

가스함유퇴적물에서의 음파전달속도 및 전기비저항 특성: 한국남동해역 이토대 퇴적물의 분석결과

서영교* · 김대철¹ · 박수철²

부경대학교 해양과학공동연구소

¹부경대학교 환경탐사공학과, ²충남대학교 해양학과

Characteristics of Velocity and Electrical Resistivity in Gassy Sediments: Results of Mudbelt Sediments in the Southeastern Inner Shelf of Korea

YOUNG KYO SEO*, DAE CHOUL KIM AND SOO CHUL PARK²

Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹*Department of Environmental Exploration Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

²*Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

한국 남동해역 내대륙붕 음향혼탁층이 잘 발달된 이토대(mudbelt) 퇴적물의 음파전달속도와 전기비저항에 대해 연구하기 위하여 총 9개 정점에서 피스톤시추기를 이용하여 해저퇴적물을 채취하였다. 각 코어별 10 cm 깊이로 퇴적물의 음파전달속도, 전기비저항, 공극률 및 전밀도를 측정하였고 연엑스선 촬영을 통해 퇴적구조를 관찰하였다. 연구지역의 해저지층은 고해상도 해저지층탐사기를 이용하여 조사하였다. 고해상도 해저지층탐사결과 음향혼탁층의 분포를 알 수 있었으며, 코어시료의 연엑스선분석 결과 가스에 의해 형성된 균열구조(degassing structure)를 확인 할 수 있었다. 코어시료의 내부구조, 음파전달속도, 전기비저항 및 물성 값을 토대로 연구지역 퇴적물을 가스함유퇴적물(gassy sediment)과 무가스함유퇴적물(non-gassy sediment)로 구분하였다. 퇴적물의 깊이에 따른 속도, 전기비저항, 공극률 및 전밀도 차이는 퇴적물 조직과 관련된 퇴적구조에 영향을 받으며, 가스의 함유유무와 그에 수반되는 균열구조에 의해 음파전달속도와 전기비저항 값이 큰 차이를 나타냈다. 이들 자료의 수직적인 단면도와 상관관계를 통해 연구지역에서는 가스함유 유무에 따라 음파전달속도와 전기비저항 값이 크게 반응하며 이중 음파전달속도가 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

Compressional wave velocity and electrical resistivity of muddy sediments in the southeastern inner shelf of Korea were studied using nine piston core samples. The acoustic and physical properties were measured with 10 cm depth interval. Sediment structures were examined by x-radiographs of the cored sediments. Subbottom profiles were obtained by a high-resolution acoustic subbottom profiler. Acoustic turbid layers are clearly seen on the profiles, and x-radiographs of the sediments showed degassing structures formed by gas escaping. On the basis of x-radiographic images, velocities, electrical resistivities and physical properties, the sediments are divided into gassy and non-gassy sediments. The presence of gas and degassing structures result in a marked variation in velocity and electrical resistivity. It can be concluded that velocity and electrical resistivity are parameter to recognize gassy sediment. The velocity is important parameter to indicate gassy sediment.

서 론

해양퇴적물에 대한 전기비저항과 물성 및 음향학적 성질 연구의 중요성은 심해저시추기(Deep Sea Drilling Project: DSDP)와 해저지각굴착프로그램(Ocean Drilling Program: ODP)에 의해 획득된 코어와 자료들이 혼해짐에 따라 증가되었다(Boyce, 1980, 1981; Kim, 1986; Kim and Kim, 1988; Kim and Lee, 1988; O'Brien, 1990; Kim and Manghnani, 1992). Schoonmaker *et al.*(1985)은

심해 원양성퇴적물의 음향학적, 물리적, 전기적 성질간의 상관관계를 밝혀내기도 하였다. 이들 물성간의 상관관계에 관한 연구로 해양퇴적물의 전기적 성질이 속성단계를 결정짓는 유용한 변수로 사용되어질 수 있음이 제시되기도 하였다(Kim, 1986; Kim and Kim, 1988; Kim and Lee, 1988; O'Brien, 1990; Kim and Manghnani, 1992).

한반도 주변 해양퇴적물에 대한 물성과 음향학적 성질에 관한 연구는 80년대 후반부터 꾸준히 이루어지고 있다(김과 석, 1985; 김, 1989; 김과 김, 1991; Kim *et al.*, 1992; 김 등, 1994; 성, 1994; 김 등, 1996; Kim, 1998; Kim and Kim, 1998; Kim *et al.*, 1999; 서와 김, 1999; 김 등, 1999; 김 등, 2000). 이러한 연구들은 해역

*Corresponding author: seoyk@mail1.pknu.ac.kr

에 따른 퇴적물의 음향학적 특성과 물성의 변화와 두 모수간의 상관성을 이해하는데 많은 도움을 주었다.

이에 비해 해양퇴적물의 전기비저항에 대한 연구는 아직 본격적으로 이루어지지 않고 있다. 암석이나 퇴적물의 전기비저항은 이들 물질의 공극구조 특성을 인지할 수 있는 좋은 인자로서 특히 포화된 해양퇴적물의 전기전도도는 주로 공극수에 의해 결정되고 부차적으로 구성입자의 특성에 영향을 받는다. 공극수의 전기전도도는 온도, 압력, 염분도의 함수(Winsauer and McCardell, 1953)일 뿐만 아니라 퇴적물의 공극구조(pore geometry)에도 매우 중요한 요인으로 여겨지고 있다.

가스를 함유한 해양퇴적물의 경우 가스방울의 존재가 음파전달 속도 및 감쇠에 지대한 영향을 미친다. 이토층의 경우 1% 미만의 소량의 가스함유에도 10% 이상의 음파전달속도 감소를 가져 오기도 한다(Wilkens and Richardson, 1998). 퇴적물의 조직, 조성이 유사할 경우 전기비저항에 영향을 미치는 기작이 음파전달속도의 그것과 유사하기 때문에 DSDP나 ODP 코어에 대하여 양자간의 상관관계에 대한 해석이 몇 차례 시도되기는 하였으나(O'Brien, 1990; Kim and Manghnani, 1992) 시추시료 획득문제의 어려움 등으로 현생퇴적물에 대한 시도는 드물었다. 따라서 본 연구는 음향혼탁층이 존재하는 한반도 남동해역 내대륙붕내 이토대지역 가스함유퇴적물의 음파전달속도, 전밀도, 공극율 그리고 전기비저항에 대한 측정결과를 제시하고, 이들간의 상관관계를 밝히는데 그 목적이 있다.

연구지역

연구해역은 동해남부 연안역에 위치하며 보다 남쪽의 대한해협에 인접하고 있으며, 북쪽으로는 구룡포에 인접하여 있다(Fig. 1). 또한 이 지역은 한반도 주변(주로 낙동강)에서 기원한 홀로세 니질퇴적물들이 부산앞 연안에서부터 해안을 따라서 대상으로 발달하여 이토대를 이루고 있다(박 등, 1987; 최와 박, 1993, 최 등, 1997; Park *et al.*, 1999). 이러한 니질퇴적물들의 이동은 주로 조류와 동해로 흐르는 대마난류에 의해 크게 지배를 받는다. 북동-남서방향의 해안선과 평행하게 등수심선이 발달하며, 남쪽으로는 비교적 평탄한 해저지형을 이룬다. 외해지역은 많은 부분이 사질의 잔류퇴적물에 의해 덮혀 있다(Park and Choi, 1986; Park and Yoo, 1992; 김 등, 1996, 1999; Park *et al.*, 1999).

