

동중국해 북부대륙붕에 발달한 니질 퇴적체의 탄성과 연구

최동림^{1*} · 이태희¹ · 유해수² · 임동일¹ · 허식² · 김광희²

¹한국해양연구원 남해연구소, ²한국해양연구원 해양환경연구본부

A Seismic Study on Muddy Sediment Deposits in the Northern Shelf of the East China Sea

Dong-Lim Choi^{1*}, Tae-Hee Lee¹, Hae-Soo Yoo², Dhong-Il Lim¹, Sik Huh² and Kwang-Hee Kim²

¹South Sea Institute, Korea Ocean Research and Development Institute, Geje 656-830, Korea

²Marine Geoenvironment Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

We present the sedimentary sequence and distribution pattern of the late Holocene muddy deposits in the northern East China Sea shelf using the high-resolution "Chirp" profiles. The seismic sedimentary sequence overlying acoustic basement (basal reflector-B) can be divided into two depositional units (Unit 1 and 2) bounded by erosional bounding surface (mid reflector-M). The lower Unit 1 above basal reflector-B is characterized by the acoustically parallel to sub-parallel reflections and channel-fill facies. The upper Unit 2, up to 7m in thickness, shows seismically semi-transparent seismic facies and lenticular body form. On the base of sequence stratigraphic concept, these two sediment units have developed during transgression and highstand period, respectively, since the last sea-level lowstand. The transgressive systems tract (Unit 1) lie directly on the sequence boundary (reflector B) that have formed during the last glacial maximum. The transgressive systems tract in this study consists mostly of complex of delta, fluvial, and tidal deposits within the incised valley estuary system. The maximum flooding surface (reflector M) corresponding to the top surface of transgressive systems tract is obviously characterized by erosional depression. The highstand systems tract (Unit 2) above maximum flooding surface is made up of the mud patch filled with the erosional depression. The highstand mud deposits showing a circle shape just like a typhoon symbol locates about 140 km off the south of Cheju Island with water depth of 60~90 m. Coverage area and total sediment volume of the mud deposits are about 3,200 km² and 10.7×10⁹ m³, respectively. The origin of the mud patch is interpreted as a result of accumulating suspended sediments derived from the paleo-Yellow and/or Yangtze Rivers. The circular distribution pattern of the mud patch appears to be largely controlled by the presence of cyclonic eddy in the northern East China Sea.

Key words : mud patch, high-resolution "Chirp" data, depositional units, sequence stratigraphy, East China Sea shelf

동중국해 북부 대륙붕에 발달한 후기 홀로세 니질 퇴적체의 분포양상과 층서의 발달 특성을 밝히기 위해 고해상도 Chirp 탄성과 단면 자료를 이용하여 분석하였다. 고해상 탄성과 단면도상에서 음향기반암(기저 경계면 B)위에 2개의 퇴적층서(Unit 1과 2)가 나타나며 이들은 침식 경계면(중간 반사면 M)으로 경계된다. 하위 퇴적층서 Unit 1은 음향학적으로 평행 또는 준평행 반사층리와 수로 충전 퇴적상이 나타난다. 상위 퇴적층서 Unit 2는 반투명 내부 퇴적상과 7m 이하 퇴적두께의 렌즈형태로 발달해 있다. 시퀀스 층서분석으로부터 이들 퇴적층서는 마지막 저해수준 이후 형성되었다. 해침 퇴적체(Unit 1)는 최후 빙기동안 형성된 층서 경계면위에 바로 분포한다. 해침 퇴적체는 침식곡의 염하 구 환경하에서 하천, 델타, 그리고 조간대 환경의 복합 퇴적물로 구성된다. 해침 퇴적체 바로 위는 침식 저지형의 최대 범람면이 나타난다. 최대 범람면위에 발달한 고해수준 퇴적체(Unit 2)은 저지대를 충전하는 니질 퇴적체로 구성된다. 니질 퇴적체는 제주도 남쪽 약 140 km 떨어진 곳에 마치 태풍 같은 모양의 원형 형태로 수심 약 60-90 m 사이에 집중적으로 발달해 있다. 이 퇴적체의 분포 면적과 부피는 각각 약 3,200 km²와 약 10.7×10⁹ m³이다. 니질 퇴적체의 기원은 고향하와 양자강에서 배출된 부유퇴적물의 혼합기원으로 해석된다. 원형의 분포형태는 북부 동중국해에 발달한 반시계 방향의 와류 순환계로 인해 형성된 것으로 판단된다.

주요어 : 니질 퇴적체, 고해상도 Chirp 탄성과 단면도, 퇴적층서, 시퀀스 층서, 동중국해 대륙붕

*Corresponding author: dlchoi@kordi.re.kr

1. 서 론

육상 기원의 현생 퇴적물은 주로 공급원과 인접한 연근해 및 내대륙붕 해역에 집중적으로 퇴적된다. 한반도 주변해역에서도 대부분의 현생 니질퇴적물은 강 하구역이나 만 그리고 내대륙붕에 주로 분포하고 있다 (Park *et al.*, 1996; Park *et al.*, 1999). 중국 역시 세계적인 규모의 황하강에서 공급되는 퇴적물은 황해 발해만과 산둥 반도를 따라 남쪽 연안역에 니질 퇴적층이 광범위하게 발달하고 있으며, 양자강 기원 현생 퇴

적물도 강 하구 입구와 남쪽 연안을 따라 동중국해에 분포한다 (Milliman *et al.*, 1985a, b; Chen *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2002).

