

울산 강동동 중기 중신세 초기 패류화석군집 변화와 형성기작

정다운¹, 이연규², 황창한³

¹전남대학교 수산과학연구소, ²전남대학교 해양융합학과, ³울산문화재연구원

Development processes on the early Middle Miocene mollusca thanatocoenosis in Kangdong-dong, Ulsan, South Korea

Da Un Jeong¹, Yeon Gyu Lee² and Chang Han Hwang³

¹Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

³Ulsan Institute of Cultural Properties, Ulsan 44936, Korea.

ABSTRACT

Observation and division of sedimentary facies, and establishment of molluscan fossil assemblage in 5 sediment horizons of the early Middle Miocene sediment body (Shinhyeon Formation of Ulsan Basin) distributed at Kangdong-dong, Ulsan City, conducted to understand the mechanism of development and changing history of molluscan fossil assemblages. Sedimentary facies and Molluscan fossil assemblages composed of composed of 7 types (facies 1-7) and, *Crassostrea* assemblage (layer I) - *Vicarya-Cultellus* assemblage (layer II) - *Crassostrea* assemblage (layer III) - *Vicarya-Cultellus* assemblage (layer IV) - *Vicarya-Tatewaia-Striarca* assemblage (layer V) toward upper from lower layer, respectively. *Crassostrea* assemblage of layer I and III indicating the intertidal-subtidal environment and *Vicarya* assemblage of layer II, IV and V indicating the marsh-intertidal environment appeared repeatedly. It is caused by the transgression and regression of sea level.

keyword: Ulsan, Middle Miocene, Mollusca thanatocoenosis, Sea level change

서 론

연체동물문 (the phylum Mollusca) 은 동물계에서 두 번 째로 큰 규모이며, 현생종수는 약 93,000종에 이르며, 이들 중 약 75%가 권패이고, 약 22%가 이매패로 알려져 있다 (Brusca and Brusca, 2003). 이들은 지구상의 모든 수계 (담수, 기수, 해수 환경) 뿐만 아니라 심해 열수공, 극지 빙하 등의 극한 환경에서도 서식하며, 지질시대에서 약 5억 4천만 년 전부터 나타나며, 지구상에서 시공간적으로 매우 광범위하게 분

포하고 있다 (Smith *et al.*, 2011).

연체동물은 퇴적물 내에서 오래 보존, 유지 가능한 각질을 가지며, 각질유해 약 74% 이상이 퇴적층에 화석으로 보존되어, 지질시대 고환경, 고해양생태계 연구에서 유용한 도구로 사용돼 왔다 (Valentine *et al.*, 2006; Mautner *et al.*, 2018). 크기가 커서 유공층, 개형층과 같은 미화석에 비해 수집, 동정, 분류가 쉬우며 (Cofas *et al.*, 2001), 대부분 일반종에 대한 생태정보 (Cadée, 1968; Graham, 1988) 및 서식지 환경변화에 대한 군집구조 대응 정보 등도 많이 알려져 있다 (de Montaudouin and Sauriau, 1999; Ysebaert *et al.*, 2000). 따라서 해저면에 형성 보존된 패류 유해군집은 과거 장기간에 걸친 환경변화를 이해하는데 유용한 도구로서 활용되고 있다 (Mautner *et al.*, 2018; Schnedl *et al.*, 2018).

중기중신세 초기 (Early middle Miocene) 는 Burdigalian/Langhian 과도기에 해수면이 집중적으로 떨어진 이후, 광범위한 해침이 일어났던 시기로서 (Haq *et al.*, 1988; Hardenbol *et al.*, 1999), 해수면 상승과 기후변화는 지구상의 연안 해양

Received: March 10, 2023; Revised: March 21, 2023;
Accepted: March 28, 2023

Corresponding author: Yeon Gyu Lee

Tel: +82 (61) 659-7143, e-mail: lyg6342@jun.ac.kr
1225-3480/24834

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

생물 생태계에 강하게 영향을 미쳤다. 최근 연구자들은 퇴적층 내의 연체동물화석군집 조성 또는 생태환경 변화는 수리환경 및 퇴적물 공급원 변화, 해안선 변화...등에 의해 야기된 것으로서, 결과적으로 해수면변동에 기인하는 것으로 해석하고 있으며, 연체동물 화석군집을 해수면 변동에 따른 저서생태 환경 변화의 유용한 추적자로 활용하고 있다 (Espinosa *et al.*, 2003; Busschers *et al.*, 2005; Taldenkova *et al.*, 2005; Zinke *et al.*, 2005; Cronin *et al.*, 2007; Dominici and Kowalke, 2007; Ivanova *et al.*, 2007; Allard *et al.*, 2008; Poirier *et al.*, 2009; Scarponi *et al.*, 2017; Mautner *et al.*, 2018; Schnedl *et al.*, 2018; Wingard and Surge, 2017).

우리나라 신생대 연체동물화석은 Yokoyama (1923) 에 의해 제주도 서귀포층에서 보고된 후, 한반도 동측 해안을 따라 소규모로 분포하는 제3기 퇴적분지 (북평, 포항, 울산, 어일, 길주-명천 분지) 에서 많은 연구자들에 의해 연구, 보고되었으며, 특히, 중기 중신세 층에서 산출하는 패류화석군집은 동해 형성시 주변지역의 고지형, 고기후, 해류흐름 등 지사학적 제현상을 이해하는데 있어서 유용한 도구로 활용되어 왔다 (Yoon, 1975; 1976a, b; 1979; Lee, 1992; Lee, 1995). 본 연구지역인 울산분지에서는 *Vicarya-Anadara* 군집, *Tatewaia* 군집, *Tatewaia-Dosinia-Cyclina* 군집, *Anadara-Dosinia* 군집, *Cyclina-Felaniella* 군집 및 *Saccella-Acila* 군집 등 6 개의 군집이 알려져 있다 (Lee, 1992). 이들 군집 중, 대표적인 화석군집은 아열대성 습지-조간대 군집인 *Vicarya-Anadara* 군집으로 일본의 *Arcid-Potamid* fauna (Tsuda, 1965) 에 대비된다. 이와 같이 한국의 중기중신세 패류화석군집은 일본 패류화석 군집과의 대비를 통해 주로 동해 형성시 주변 지역 고환경 (고쿠로시오 (Paleo-Kuroshio) 해류 이동, 일본 열도 제3기층 고환경) 변화를 이해하는데 주요한 화석군집으로 활용되어왔다.