연안지역에서의 창조류는 서-남서방향으로, 낙조류는 동-북동방향으로 흐르며 조류의 최대속도는 100 cm/s 이상이다(Korea Hydrographic Office, 1982). 한반도 남동해역에는 한국연안수, 대마난류수, 북한한류수, 동해고유수 등의 수괴가 존재하고, 본 연구지역의 북부지역은 국지적으로 연안용승이 나타나고 그에 따른 냉수대가 분포한다(이 등, 1998). 고해상 탄성과 탐사를 이용한 최근의 연구결과(최 등, 1997; Park *et al.*, 1999)에 따르면, 깊이 차이는 있으나 대부분 지역에서 음향혼탁층이 존재하는 것으로 알려져 있다.

재료 및 방법

연구지역의 음향혼탁층의 분포양상을 파악하기 위해 부경대학교 탐사선 탐양호에 탑재된 고해상도 해저지층탐사기(Chirp Acoustic

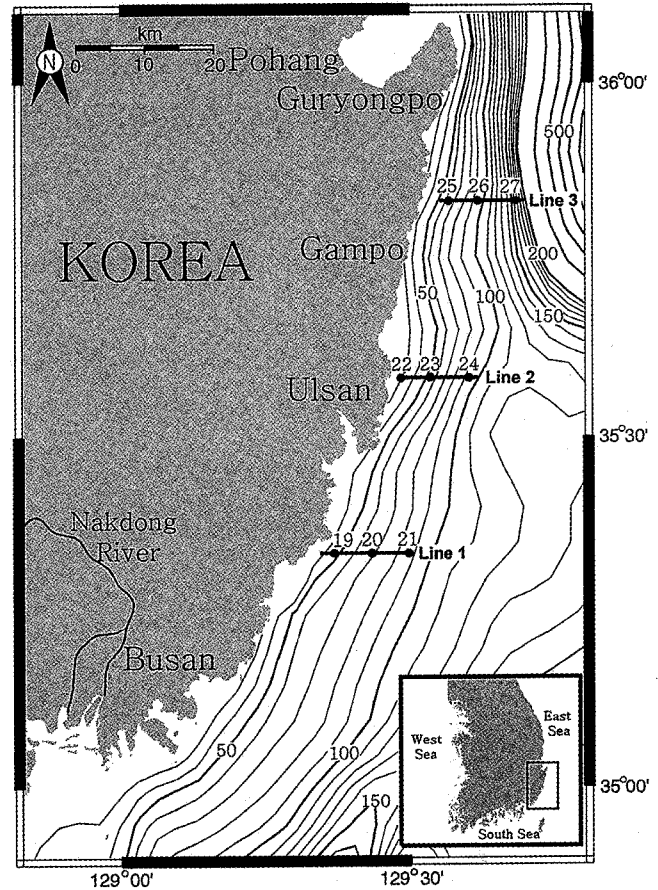


Fig. 1. Bathymetry of the study area and piston core locations. Dots with numbers indicate the coring positions and solid lines indicate chirp sonar track lines. Contours in meters.

Subbottom Profiler; Datasonics; CAP-6000W)를 이용하여 3개의 관측선에서 단면도를 획득하였고, 연구지역 이토대 퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질에 관한 연구를 위하여 총 9개 지점에서 피스톤 시추기(liner length: 4 m)로 코어시료를 채취하였다(Fig. 1).

채취된 코어시료에 대하여 코어를 양분한 후 퇴적물의 음파전달속도, 전기비저항, 전밀도 및 공극율을 일정한 깊이별(10 cm 간격)로 측정하였다. 퇴적물의 퇴적구조를 관찰하기 위해 길이 20 cm, 폭 5 cm, 두께 1 cm의 슬랩(slab)을 이용하여 변형되지 않은 슬랩시료를 제작하고 연엑스선 촬영을 하였다. 연엑스선 분석을 위한 슬랩시료는 곧바로 밀봉하여 퇴적물의 건조로 인한 퇴적구조의 변형을 방지하였다. 슬랩시료는 각 깊이별로 연속적으로 만들어졌으며, 연엑스선기기(Soft X-ray; SOFTEX M-1005 Soft X-ray)의 촬영조건은 전압 60 kVp, 전류 3~4 mA, 노출시간 60초였다. 사진 원판과 인화된 사진을 관찰하여 수직적인 조직 및 퇴적구조의 변화를 분석하였다.

퇴적물의 음파전달속도는 수은기동 방법(Mercury Delay Line Method; Birch, 1960; 김, 1989)을 이용하였으며, 수은기동에는 1 MHz Barium Titanate Transducer를 시료에는 동일주파수의 PZT-4 Transducer를 사용하였다. 각 시료별로 수평성분과 수직성분 속도를 측정하여 평균값을 택하였다.

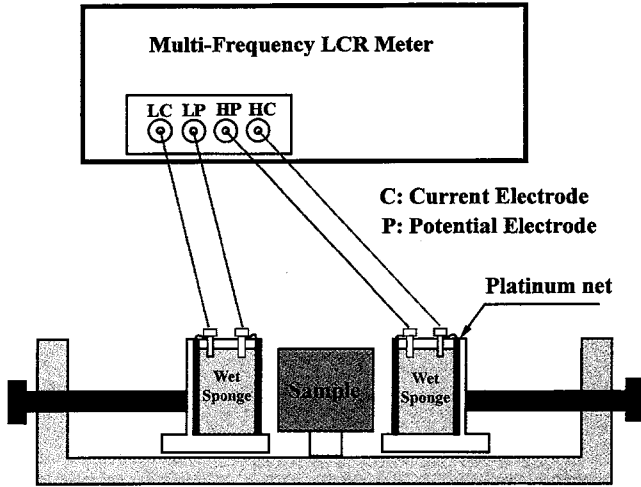


Fig. 2. A schematic diagram of electrical resistivity measurement system.

공극율과 전밀도는 밀도측정기(Micromeritics: Multivolume pycnometer 1305)를 이용하여 김 등(1999, 2000)의 방법에 따라 부피를 계산한 후, Boyce(1976)의 식에 의해 산출하였다.

일반적으로 해양퇴적물에 대한 전기비저항은 Olhoeft(1980)에 의해 제안된 전기화학적 분극(electrochemical polarization) 효과를 감소시키는 잇점이 있는 4전극법을 응용하여 측정한다. 본 연구에 사용되어진 전기비저항 측정장치의 구성은 크게 두 부분으로 나누어진다(Fig. 2). 한부분은 전기적인 흐름을 제어하여 전류, 전압, 저항값을 수치화된 값으로 나타내주는 LCR meter(Multi-Frequency LCR Meter Model: HP 4274A)와 LCR meter로 부터 전선을 통해 유입된 전류가 시료에 접합된 백금판을 통해 흐르면서 나타나는 전위차를 이용하여 전기비저항을 측정하는 부분으로 양분할 수 있다. 전기비저항 측정을 위해 정육면체(2 cm×2 cm×2 cm)의 sample holder를 사용하여 시료의 변형이나 교란이 일어나지 않도록 유의하였다. 시료의 마주보는 면이 백금판에 완전히 접합될 수 있도록 표준해수(34.89%)에 적신 종이와이퍼(Yuhan-kimberly: Kimwipes)를 이용하였다. 측정조건은 시료에 주어지는 0.2 volt 전압을 고정시키고 주파수를 100, 120, 400, 1000, 2000 및 4000 Hz로 변화시키면서 수평 및 수직방향의 전기비저항값을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 주파수는 자료의 신뢰성이 가장 높게 나타난 400 Hz 자료를 이용하였다. 측정시의 실내온도는 23°C를 유지하였다.

결과 및 고찰

본 연구지역에서 획득한 퇴적물은 고해상 지층탐사 단면도의 해석, 연엑스선 사진을 통한 조직 및 퇴적구조 분석결과, 음파전달속도자료, 전기비저항, 공극율 및 전밀도 등의 물성측정 자료를 바탕으로 크게 두 종류로 분류하였다. 즉, 정점 23의 110 cm 이하와 정점 25의 90 cm 이하 깊이의 퇴적물은 가스함유퇴적물(gassy sediment)로 그 이외의 퇴적물을 무가스함유퇴적물(non-gassy sediment)구분하였다.