연구해역인 동중국해에는 해안에서 수심 약 130 m의 대륙붕단까지 북서-남동 방향으로 최대 약 450 km에서 최소 약 120 km 넓이의 비교적 평탄한 대륙붕이 넓게 발달하고 있으며, 이어서 급경사의 대륙사면을 지나 2000 m 이상의 깊은 해저지형을 보이는 오키나와 해구가 존재한다 (Fig. 1). 동중국해의 해류 순환계는 대양 기원의 고온-고염수인 북동향의 대만난류와 남향 및

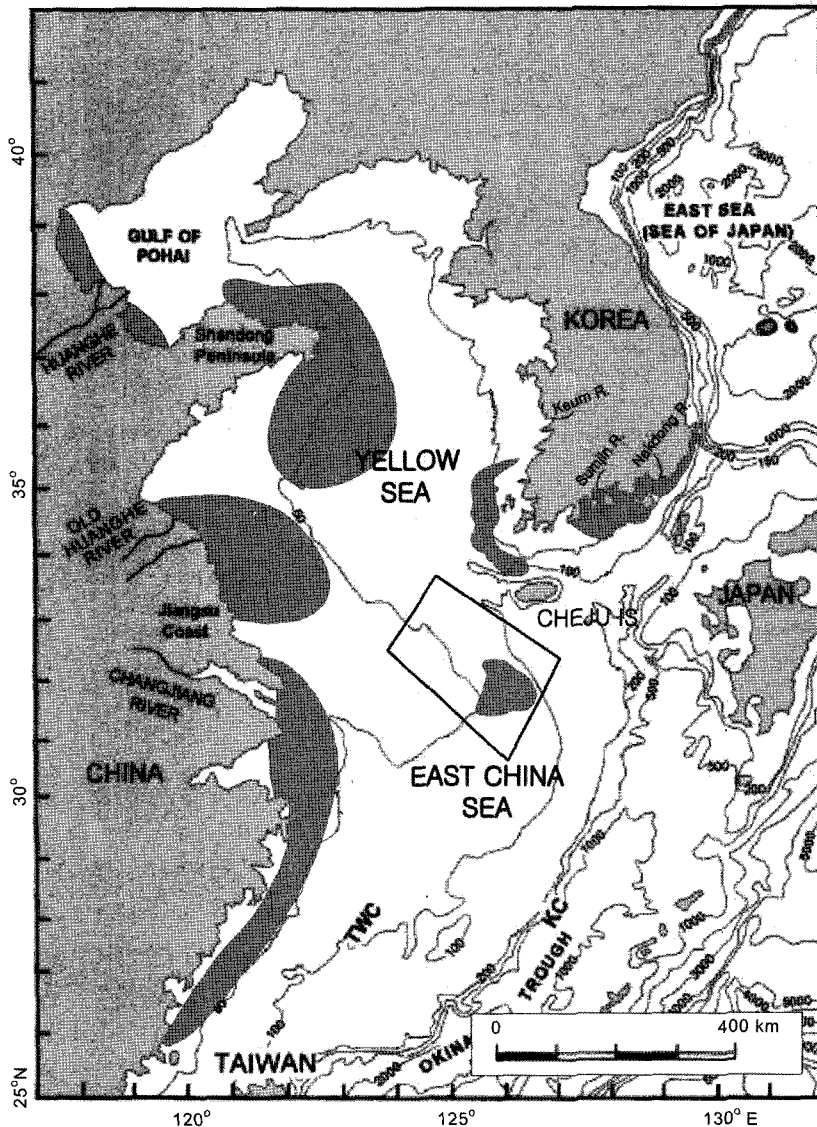


Fig. 1. Map showing the study area (boxed area) and bathymetry of the East China Sea and adjacent seas. Shaded areas show the location of late Holocene muddy deposits in the Yellow and East China Seas.

남서향의 저온-저염수인 연안류로 크게 구분된다 (Beardsley *et al.*, 1985). 이 대만난류는 연구해역인 북동부 외대륙붕에서 북향의 황해난류와 북동향의 해류로 분기되며, 또한 황해 연안수와 양자강 희석수도 이 지역에 유입된다.

동중국해의 외대륙붕에는 주로 현생 이전의 잔존 퇴적물(relic sediment)인 모래질 퇴적물이 표층에 분포하는 반면, 북동부 외대륙붕에는 박층의 니질 퇴적층이 분포한다(Butenko *et al.*, 1985; Milliman *et al.*, 1985a; Yoo *et al.*, 2002; Saito, 1998b). 가장 가까운 양자강 하구에서 약 350 km 떨어진 외대륙붕에 독립적으로 분포하는 작은 구획(patch) 형태의 니질 퇴적층이 존재하며, 고해상 탄성과 자료와 퇴적물 분포양상을 이용하여 이 니질 퇴적체에 대한 층서 발달 특성 연구가 일부 이루어졌다(Butenko *et al.*, 1985; Yang

et al., 1995; Yoo *et al.*, 2002). 그러나 아직까지 이 니질 퇴적체에 관한 정확한 발달 위치와 자세한 형태, 규모, 그리고 층서 발달 특징 등의 연구는 미흡하다.

연구해역은 제주도 남방 해역(북위: 30°45'~32°45', 동경: 125°도 15'~126°45')에 위치한 동중국해의 북동부 대륙붕으로 수심은 약 60~110 m 사이이며, 서쪽에서 동쪽으로 점차 깊어지는 완만한 해저지형을 보인다 (Fig. 1). 본 연구의 목적은 1) 고해상 Chirp 탄성과 자료 분석을 통한 동중국해 북동부 외대륙붕에 발달한 니질 퇴적체의 규모와 분포형태, 2) 퇴적체의 층서 발달 양상, 그리고 3) 생성 기원을 밝히는 데 있다.

