Korea”, Laguna, no. 7, 15-21.
6. Tanaka, H., Locat, J., Shibuya, S., Soon, T. T., Shiwakoti, D. R.(2001), “Characterization of Singapore, Bangkok, and Arikae clays”, Canadian Geotechnical Journal, 38, p.378-400.