고해상도 탄성파단면과 연엑스선 사진해석

연구지역에서 고해상 지층탐사기를 이용해 획득한 단면도상에서 그 특징이 이미 보고된 바 있는(최 등, 1997) 플라이스토세 퇴적층, 침식부정합면 그리고 그 위를 덮고 있는 홀로세 퇴적층을 구분할 수 있었다(Fig. 3). 상부 홀로세 퇴적층내에 존재하는 음향혼탁층은 관측선에 따라서 심도가 해저면까지 올라온 높이가 서로 다르게 나타나는 특징을 보여주고 있다. 특히 해저면에 가장 근접한 음향혼탁층이 나타나는 관측선 2번의 정점 23과 관측선 3번의 정점 25에서 획득한 코어시료는 회수시 다량의 기포가 시추기 하부에서 발생하는 것을 육안으로 관찰할 수 있었다. 정점 22와 26의 경우 음향혼탁층이 해저면 하부 5 m 이하에 존재하고 정점 19, 20의 경우 음향혼탁층의 발달이 미약하게 나타났다.

연엑스선 사진 자료 분석 결과 연구지역 대부분의 정점에서 특별한 퇴적구조가 관찰되지 않는 균질한 퇴적층(homogeneous sediment), 뚜렷한 평행 엽리(parallel lamination), 희미한 엽리(faintly lamination), 생교란 작용(bioturbation), 껍각 파편(shell fragment) 함유, 가스의 유출로 인해 생긴 균열구조(degassing crack) 등 크게 6가지의 특징적인 구조가 나타난다(Figs. 4 and 5). 특히 코어 회수시 음향혼탁층까지 이르렀던 정점 23과 25는 시추깊이 약 1 m 이하에서는 균열구조가 특징적으로 잘 나타난다.

음향혼탁층은 퇴적물내에 존재하는 유기물의 산화에 의한 메탄가스로 인해 음파가 투과하지 못하고 산란되어 형성되며, 퇴적물내에 가스가 1% 미만일 경우에도 생길 수 있다(Fannin, 1980). 지금까지의 연구에 의하면 유기물함량이 낙동강 하구쪽 보다는 연구해역의 니질퇴적물에서 더 높게 나타나며, 이는 하절기동안 부는 남풍에 의해 울산부근의 울기와 감포 사이의 해역에서 연안 용승이 발생하고 그에 따른 일차 생산력의 증가에 기인하고 있다(Lee, 1993; Lee and Na, 1985; Park et al., 1999).

음파전달속도, 전기비저항, 공극율 및 전밀도의 수직적인 변화

회수된 9개 정점에서 회수된 코어에 대하여 10 cm 간격으로 측정된 음파전달속도, 전기비저항, 공극율 및 전밀도의 단면도를 작성하였다(Figs. 6, 7 and 8). 음파전달속도와 전기비저항의 경우 수직과 수평방향에서 측정된 자료를 평균한 값을 이용하였다(Table 1).

일반적으로 해양퇴적물의 음파전달속도와 전기비저항은 광물성분이나 조직, 기타 물리적인 성질에 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. 이 물질 중 공극율이 각종 매개변수 중에서 가장 적은 오차를 가지고 속도를 예측할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Hamilton, 1970; Anderson, 1974; Hamilton and Bachman, 1982). 공극율은 또한 해양퇴적물의 전기비저항에 대한 중요한 변수의 하나로 여겨지고 있다(Winsauer et al., 1952; Boyce, 1968).

관측선 1번에 위치한 정점 19, 20, 21의 경우 전체적으로 음파전달속도, 전기비저항, 전밀도 및 공극율 모두 수직적으로 큰 변화를 보이지 않으며 정점간에도 각 측정값의 큰 차이를 보이지 않는다(Fig. 6). 특히 음파전달속도의 경우 세 정점 모두에서 수직적인 변화가 전기비저항이나 공극율보다 훨씬 미약하게 나타난다. 전기비저항의 경우 정점 19에서는 해저면하 깊이 140 cm까지 소폭의 증가양상을 보이다가 약간 감소하는 양상을 볼 수 있고, 정점 20, 21의 경우 깊이에 따라 약간 증가하는 양상을 보이지만 절대값의 차이는 크지 않다. 공극율의 경우 정점 19의 90 cm와 정

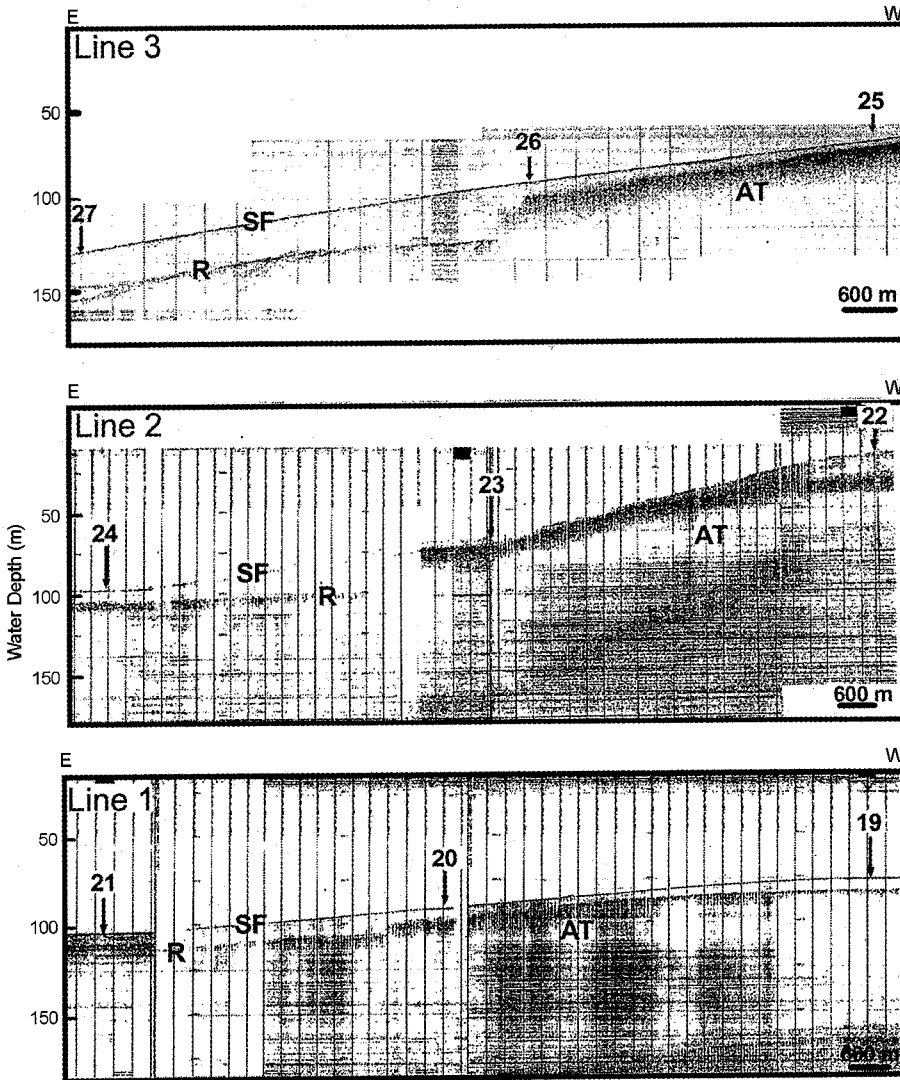


Fig. 3. Chirp sonar profiles in the study area. AT: Acoustic Turbidity, SF: Sea Floor, R: Reflector. Numbers are positions of cores.