2. 연구방법 및 자료

본 연구에 사용된 자료는 고해상 'Chirp' 탄성과 단

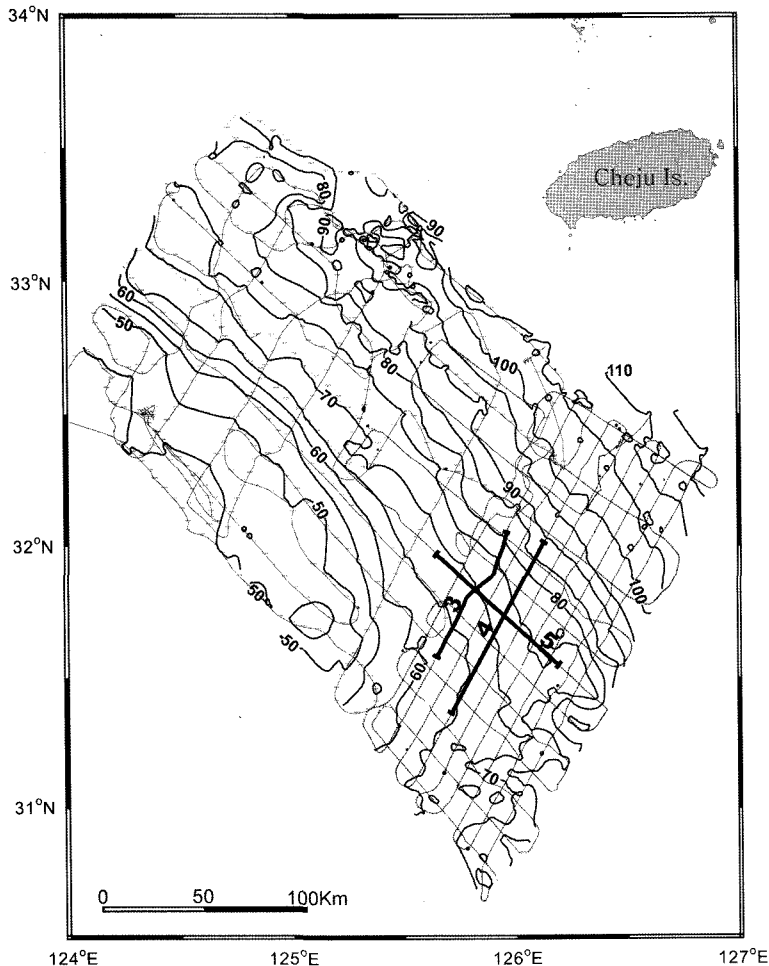


Fig. 2. Map showing ship's tracklines with bathymetry of the study area. Heavy lines with numbers indicate the location of seismic profiles shown in the figures. Contours are in meters.

면도이며, ODEC (Ocean Data Equipment Corporation)사의 BATHY-2000P 지층탐사 시스템으로 8 kHz 대역의 FM Chirp 파형을 이용하여 획득하였다. 수신된 탄성과 자료 신호는 시스템 기억장치에 저장하였으며 또한 EPC 9800 기록계를 이용하여 지층단면도를 기록하였다. 자료 취득은 한국해양연구원 종합조사선 “온누리호”를 이용하여 2003년 4월과 2004년 5월에 2년 동안 실시되었다. 탄성과 축선 설정은 북동-남서 방향의 14개 축선과 북서-남동 방향의 14개 축선 그리고 일부 보조축선으로 구성되었으며, 총 축선 거리는 약 6,400 L-km 에 이른다(Fig. 2). 항해 위치 관측은 온누리호에 설치된 DGPS 시스템을 이용하였으며, 탐사시 조사선의 속도는 약 5노트를 유지하였다. 퇴적물 분포 특성은 조사지역에서 획득한 시추퇴적물 분석자료와 기존의 연구자료들을 이용하였다. 퇴적물의 두께는 음파속도를 1,500 m/s 환산하여 산출하였다. 탄성과 자료 분석과 해석은 기존의 방법을 기본으로 하여 실시하였다(Vail, 1987; Posamentier *et al.*, 1988; Van Wagoner *et al.*, 1990).

3. 연구 결과

3.1. 탄성과 층서

Chirp 탄성과 단면도에서 구분 가능한 퇴적단위(depositional unit)와 이들을 구분하는 층서경계면(unit boundary)을 설정·분석하였다. 최하위의 층서경계면을 기저충준 “reflector-B”으로 하고, 다시 상부의 퇴적층서를 구분하는 중간 충준 “reflector-M”을 설정하

였다(Figs. 3~5). 기저충준 위에 형성된 퇴적층서는 중간 충준을 경계로 두 개의 퇴적층서 단위인 하위의 퇴적층서(Unit 1)와 상위의 퇴적층서(Unit 2)로 구분된다.

3.2. 층서 경계

기저 경계면(reflector-B): 이 경계면은 고해상도 Chirp 탄성과 단면에서 구분되는 기저 경계면으로 약 20,000년 전후, 수심이 현재 보다 약 110~130 m 정도 낮았던 최후 빙기동안 연구지역이 대기에 노출되어 형성된 부정합적 침식면으로 판단된다(Saito, 1998a). 지형의 발달은 매우 불규칙한 굴곡을 이루는 수로(channel) 및 침식곡(incised valley) 형태를 나타낸다(Figs. 3 & 4). 연구지역에 발달한 기저경계면의 최대 깊이는 현 해수면 아래 약 90 m 정도이다.

중간 경계면(reflector-M): 이 경계면은 탄성과 단면에서 기저 경계면위를 구성하는 퇴적층내에 가장 뚜렷이 구분되는 중간 경계 반사면으로 현 해수면 아래 65~85 m 범위에 위치한다. 해저면에 노출된 중간 경계면은 매우 평탄하나, 상부 퇴적층을 경계하는 지역의 지형은 완만하게 파인 저지형의 형태를 이룬다(Figs. 3 & 4). 하위의 퇴적층 Unit 1의 상부 반사층리는 중간 경계면과 경사 부정합을 형성하고 있으며, 상위 퇴적층 Unit 2는 중간 경계면에 대해 상향 걸침(onlap)하며 발달한다(Figs. 3~5). 특히 하위의 퇴적층 Unit 1에 나타나는 상부 반사면의 경사 부정합은 상위의 퇴적층 Unit 1이 퇴적되기 전에 광역적인 침식작용이 있었음을 지시한다.

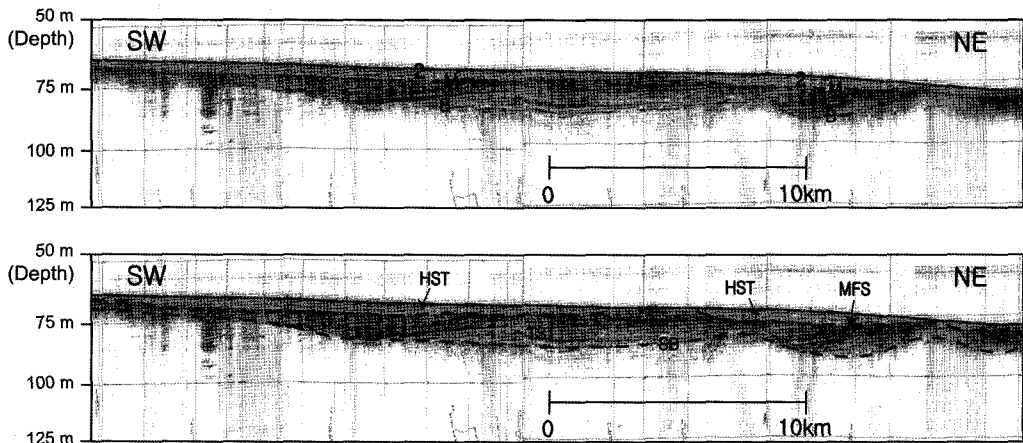


Fig. 3. High resolution chirp seismic profile and its interpretation showing two sedimentary units (Unit 1 and 2), bounded by mid reflector-M, above the basal reflector-B. SB: sequence boundary, MFS: maximum flooding surface, HST: highstand systems tract, TST: transgressive systems tract. Location of the profile is shown in Fig. 2.

3.3. 퇴적층서 단위

Unit 1: 불규칙한 기저 경계면 위에 놓이는 퇴적단위 1은 주로 수로 또는 침식곡을 피복하는 형태로 발달한다. 본 퇴적단위는 탄성과 단면도에서 주로 준평행 또는 평행한(subparallel to parallel) 탄성과상 반사층리의 특징을 보여주며, 연속성은 양호하다(Figs. 3 and 4). 일부 지역에서는 가스함유로 인한 음향 혼탁층이 나타난

다. 이층의 두께는 깊이 파인 수로 충전 퇴적층에서는 최대 25m이나, 전반적으로 10m 내외이다. 퇴적발달 양상은 남서에서 북동방향을 가면서 점차 얇아지며, 대략 수심 80m 부근에서 사라진다. 이 층의 구성 퇴적물은 시추 자료로부터 니질을 포함한 사질 퇴적물이 주를 이룬다(Yoo *et al.*, 2002; 한국해양연구원, 2002).

Unit 2: 층서적으로 상부에 속하는 퇴적단위 2는 중

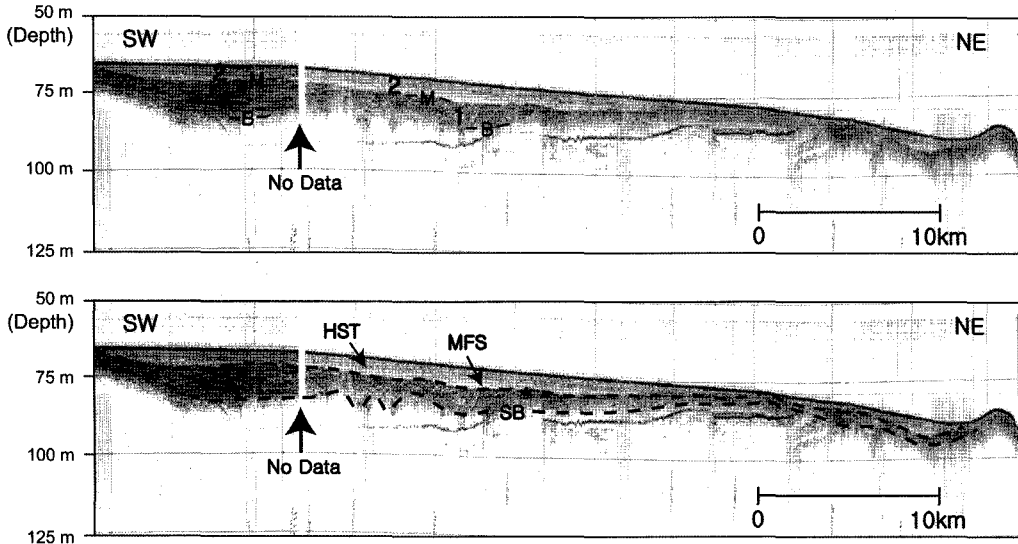


Fig. 4. High resolution chirp seismic profile and its showing two sedimentary units (Unit 1 and 2), bounded by mid reflector-M, above the basal reflector-B. SB: sequence boundary, MFS: maximum flooding surface, HST: highstand systems tract, TST: transgressive systems tract. Location of the profile is shown in Fig. 2.

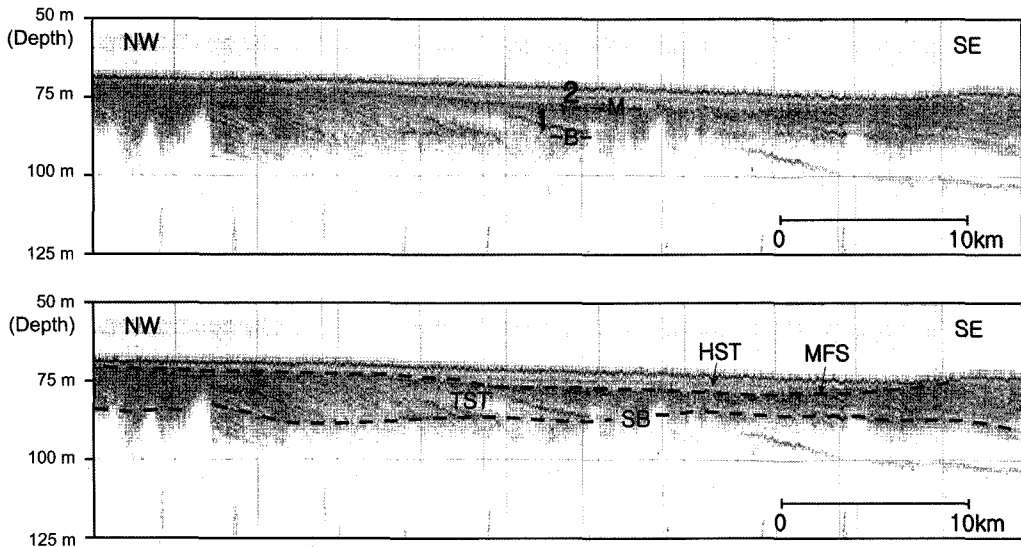


Fig. 5. High resolution chirp seismic profile and its interpretation showing two sedimentary units (Unit 1 and 2), bounded by mid reflector-M, above the basal reflector-B. SB: sequence boundary, MFS: maximum flooding surface, HST: highstand systems tract, TST: transgressive systems tract. Location of the profile is shown in Fig. 2.