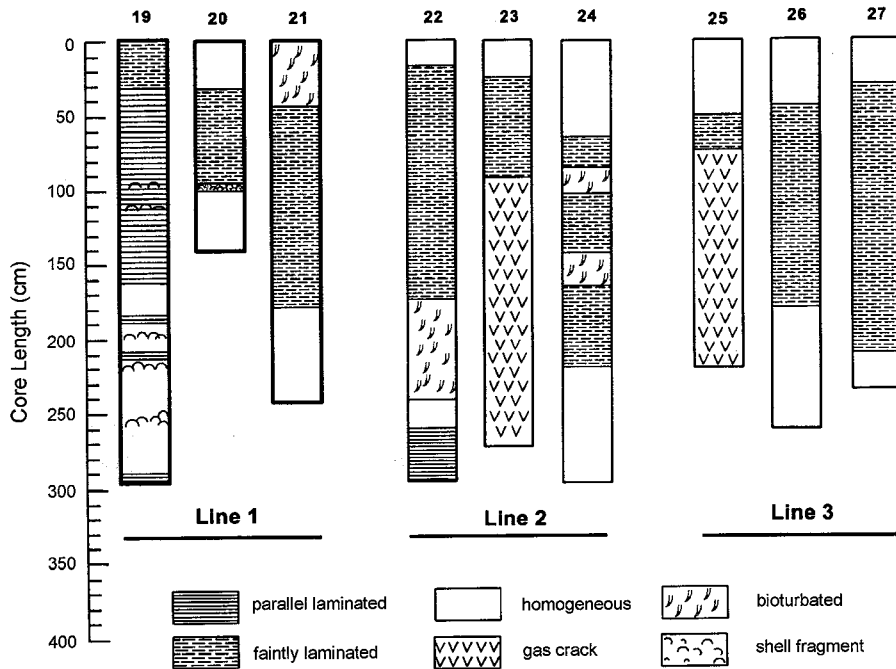


Fig. 4. Sedimentary structures by soft x-ray photograph images.

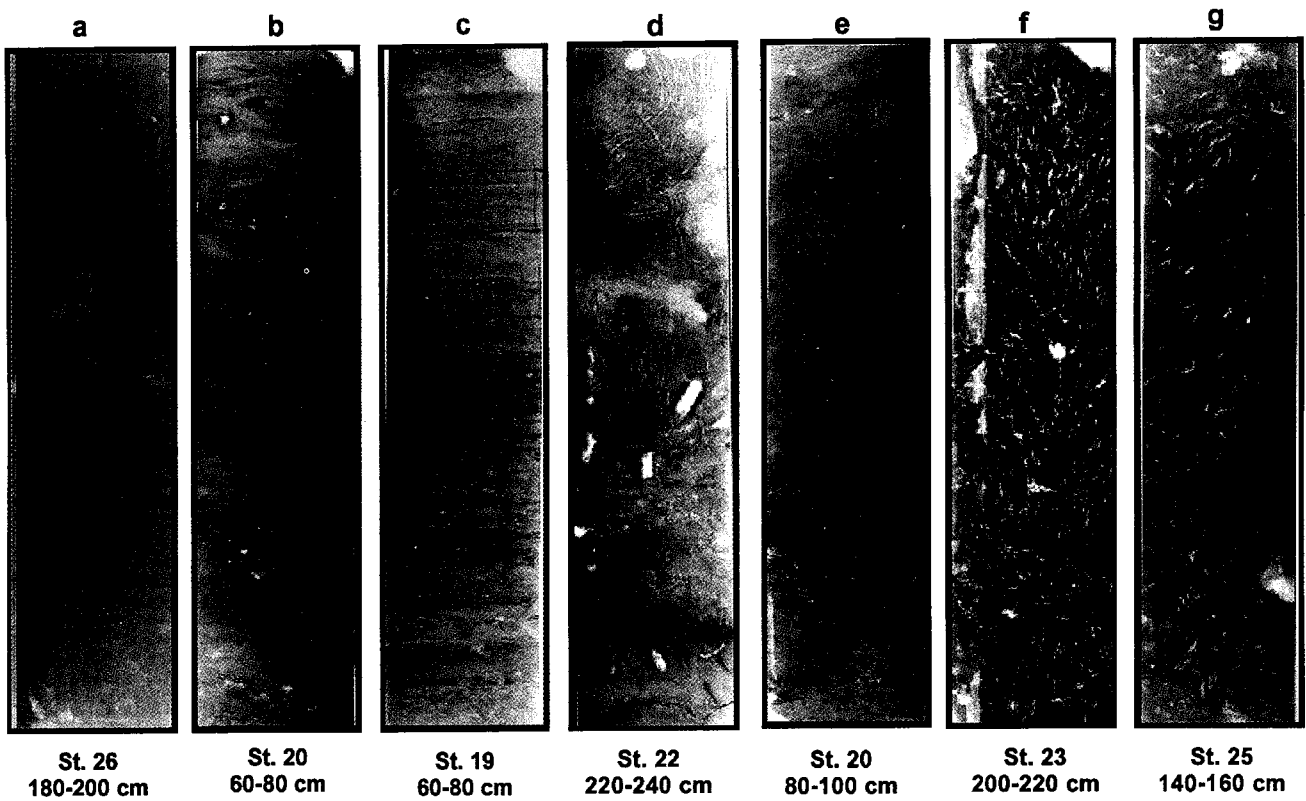


Fig. 5. X-ray photograph images. a: homogeneous; b: faintly laminated; c: parallel laminated; d: bioturbated, e: indistinctly laminated and shell fragment; f and g: degassing crack.