간 경계면에 상향 걸침을 하고 있으며, 두께는 최대 7 m 에 달한다. 본 퇴적단위는 탄성과 단면도상에서 특정한 내부 구조를 갖지 않은 투명 혹은 반투명(transparent to semi-transparent)한 음향상을 보인다(Figs. 3~5). 이 퇴적층의 발달지역은 수심 약 60~90 m 범위의 외대륙붕에 위치하며, 시추 퇴적물 분석 결과에 의하면 평균 입도 8φ 이상의 점토질 퇴적물이 우세하다(임, personal communication). 이 층에 대한 발달 분포와 특성은 다음 항에서 자세히 기술하였다.

3.4. 니질 퇴적체(Unit 2)의 발달특성

발달 형태: 니질 퇴적체(Unit 2)의 하부 경계면은 중간경계면으로서 침식에 의해 형성된 비교적 평탄한 지형이 특징적이다. 특히 남서방향의 경계면의 형태는 경사진 계단 형태로 발달하고 있으며, 이어서 수심이 깊

어지는 북동쪽으로는 평탄한 지형을 보인다(Figs. 3 & 4). 그러나 Unit 2가 발달하고 있는 해역은 전반적으로 다른 지역보다 깊이 파인 저지대 지형으로 최대 7m 두께의 퇴적층이 분포하고 있다(Fig. 4). 따라서 하부면 경사가 급한 지역의 퇴적층은 두꺼우며 북동쪽을 향해 점차 얇아지는 외형을 보인다(Figs. 3 & 4). 이 층의 형태적 특성을 고려할 때 침식 저지대에 점토질의 세립한 물질이 조용히 가라앉아 충전된 퇴적양상을 보인다. 이러한 니질 퇴적층의 표층인 해저면은 매우 평탄하며, 수심이 깊어지는 방향으로 완만 경사를 이룬다. 니질 퇴적층의 내부 퇴적상은 전반적으로 반투명에서 투명한 양상이지만, 일부 깊게 파인 저지대의 두꺼운 퇴적층 분포지역은 하부층의 투명과 상부층의 반투명으로 구분된다(Fig. 4). 하부 투명층의 두께는 최대 약 3 m 이며, 상부 반투명층은 대략 3~4 m의 일정한 두

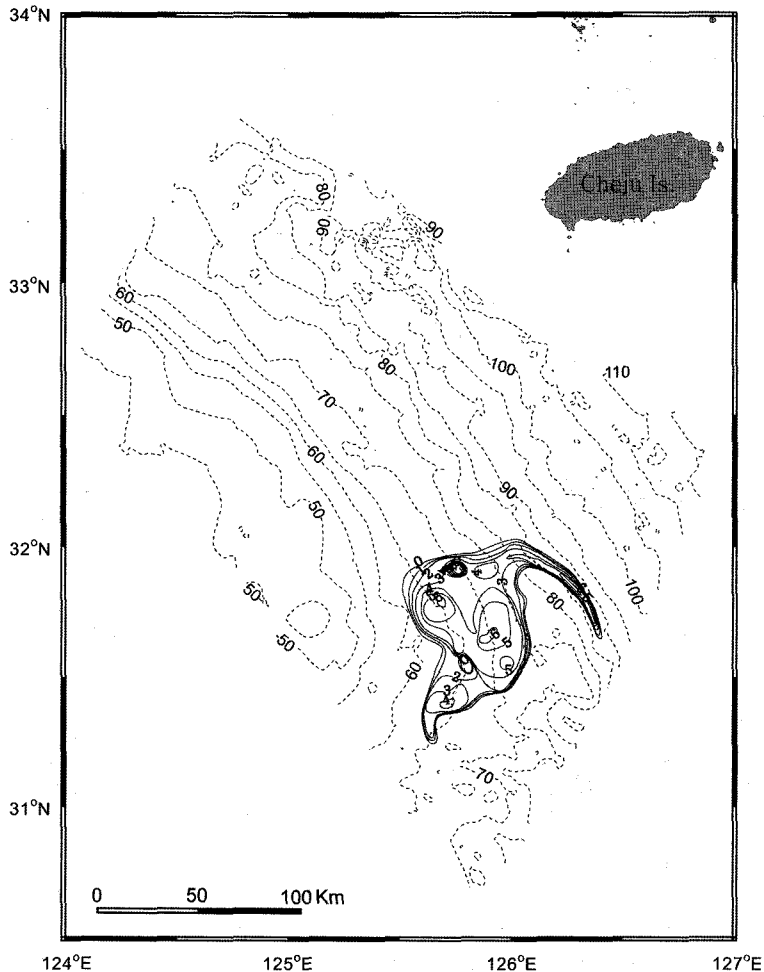


Fig. 6. Isopach map showing the thickness of mud patch (solid lines), superimposed on the bathymetry in the study area (dashed lines). Contours are in meters.

개로 넓게 분포한다. 반투명 퇴적층은 연속성이 좋은 회미한 반사층리가 나타난다.

발달지역 및 규모: 탄성과 단면도상에서 확인되는 니질 퇴적층의 발달지역은 경도 125°30'~126°30'와 위도 31°15'~32°05'위치에 둥근 원 형태로 나타난다(Fig. 6). 이들의 발달형태는 마치 태풍 표시와 유사하고, 분포 범위는 동서 방향으로 약 50 km, 남북 방향으로 약 70 km 이다. 분포면적은 약 3,200 km² 이고, 부피는 10.7×10⁹ m³ 이다. 연구지역에서 조사된 퇴적물 밀도 약 1,450 kg/m³를 적용하면(Keller and Yıncan, 1985), 무게는 약 15.5×10⁹ ton (155억톤)으로 계산된다.

4. 토 의

4.1. 시퀀스 층서 해석

탄성과 단면상에서 관찰되는 기저 경계면은 침식곡 또는 수로의 침식구조 지형으로 발달하고 있으며, 해저면으로부터 침식 깊이는 최대 30 m(평균 10 m)에 달한다. 경계면의 지형 변화는 북동쪽으로 향하면서 점차적으로 깊어져 현재 해수면 아래 최대 90 m 까지 깊어진다. 이 경계면의 발달 시기는 전 지구적으로 해수면이 가장 낮았던 최후 빙기인 18,000 yr BP에 형성된 것으로 해석되며, 시퀀스 층서 경계면(sequence boundary; SB)으로 설정될 수 있다(Saito *et al.*, 1988; Saito, 1998a). 기저 경계면 위에 발달한 퇴적층 Unit 1은 해수면이 상승하면서 침식곡에 쌓인 해침층서(transgressive systems tract; TST)로 해석된다. 일반적으로 시퀀스 층서의 발달 순서상에서 층서경계면 상부에는 바로 저해수면 퇴적층서(lowstand systems tract; LST)가 발달해야 한다. 특히 침식곡 환경에서 수로에서 하구역 기저부에 자갈과 모래질 퇴적물로 구성된 저해수면 퇴적체가 발달한다(Allen & Posamentier, 1993; Dalrymple *et al.*, 1994). 그러나 연구지역은 탄성과 단면에서 층서경계면과 Unit 1 퇴적층 사이에서 이에 해당되는 뚜렷한 저해수면 퇴적층서가 보이지 않는다. 프랑스 Gironde 강의 대륙붕 연장 침식곡에서도 저해수면 퇴적체가 발달치 않았는데, 이러한 원인은 저해수면 시기에 하천 퇴적물이 근원 인접(proximal) 지역인 하구역내에만 주로 한정적으로 퇴적되어 원거리(distal)지역인 외해역까지는 운반·퇴적되기 어려웠기 때문인 것으로 해석된다(Lericolais *et al.*, 2001). 동중국해 북동부 외대륙붕에 위치한 연구지역도 가장 가까운 퇴적물 공급원인 양자강 하구역과 대략 350 km 이상 떨어져 있어 조립질 하천 퇴적물이 연구지역까지는

운반 공급되기가 거의 불가능하였을 것으로 판단된다. 한편으로, 현재보다 약 110~130 m 해수면이 낮았던 마지막 빙기동안의 동중국해 대륙붕해역은 대부분 대기에 노출되어 연구지역에서 퇴적보다 침식작용이 우세하여 저해수면 퇴적체의 발달이 어려웠을 것으로 사료된다. 이런 원인으로 연구해역은 층서경계면위에 저해수면 퇴적층이 없이 바로 해침 퇴적체가 발달하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 시퀀스 층서 경계면은 저해수면 퇴적체와 해침 퇴적체와의 경계면인 해침 경계면(transgressive surface; TS)과 동일하게 나타난다.

해침 퇴적체의 퇴적상은 주로 수로 층진 퇴적상, 사경사 반사층리, 그리고 일부 무층리 퇴적상이 우세하며, 또한 가스층에 의한 음향혼탁상 등이 발달하고 있다. 이들의 특성은 주로 수로 및 침식곡의 연하구, 수로, 그리고 조간대 환경하에서 형성된 퇴적층을 지시한다(Allen and Posamentier, 1993; Tomas and Anderson, 1994). 이 퇴적체의 발달시기는 해수면이 상승한 이후 약 15,000 yr BP 부터 해수면이 현재의 위치에 도착까지인 6,000~7,000 yr BP 이전까지로 추정된다(Saito, 1998a; Yoo *et al.*, 2002). 해침퇴적체는 일반적으로 해침침식면(ravinement surface; RS)에 의해 상부와 하부 퇴적층으로 구분된다. 해침 침식면은 파랑과 조류에 의해 연안의 침식작용으로 형성되는 경계면으로서, 해침사 파도나 조류에 의해 해안지역 퇴적층이 침식과 퇴적이 반복되는 과정에서 해침침식면 바로 위로 상부 해침퇴적체인 얇은 세사 모래층(fine sand)과 사퇴 모래층이 형성된다(Nummedal *et al.*, 1993). 그러나 탄성과 단면도상에서 확인되는 연구지역 내의 니질 퇴적체 발달지역에서는 해침 침식면 위에 상부 해침층 없이 바로 니질 퇴적층이 나타난다(Figs. 3~5). 이는 연구지역에서 획득된 탄성과 단면의 수직 해상도가 이론상 10cm 내외이지만 주변 환경요인때문에 실제 해상도는 이 보다 클 것으로 예상된다. 따라서 적어도 10cm 보다 얇은 상부 해침퇴적층이 발달한다면 탄성과 단면에서 확인이 불가능하다. 그러나 니질층이 발달한 지역을 제외한 여러 지역에서 해침 침식면위에 사퇴 퇴적층이 다수 발견되며, 이들은 해침 과정에서 주로 조류에 의해 형성된 것으로 알려져 있다(Yang, 1989; Saito *et al.*, 1998; Berne *et al.*, 2002; Yoo *et al.*, 2002).

최상위에 발달한 니질 퇴적층 Unit 2는 최대 범람면(maximum flooding surface; MFS)위에 발달하고 있다(Figs. 3~5). 탄성과 단면상 해침 침식면위로 상부 해침 퇴적체가 결여되고 바로 고해수면 퇴적체

(highstand systems tract; HST)로 해석되는 니질 퇴적층이 발달하고 있어, 고해수준 퇴적체와 해침퇴적체를 경계하는 최대범람면과 해침 침식면이 동시에 나타난다. 즉, 중간 경계면은 해침침식면과 최대범람면이 겹쳐진 동일한 층서경계면으로 해석된다. 일반적으로 대륙붕에서 니질의 고해수준 퇴적체는 해수면이 현 해안선에 도달한 약 6,000~7,000년전 이후 형성된 것으로 해석되고 있다. 연구해역에서 채취된 주상시료의 연대측정결과에 의하면 이 니질 퇴적체는 해수면이 안정화된 후기 현세(3,000 to 870 yr BP)동안 퇴적된 것으로 확인되었다(임, personal communication).

4.2. 니질퇴적체(mud patch)의 기원과 형성

니질 퇴적체의 전반적인 외형적 퇴적형태는 침식 저지대를 채운 얇은 판상을 보이며, 원형형태의 분포 양상으로 발달하고 있다. 그리고 내부 음향특성은 대체로 하부의 투명에서 상부의 반투명 반사형태와 함께 희미하게 연속적이고 평행한 내부 층리가 발달하고 있다. 이러한 상부의 내부층리는 부유퇴적물을 함유한 혼탁류가 니질 분포지역까지 이동 운반되어 해저바닥으로 서서히 퇴적된 결과로 해석된다. 지금까지 이들 니질 퇴적물의 기원은 황해기원(DeMaster *et al.*, 1985; Milliman *et al.*, 1985a; Saito, 1998b) 또는 황하와 양자강의 복합기원(Yoo *et al.*, 2002)으로 논의되고 있다. 최근 윤 등(2005)은 니질 퇴적물내의 스트론튬 동위원소 분석으로부터 양자강 기원으로 주장하고 있다.