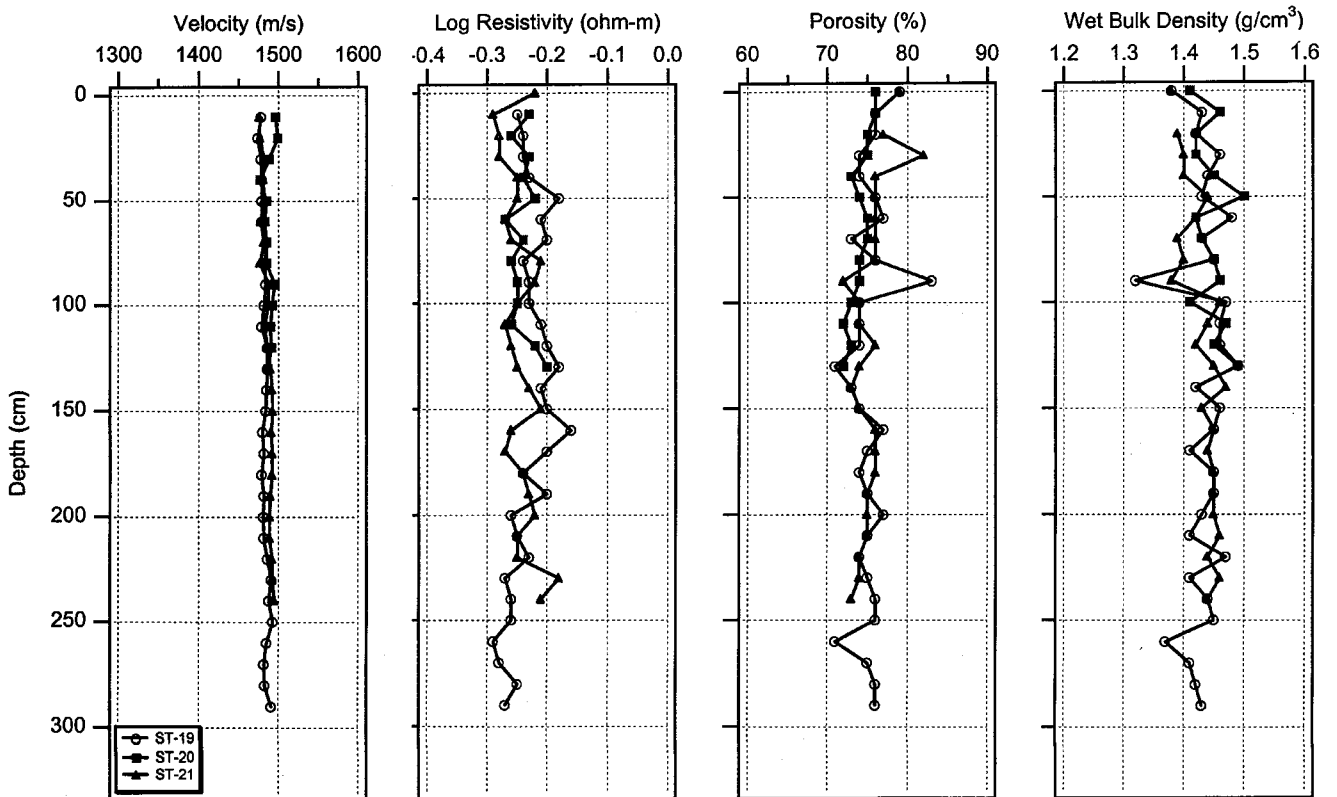


Fig. 6. Vertical profiles of velocity, log resistivity, porosity, and wet bulk density at Stations 19, 20, and 21. Refer to Fig. 1 for the location.

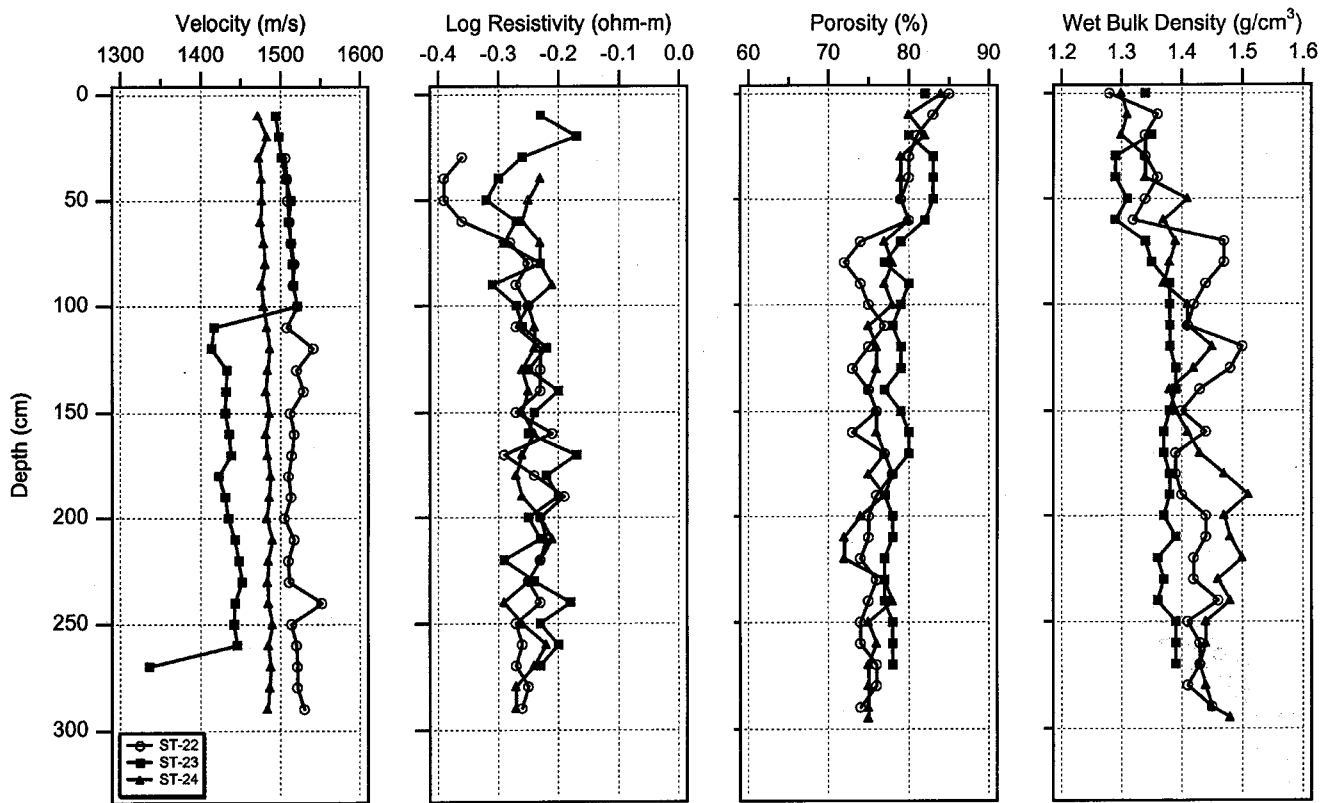


Fig. 7. Vertical profiles of velocity, log resistivity, porosity, and wet bulk density at Stations 22, 23, and 24. Refer to Fig. 1 for the location. Note that the velocity of Station 23 is abruptly dropped at 110 cm subbottom depth.

점 21의 30 cm 깊이를 제외하고는 10% 이내의 변화를 보이고 있다. 전체적인 양상은 퇴적층 하부로 갈수록 약간 감소한다. 전밀도는 90 cm와 260 cm 깊이를 제외하고는 1.40~1.50 g/cm³의 값을 보인다.

관측선 2번의 경우 관측선 1번과는 달리 정점별로 각 측정값이 다르게 나타나는 특징을 볼 수 있다(Fig. 7). 음파전달속도의 경우 퇴적구조의 변화가 심하고, 사질퇴적물의 함량이 높은 정점 22번에서 전체적으로 높게 나타나며 120, 240 cm 깊이에서 1530 m/s 이상의 값을 보이고 있다. 정점 23번의 경우 100 cm 전후 깊이까지 정점 22와 유사한 양상을 보이다가 가스함유로 인해 균열구조가 나타나는 깊이에서 급격한 속도의 감소가 나타난다. 가스함유 퇴적물로 인한 속도의 급격한 변화양상은 다른해역(Yuan *et al.*, 1992; Wilkens and Richardson, 1998)에서 보고된 바 있으나 국내에서는 최초이다. 정점 24는 평균속도 1483 m/s로 깊이에 따른 값의 변화는 미미하다. 전기비저항의 경우 속도측정값이 높게 나타나는 정점 22에서 해저면하 깊이 80 cm까지 급격히 증가하며 그 이하에서는 측정치의 수직적인 변화가 거의 없다. 정점 23에서는 10~50 cm 구간에서 큰 폭의 측정값 감소가 관찰되고 50 cm 이하 균열구조가 나타나는 깊이에서는 전체적으로 하부로 갈수록 증가하는 양상을 볼 수 있다. 수직적인 음파전달속도의 변화가 적었던 정점 24에서는 전기비저항값 역시 정점 22, 23에 비해 수직적으로 매우 미약한 변화를 보인다. 공극율의 경우 정점 22, 23, 24 모두에서 깊이가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있다. 정

점 22에서는 사질퇴적물의 함량이 높게 나타나는 70 cm보다 상부에서는 높게, 그 하부에서는 낮게 나타난다. 정점 23의 경우 균열구조가 나타나는 깊이에서 음파전달속도나 전기비저항과는 달리 공극율의 변화는 거의 없다. 전밀도의 경우 사질퇴적물의 함량이 높은 정점 22에서 깊이에 따라 변화가 커지는 양상을 볼 수 있다. 정점 23의 경우 100 cm 하부에서는 거의 일정하나, 그 상부로 가면서 약간 증가한다(Fig. 7).