강에서 바다로 배출된 퇴적물은 하구역에 조립질 퇴적물이 집중적으로 쌓여 삼각주를 이루고 나머지 세립질 부유퇴적물은 해류나 조류에 의해 확산 이동된다. 황하와 양자강도 황해나 동중국해로 많은 퇴적물을 배출하는 세계적인 강으로서 대부분의 퇴적물이 하구와 인근 연안에 삼각주를 형성하고 소량의 퇴적물이 외해역으로 공급된다. 양자강 담수의 배출량은 홍수기 동안 연간 배출량의 80% 정도를 차지한다(Shi *et al.*, 1985). 홍수기 동안 양자강 희석수는 동중국해 외해역의 북동과 남동 방향으로 확산되고 있음이 확인되고 있다(Ichikawa and Beardsley, 2002; Chen *et al.*, 2000). Oh and Park (2004)의 수치모델 분석으로부터 하계 홍수기동안 양자강 하구에서 유출된 희석수가 남동쪽으로 이동하다 북동방향의 쿠로시오와 대만 난류와 맞물려 북동쪽으로 전환된 순환 흐름과 동계동안은 연안에 한정되어 남쪽으로 이동하는 해류 순환흐름을 제시하였다. 부유퇴적물 분포 및 해류 순환흐름 양상(Milliman *et al.*, 1985a)과 인공위성 자료 분석결과

(Ahn *et al.*, 2004)로 부터 겨울철 문순에 의해 중국의 지양수(Jiangsu) 연안해역 해저 퇴적물이 파랑과 조류에 의한 침식과 재부유된 상당량의 부유퇴적물이 황해를 거쳐 동중국해까지 남동향으로 이동 확산하는 양상을 보여주고 있다. 이러한 결과들은 양자강 희석수의 홍수기 동안과 황해연안의 동계시 각각 동중국해로 공급과 확산이 니질 퇴적물의 주요 공급원임을 지시한다. 또한 니질 퇴적체 분포지역까지 이동된 부유퇴적물이 북동진하는 대만난류에 의해 더 이상 남동쪽으로 확산하지 못하고 이 지역에 발달한 반시계 방향의 회전 흐름(cyclonic gyre)에 의해 원형의 분포형태를 이룬 것으로 해석된다(Niino and Emery, 1961; Keller and Yincan, 1985; Oh and Park, 2004). Hu (1994)는 와류(eddy)가 니질 퇴적체 분포지역과 일치하게 존재하고 있음을 발견하였으며, 더불어 니질 퇴적층의 분포는 오랫동안 와류순환의 존재를 입증하는 결과로 해석하였다. 결론적으로 니질 퇴적체는 하계동안 양자강 부유퇴적물과 동계의 고 황하 삼각주 재부유 퇴적물이 혼합되어 형성되었으며, 원형의 분포형태는 이 지역에 발달한 반시계방향의 와류 순환 흐름에 의한 것으로 판단된다.

5. 결 론

고해상 Chirp 탄성과 단면도상에서 음향기반암의 상부경계면인 “reflector-B” 위로 Unit 1과 2의 두 퇴적층서가 발달하고 있으며, 이들은 침식 경계면인 중간 반사면 “reflector-M”에 의해 구분된다. 하위 퇴적층서 Unit 1은 음향학적으로 평행 또는 준평행 반사층리와 수로 충전 퇴적상이 특징적이다. 상위 퇴적층서 Unit 2는 반투명 음향상을 보이며, 7m 이하의 얇은 랜즈형태로 발달하고 있다. 하위퇴적층서 Unit 1은 해침퇴적체로 해석되며, 최후 빙기동안 형성된 층서 경계면위에 분포한다. 해침퇴적체 Unit 1은 침식곡의 염하구 환경하에서 하천, 델타, 그리고 조간대 퇴적물로 구성된다. 해침퇴적체는 침식 저지대 지형을 보이는 최대 범람면에 의해 경계지어진다. 최대 범람면위에 놓인 Unit 2는 고해수준 퇴적체로서 저지대를 충전하는 니질 퇴적층으로 구성된다. 제주도 남쪽 약 140 km 떨어진 동중국해 북동부 대륙붕에 원형의 니질 퇴적체가 수심 약 60~90 m 사이에 집중적으로 발달해 있다. 발달 규모는 남-북과 동서 거리가 각각 약 50과 70 km이며, 분포 면적은 약 3,200 km², 부피는 약 10.7×10⁹ m³이다. 황해-동중국해의 해류순환 양상과 위성영상도 자료의 해석에 근거할 때 이 니질 퇴적물은 고향

하와 양자강에서 배출된 부유퇴적물의 혼합기원으로 해석되며, 원형의 분포형태는 연구해역에 존재하는 반시계 방향의 와류에 의해 조절된 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 “배타적 경제수역 해양자원 조사” 연구사업에 의해 지원되었습니다. 연구자료는 한국해양연구원 종합조사선 온누리호를 이용하여 획득하였으며, 이 자리를 빌려 선장님과 승조원 여러분의 노고에 감사드립니다. 본 논문을 완성하기 위해 자료와 그림을 정리해 주신 우지민 님께 감사드립니다. 마지막으로 원고를 세심하게 검토하여 논문의 완성도를 높여주신 최진용과 유동근 심사위원님께 감사를 드립니다.

참고문헌

윤정수, 임동일, 변중수, 정희수 (2005) 87Sr/86Sr 비를 이용한 동중국해 대륙붕 퇴적물의 기원 연구. 한국해양학회지 바다, 10권, p. 92-99.
 한국해양연구원 (2002) 배타적 경제수역내 해양자원조사. 해양수산부.
 Ahn, Y.H., Shanmugam, P. and Gallegos, S. (2004) Evolution of suspended sediment patterns in the East China and Yellow Seas. J. Korean Soc. Oceanogr., v. 39, p. 26-34.
 Allen, G.P. and Posamentier, H.W. (1993) Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary. France. J. Sed. Petro., v. 63, p. 378-391.
 Beardsley, R.C., Limeburner, R., Yu, H., and Cannon, G.A. (1985) Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Con. Shelf Res., v. 4, p. 57-76.
 Berne, S., Vagner, P., Guichard, F., Lericolais, G., Liu, Z., Trentesaux, A., Yin, P. and Yi, H. (2002) Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea. Mar. Geol., v. 3193, p. 1-23.
 Butenko, J., Milliman, J.D. and Yincan, Y. (1985) Geomorphology, shallow structure, and geological hazards in the East China Sea. Con. Shelf Res., v. 4, p. 121-141.
 Chen, Z., Song, B., Wang, Z. and Cai, Y. (2000) Late Quaternary evolution of the sub-aqueous Yangtze Delta, China: sedimentation, stratigraphy, palynology, and deformation. Mar. Geol., v. 162, p. 423-441.
 Dalrymple, R.W., Boyd, R. and Zaitlin, B.A. (1994) History of research, types and internal organization of incised-valley systems: Introduction to the volume. In Dalrymple, R.W., Boyd, R. and Zaitlin, B.A. (eds.) Incised-valley systems: Origin and sedimentary sequences. SEPM spec. pub. 51, p. 3-10.
 DeMaster, D.J., McKee, B.A., Nittrouer, C.A., Qin, J. and Cheng, G. (1985) Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measure-

ments from continental shelf deposits in the East China Sea. Con. Shelf Res., v. 4, p. 143-158.
 Hu, D. (1994) Some striking features of circulation in Huanghai Sea and East China Sea. In Zhou, D., Liang, Y. and Zeng, C. (eds.) Oceanology of China Seas. Volume 1. Kluwer Academic Publ., p. 27-38.
 Ichikawa, H. and Beardsley, R.C. (2002) The current system in the Yellow and East China Seas. J. Oceanogr., v. 58, p. 77-92.
 Keller G.H. and Yincan, Y. (1985) Geotechnical properties of surface and near-surface deposits in the East China Sea. Con. Shelf Res., v. 4, p. 159-174.
 Lericolais, G., Berne, S. and Fenies, H. (2001) Seaward pinching out and internal stratigraphy of the Gironde incised valley on the shelf (Bay of Biscay). Mar. Geol., v. 175, p. 183-197.
 Liu, J.P., Milliman, J.D. and Gao, S. (2002) The Shandong mud wedge and post-glacial sediment accumulation in the Yellow Sea. Geo-Mar. Lett., v. 21, p. 212-218.
 Milliman, J.D., Beardsley, R.C., Yang, Z.S. and Limeburner, R. (1985a) Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanism. Con. Shelf Res., v. 4, p. 175-188.
 Milliman, J.D., Shen, H.T., Yang, Z.S. and Meade, R.H. (1985b) Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. Con. Shelf Res., v. 4, p. 37-45.
 Niino, H. and Emery, K.O. (1961) Sediments of the shallow portions of East China Sea and South China Sea. Geol. Soc. Am. Bull., v. 72, p. 731-762.
 Nummedal, D., Riley, G.W. and Templet, P.L. (1993) High-resolution sequence architecture: a chronostratigraphic model based on equilibrium profile studies. In Posamentier, H.W., Summerhayes, C.P., Haq, B.U. and Allen, G.P. (eds.) Sequence Stratigraphy and Facies Associations. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ., 18, p. 55-68.
 Oh I.S. and Park, T. (2004) A numerical study on the dispersion of the Yangtze River water in the Yellow and East China Seas. J. Korean Soc. Oceanogr., v. 39, p. 119-134.
 Park, S.C., Yoo, D.G., Lee, K.W. and Lee, H.H. (1999) Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). Con. Shelf Res., v. 19, p. 589-608.
 Park, S.C., Hong, S.K. and Kim, D.C. (1996) Evolution of late Quaternary deposits on the inner shelf of the South Sea of Korea. Mar. Geol., v. 131, p. 219-232.
 Posamentier, H.W. and Vail, P.R. (1988) Eustatic controls on clastic deposition II-Sequence and systems tract models. In Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and Van Wagoner, J.C. (eds.) Sea-level Changes-An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ., 42, p. 125-154.
 Saito Y. (1998a) Sea level changes since the Last Glacial in the East China Sea. Quat. Res., v. 37, p. 235-242 (in Japanese).
 Saito Y. (1998b) Sedimentary environment and budget in the East China Sea. Bull. Coas. Oceanogr. Japan, v. 36, p. 43-58 (in Japanese with English abstract).
 Saito Y., Katayama, H., Ikehara, K., Kato, Y., Matsumoto,

- E., Oguri, K., Oda, M. and Yumoto, M. (1998) Transgressive and highstand systems tracts and post-glacial transgression, the East China Sea. *Sed. Geol.*, v. 122, p. 217-232.
- Shi Y.L., Yang, W. and Ren, M.E. (1985) Hydrological characteristics of the Changjiang and its relation to sediment transport to the sea. *Con. Shelf Res.*, v. 4, p. 5-15.
- Thomas M.A. and Anderson, J.B. (1994) Sea-level controls on the facies architecture of the Trinity/Sabine incised-valley system, Texas continental shelf. In Dalrymple, R.W., Boyd, R. and Zaitlin, B.A. (eds.) *Incised-valley systems: Origin and sedimentary sequences*. SEPM spec. pub., 51, p. 3-10.
- Vail, P.R., (1987) Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part I. Seismic stratigraphy interpretation procedure. In Bally, A.W. (ed.) *Atlas of Seismic Stratigraphy I*. AAPG Stud. Geol., 27, p. 1-10.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M. and Rahmanian, V.D. (1990) Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods Explo. Seri., 7, 55p.
- Yang, C.S. (1989) Active, moribund and buried tidal sand ridges in the East China Sea and the Southern Yellow Sea. *Mar. Geol.*, v. 88, p. 97-116
- Yang, Z., Saito, Y., Guo, Z. and Cui, Q. (1995) Distal mud area as a material sink in the East China Sea. In Tsunogai, S., Iseki, K., Koike, I. and Oba, T. (eds.) *Global fluxes of carbon and its related substances in the coastal sea-ocean-atmosphere system*. M and J international, Yokohama, p. 1-6.
- Yoo, D.G., Lee, C.W., Kim, S.P., Jin, J.H., Kim, J.K. and Han, H.C. (2002) Late Quaternary transgressive and highstand systems tracts in the northern East China Sea mid-shelf. *Mar. Geol.*, v. 82, p. 1-16.

2005년 8월 3일 원고접수, 2005년 9월 28일 게재승인.