관측선 3번의 정점 26, 27의 음파전달속도와 공극율, 전밀도 그리고 일부 깊이를 제외한 전기비저항의 수직적인 값의 변화양상은 관측선 1번과 유사하며 단지 절대값에서만 약간의 차이를 보이고 있다(Fig. 8). 정점 23번처럼 균열구조가 나타나는 정점 25에서는 깊이 100 cm를 경계로 속도값과 전기비저항값이 다른 정점과 뚜렷한 차이를 보인다(Table 1).

한국주변 현생니질퇴적물의 음파전달속도, 공극율 등에 관한 수직변화에 대하여는 여러차례 보고된 바 있다(성, 1994; Kim, 1998; Kim and Kim, 1998; Kim *et al.*, 1999, 김 등, 1999; 김 등, 2000). 이들 연구에 의하면 해저면하 3~4 m 깊이 이내에서의 음파전달속도는 매질의 조직에 의해 주로 좌우되며 매질이 균질할 경우 약간의 다짐작용으로 공극율이 감소하고 전밀도가 증가하는 것이 일반적인 현상으로 결론짓고 있다. 그러나 본 연구 지역의 경우 가스함유에 의한 영향으로 깊이에 따른 속도변화가 조직 값 및 다짐작용에 의한 영향보다도 훨씬 큰 값의 변화를 보이는 특징을 보인다.

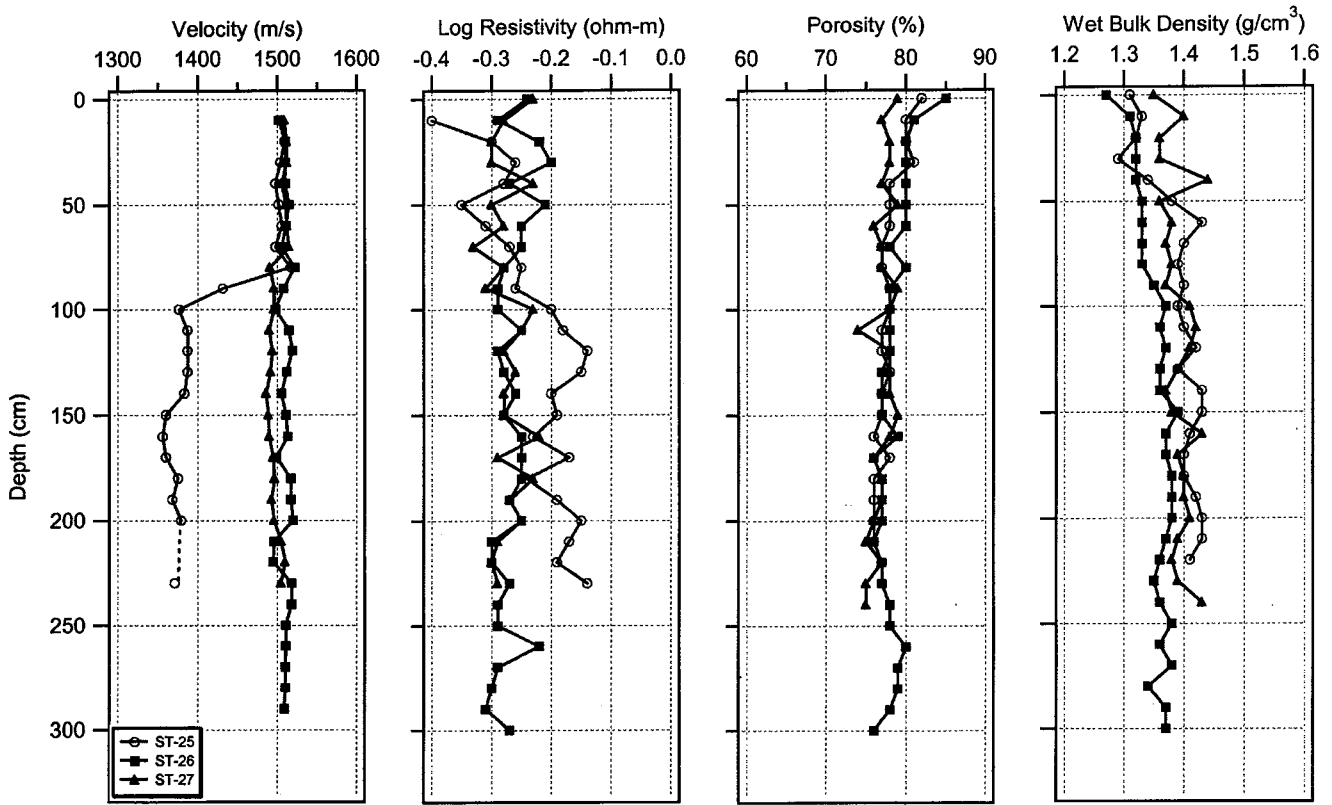


Fig. 8. Vertical profiles of velocity, log resistivity, porosity, and wet bulk density Stations 25, 26, and 27. Refer to Fig. 1 for the location. Note that the velocity of Station 25 is abruptly decreased at 90 cm subbottom depth.

Table 1. Average values of velocity, log resistivity, porosity, and wet bulk density for all cores. Values for Stations 23 and 25 are the average of gassy sediment only.

| Station No. | Velocity (m/s) | Electrical Resistivity (ohm-m) | Porosity (%) | Density (g/cm ³) |
|-------------|----------------|--------------------------------|--------------|------------------------------|
| 19 | 1483 | 0.59 | 75 | 1.43 |
| 20 | 1489 | 0.57 | 74 | 1.45 |
| 21 | 1487 | 0.57 | 75 | 1.43 |
| 22 | 1517 | 0.54 | 76 | 1.41 |
| 23 | 1429 | 0.59 | 78 | 1.38 |
| 24 | 1483 | 0.56 | 77 | 1.41 |
| 25 | 1379 | 0.66 | 77 | 1.41 |
| 26 | 1510 | 0.54 | 78 | 1.35 |
| 27 | 1500 | 0.54 | 77 | 1.39 |

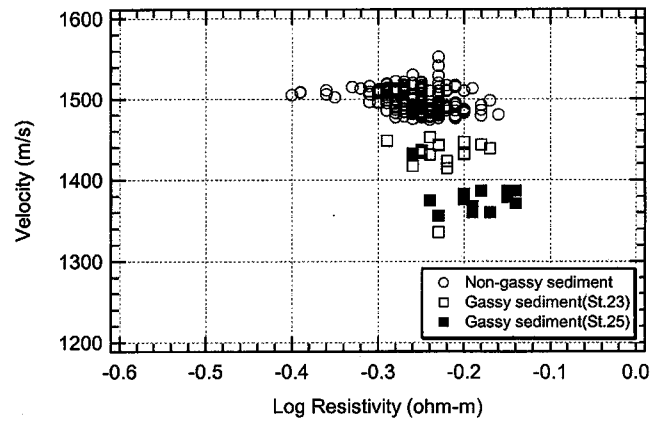


Fig. 9. Velocity versus log resistivity.

전기비저항과 음파전달속도의 상관관계

일반적으로 해양퇴적물의 전기비저항 값이 커질수록 음파전달 속도도 증가한다(Kim and Magnhnani, 1992). 본 연구지역에서는 가스함유퇴적물이나 무가스함유퇴적물 모두에서 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않지만 가스함유퇴적물의 경우 정점별로 분리되는 특징을 볼 수 있다(Fig. 9). 이러한 양상은 연구지역 정점간의 퇴적물의 조직이 거의 균질하여 정점간 음파전달속도나 전기비저항의 절대값 차이도 적고, 같은 정점에서 수직적인 변화도 거의 없기 때문이다(Figs. 6, 7 and 8). 가스함유퇴적물을 포함하는 정점 23

과 25에서의 자료분리 현상은 가스함유 유무에 따라 반응하는 음파전달속도와 전기비저항 값의 차이에 의한 것으로 보여지며 이 중 음파전달속도가 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다(Fig. 9, Table 1). 가스함유량과 음파전달속도간의 정량적 관계는 대략적이거나 성립이 되어있으나(Wilkens and Richardson, 1998), 가스함유량이 전기비저항에 미치는 영향에 대해서는 거의 알려진 바가 없다. 따라서 정점 19와 같이 정점 23에 비해 음파전달속도 값은 빠르는데 전기비저항 값이 높게 나타나는 현상 등에 대한 논의는 좀 더 많은 자료를 통해 해석되어야 할 것으로 사료된다.

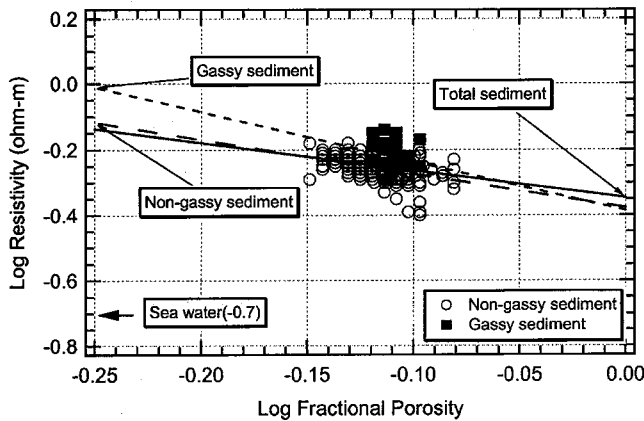


Fig. 10. Log resistivity versus log fractional porosity.

전기비저항과 공극율과의 상관관계

연구지역에 대한 전기비저항과 공극율(fractional porosity)의 상관관계를 log-log scale로 도시하였다(Fig. 10). 전기비저항값이 증가할수록 공극율이 감소하는 일반적인 경향이 본 연구지역의 결과에서도 잘 나타나고 있다. 일반적으로 해양퇴적물은 퇴적층 깊이에 따른 상부퇴적층의 영향으로 인한 다짐작용(compaction)과 고화작용(consolidation)의 결과로 하부로 갈수록 공극율이 감소한다. 원양성 탄산염퇴적물의 경우 깊이에 따른 압상의 변화와 다짐, 고화작용과 더불어 숙성작용의 영향을 받으며, 특히 숙성작용의 후기에 교결작용과 재결정화작용은 공극구조의 변화 즉 공극율의 감소를 야기시키고, 이는 전기비저항값 증가에 영향을 미친다(Kim, 1985; Kim and Kim, 1988; Kim and Lee, 1988; Kim and Manghnai, 1992). 본 연구에서 가스 함유 퇴적물을 무가스 함유 퇴적물이나 전체 퇴적물의 절대값과 비교해보면, 가스 함유 퇴적물이 같은 공극율에서 약간 높은 전기비저항값을 나타내고 있다(Fig. 10). 본 연구지역의 경우 현생니질대의 최상부 퇴적층에 속하기 때문에 다짐작용이나 고화작용에 의한 공극율의 깊이별 감소효과가 적고 조성이 유사하다고 볼 때, 이들 가스 함유 퇴적물에서 나타난 높은 전기비저항값은 균열구조와 관련 있을 것으로 사료된다. 암석이나 해양퇴적물의 경우 동일한 공극내에서 전류의 통로역할을 하는 공극구조(pore geometry) 때문에 특징적인 전기비저항값이 나타나며, 이는 구조계수(formation factor)에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Archie, 1942; Winsauer et al., 1952).

공극율과 전밀도와와의 상관관계

해양퇴적물에서의 음파전달속도와 전기비저항의 중요한 각종 매개변수로 이용되는 공극율과 전밀도의 상관관계를 도시하였다(Fig. 11). 일반적으로 전밀도는 퇴적물의 광물조성에도 좌우되지만 입도가 감소할수록 감소하는 양의 상관관계를 가지며 공극율과는 음의 상관관계를 나타낸다. 본 연구지역에서도 이들의 상관관계는 일반적인 음의 관계를 가지고 있으며 가스의 함유 여부에 영향을 받지 않는다.

따라서 퇴적물에 함유된 가스는 음파전달속도를 급격히 떨어뜨리는데 이는 함유가스가 공극율이나 전밀도 같은 물리적 성질에는 적은 영향을 주지만 가스에 의한 압축율의 증가로 인해 음파

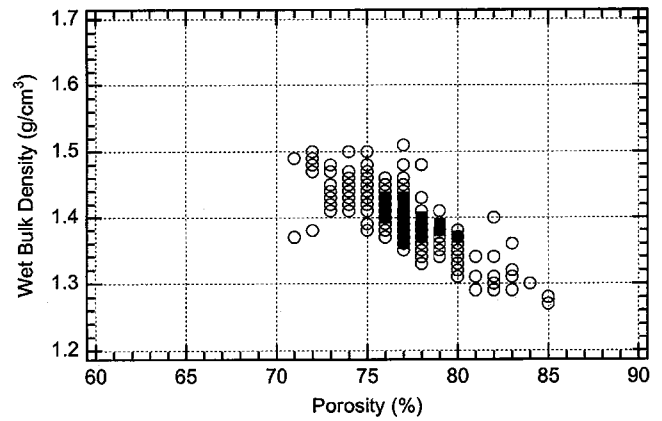


Fig. 11. Porosity versus wet bulk density. Symbols are the same as in Fig. 10.

전달속도 값은 낮은 것으로 사료된다. 또한 전기비저항은 가스 함유 여부에 영향을 받지만 그것을 정량화 하는 작업은 함유가스의 정량, 안정적인 분석자료가 뒷받침이 되어야 할 것으로 생각된다.

결론

한국 남동해역 내대륙붕 이토대 퇴적물에 대한 고해상 지층탐사 연구결과 음향혼탁층의 분포를 확인하였다. 음향혼탁층에서 회수한 코어시료의 내부구조를 관찰한 결과 가스방출에 의해 형성된 균열구조(degassing structure)를 확인할 수 있었으며, 이를 기초로 연구지역 퇴적물을 가스 함유 퇴적물(gassy sediment)과 무가스 함유 퇴적물(non-gassy sediment)로 구분하였다. 이들 퇴적물의 깊이에 따른 속도, 전기비저항, 공극율, 전밀도 차이는 퇴적물 조직과 퇴적구조에 영향을 받으며, 가스의 함유유무와 그에 수반된 균열구조의 유무에 따라 음파전달속도와 전기비저항 값이 큰 차이를 나타냈다. 이들 자료의 수직적인 단면도와 상관관계를 통해 연구지역에서는 가스 함유 유무에 따라 음파전달속도와 전기비저항 값이 크게 반응하며 이중 음파전달속도가 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

사사

본 연구는 한국과학재단 국제공동연구과제(과제번호 996-0400-003-2)에 의한 것임을 밝힙니다. 시료채취에 도움을 주신 탐양호 승조원들께 감사의 말씀을 표합니다. 아울러 본 논문을 세밀하게 심사해 주시고 유익한 조언을 주신 두 분 심사위원께도 사의를 표합니다.

참고문헌

김길영, 성준영, 김대철, 김정창, 1994. 여수해만 주변해역퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질. 한국수산학회지, 27: 434-444.
 김길영, 김대철, 박수철, 유동근, 최진혁, 김정창, 1996. 한국 남동해역 사질퇴적물의 물리적 성질. 한국수산학회지, 29: 663-676.
 김길영, 김대철, 서영교, 박수철, 최진혁, 김정창, 1999. 한국 남동

- 해역 내대륙붕 이토대 퇴적물의 물리적 성질. 한국해양학회지-바다, **4**: 228-248.
- 김길영, 김대철, 김신정, 서영교, 정자현, 김양은, 2000. 황해 남동부 니질대의 물리적 성질: 동해 및 남해 니질대와의 비교. 한국해양학회지-바다, **5**: 335-345.
- 김대철, 1989. 미고결 퇴적물의 음파전달속도측정에 관한 연구. 한국수산학회지, **22**: 147-153.
- 김대철, 김길영, 1991. 광양반 미고결퇴적물의 물리적 및 음향학적 성질: 북태평양 대륙붕 및 사면자료와의 비교. 한국수산학회지, **24**: 289-302.
- 김성렬, 석봉출, 1985. 한반도 연근해저 표층퇴적물에서의 음파전달속도와 감쇠계수. 한국해양학회지, **20**: 10-21.
- 박용안, 김경렬, 박수철, 박상운, 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지, **22**: 43-56.
- 서영교, 김대철, 1999. 퇴적물속도측정기를 이용한 대한해협 사질 퇴적물의 음향특성. 한국음향학회지, **19**(3): 77-85.
- 성준영, 1994. 남해 대륙붕 퇴적물의 퇴적환경과 음향모델. 부산수산대학교 석사학위논문, 114 pp.
- 이동규, 권재일, 한상복, 1998. 감포-올기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계. 한국수산학회지, **31**: 359-371.
- 최동림, 오재경, 이치원, 우한준, 1997. 한국 남동 내대륙붕해역의 홀로세 빨질 퇴적층의 고해상도 탄성과 특성. 한국해양학회지-바다, **2**: 8-13.
- 최진용, 박용안, 1993. 한반도 대륙붕 퇴적물의 분포와 조직특성. 한국해양학회지, **28**: 259-271.
- Archie, G.E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Transactions American Institute Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers*, **146**: 54-62.
- Anderson, R.S., 1974. Statistical correlation of physical properties and sound velocity in sediments. In: *Physics of Sound in Marine Sediment*, edited by Hampton, L. Plenum, New York, 481-517.
- Birch, F., 1960. The velocity of compressional waves in rocks up to 10 kilobars. *J. Geophys. Res.*, **65**: 1083-1102.
- Boyce, R.E., 1968. Electrical resistivity of modern marine sediments from the Bering Sea. *J. Geophys. Res.*, **73**: 4759-4766.
- Boyce, R.E., 1976. Definition and laboratory techniques of compressional sound velocity parameter and wet-water, wet bulk density, and porosity parameter by gravimetric and gamma ray attenuation techniques. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **33**: 931-958.
- Boyce, R.E., 1980. Determination of the relationships of electrical resistivity, sound velocity, and density/porosity of sediment and rock by laboratory techniques and well logs from Deep Sea Drilling Projects Sites 415 and 416 off the coast of Morocco. Initial Report Deep Sea Drilling Project, **50**: 305-318.
- Boyce, R.E., 1981. Electrical resistivity, sound velocity, and density/porosity and temperature, obtained by laboratory techniques and well logs: Site 462 in the Nauru Basin of the Pacific Ocean. Initial Report Deep Sea Drilling Project, **61**: 743-761.
- Fannin, N.G.T., 1980. The use of regional geological surveys in the North Sea and adjacent areas in the recognition of offshore hazards. In: *Offshore site investigation*, D.A. Arduis, editor, Graham and Trotman, London, pp. 5-21.
- Hamilton, E.L., 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Geophys. Res.*, **75**: 4423-4446.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman, 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, **72**: 1891-1904.
- Kim, D.C., 1985. Diagenetic factors controlling physical, acoustic and electrical properties of deep-sea carbonate sediments. Ph.D. dissertation. Univ. Hawaii. Honolulu, 202 pp.
- Kim, D.C., 1986. Application of electrical resistivity in determining diagenetic stage of deep-sea carbonate sediments: A new variable. *J. Ocean. Soc. Korea*, **21**: 92-100.
- Kim, D.C. and K.H. Kim, 1988. Compressional wave velocity and electrical resistivity in hemipelagic clay-rich sediment, northwestern Pacific. *J. Ocean. Soc. Korea*, **23**: 146-157.
- Kim, D.C. and B.D. Lee, 1988. Electrical resistivity and formation factor of deep sea carbonate sediment. *Ocean Research*, **10**: 125-129.
- Kim, D.C. and M.H. Manghnani, 1992. Influence of diagenesis on the electrical resistivity and the formation factor of deep-sea carbonate sediments. *Geo-Mar. Lett.*, **12**: 14-18.
- Kim, D.C., Y.A. Park and C.B. Lee, 1992. Sedimentation and physical properties of inner shelf sediment, South Sea of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, **28**: 604-614.
- Kim, G.Y., 1998. Geotechnical Property and Paleooceanographic Characteristics of the late Quaternary Ulleung Basin Sediment, the East Sea, Korea. Ph.D. thesis, Pukyong National University, 247 pp.
- Kim, G.Y. and D.C. Kim, 1998. Correlations between sound velocity and related properties of marine sediment from the Ulleung Basin, East Sea. *Marine Nature*, **6**: 25-36.
- Kim, G.Y., D.C. Kim, S.C. Park and G.H. Lee, 1999. Chirp (2-7 kHz) echo characters and geotechnical properties of surface sediments in the Ulleung Basin, the East Sea. *Geosciences Journal*, **3**: 213-224.
- Korea Hydrographic Office, 1982. Tidal current chart (No. 1420). Pusan to Yeosu, 20 pp.
- Lee, J.C., 1993. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Ocean. Soc. Korea*, **87**: 195-205.
- Lee, J.C. and Na, J.Y., 1985. Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. *J. Ocean. Soc. Korea*, **20**: 6-19.
- O'Brien, D.K., 1990. Physical, acoustic, and electrical properties deep-sea sediments. Unpublished Ph.D. dissertation, Univ. of Hawaii, Honolulu, HI. 140 pp.
- Olhofet, G.R., 1980. Initial reports of the petrophysical laboratory: 1977-1979 Addendum. U.S. Geol. Survey Open File Rept., 80-522.
- Park, S.C. and D.G. Yoo, 1992. Deposition of coarse-grained sediments in the Korea Strait during late Pleistocene low sea level. *Geo-Mar. Lett.*, **12**: 19-23.
- Park, S.C., D.G. Yoo, K.W. Lee, and H.H. Lee, 1999. Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). *Cont. Shelf Res.*, **19**: 589-608.
- Park, Y.A. and J.Y. Choi, 1986. Factor analysis of the continental shelf sediments off the southeast coast of Korea and its implica-

- tion to the depositional environments. *J. Ocean. Soc. Korea*, **21**: 34–45.
- Schoonmaker, J., F.T. Mackenzie, M.H. Manghnani, R.C. Schneider, D.C. Kim, A. Weiner, and J. To, 1985. Mineralogy and diagenetic characteristics and their effect in acoustic and electrical properties of pelagic clays., DSDP Leg 86. Initial Report Deep Sea Drilling Project, **86**: 549–570.
- Wilkins, R.H. and M.D. Richardson, 1998. The influence of gas bubbles on sediment acoustic properties: in situ, laboratory, and theoretical results from Eckernforde Bay, Baltic Sea. *Cont. Shelf Res.*, **18**: 1859–1892.
- Winsauer, W.O., H.M. Jr. Shearing, P.H. Mason and M. Williams, 1952. Resistivity of brine-saturated sands in relation to pore geometry. *AAPG Bull.*, **36**: 253–277.
- Winsauer, W.O. and W.F. McCardell, 1953. Ionic double-layer conductivity in reservoir rock. *Petroleum Transactions American Institute Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers*, **198**: 129–134.
- Yuan, F., J.D. Bennell and A.D. Davis, 1992. Acoustic and physical characteristic of gassy sediments in the western Irish Sea. *Cont. Shelf Res.*, **12**: 1121–1134.

2001년 7월 20일 원고접수

2001년 10월 23일 수정본 채택

담당편집위원: 이희준