본 연구에서는 울산시 강동동에 분포하는 중기중신세 퇴적체에서, 9개의 퇴적상을 구분하고 입도변화를 관찰하였다. 그리고 5개 층군에서 패류화석들을 채취, 분류, 군집설정을 하고, 각각의 화석군집 taphonomy로 부터 현지성, 준현지성, 이지성을 판단하여 서식환경을 설정하였다. 최종적으로, 각 층군 간에 패류화석군집 종조성, 군집 및 서식환경변화 그리고 퇴적상 및 입도변화와의 상호 비교를 통하여, 중기중신세 패류화석군집 형성, 변천사를 해수면변동 기작으로 해석하고자 하였다.

지형 지질

본 연구지역은 울산광역시 북구 강동동 구남교에서 남동방향 약 500 m 도로에 위치한 산사면이다 (Fig. 1A). 미포곡가

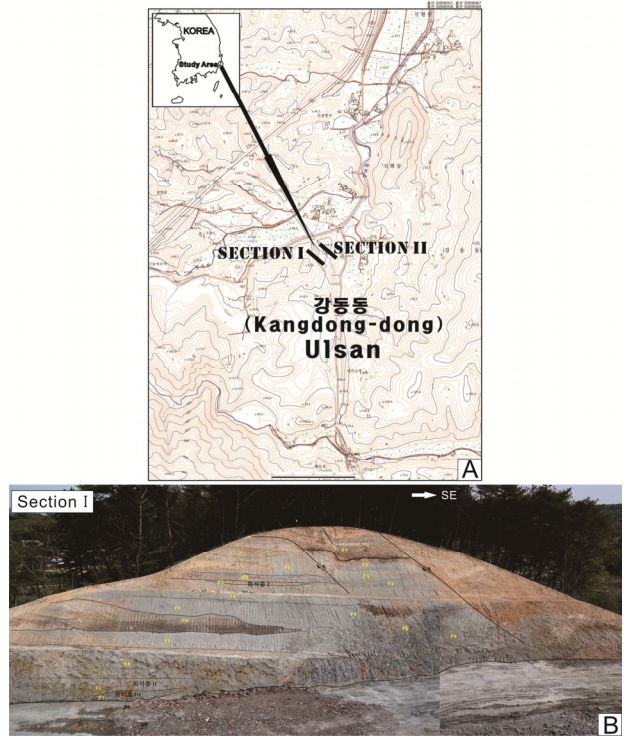


Fig. 1. Locality map (A) of study area and figures of outcrop section I (B) composed of sedimentary facies F1-F7, II (C) composed of sedimentary facies F1-F9 in Kangdong-dong, Ulsan.

산입단지 진입도로로 개설공사로 인해 NW-SE 방향, 높이 약 30-40 m (Fig. 1B) 퇴적층 사면 절토지로서 다량의 생물유해 화석을 포함한 니질-사역질의 퇴적물로 구성되어있다.

본 연구지역이 위치한 울산분지 제3기 퇴적층은 백악기의 울산층과 제3기의 당사리 안산암을 부정합으로 덮고 있으며, 제3기 퇴적층은 하부로부터 상부로 향하여 강동층과 신현층이 분포한다 (Yoon, 1976c). 최하부층 울산층은 백악기 퇴적암층으로서, 적회색 또는 녹회색 세일과 사암으로 구성되며, 무령산 주변에 분포한다. 암질은 대부분 변성작용을 받아 호온펠스화 되었고, 화강암이 관입한다. 당사리 안산암은 안산암과 안산암질 응회암으로 구성된 제3기 화산암층으로서, 중생대 암석을 관입 또는 분출하고 있으며, 강동층과 신현층으로 구성된 제3기 퇴적층에 의해 부정합으로 덮여 있다. 강동층은 정자리 죽전 마을 서측 계곡에 노출되는 지층으로서, 주로 층리 발달 및 분급이 불량한 거력질 역암 (아각력,아원력) 으로 구성되며, 얇고, 렌즈상, 중-조립질 사암층이 협재된다. NW-SE 방향으로 분포한다. 신현층은 신현리 서측 계곡을 따라 노출된 지층으로서 N-S 방향의 분포형태를 갖는다. 구성암질은 사암과 니암의 호층으로서 곳에 따라 얇은 역암층이 협재 되기도 한다. 사암은 암황색,암갈색의 세립질-중립질이며, 니암은 암적색, 암

회색을 띠운다. 신현층에는 다양한 패류화석을 산출한다. 본 연구지역은 울산분지 제3기 신현층에 해당한다.

재료 및 방법

본 연구지역에 노출된 산사면 퇴적층 절개지 노두를 대상으로 각각 하부로부터 상부로 향하여 퇴적물 구성암질, 퇴적구조, 체화석 및 생흔화석 유무, 형태 등에 기초하여 세밀한 퇴적상 구분을 하고, 주상도를 작성한 후, 각 퇴적상들 간의 상관성을 파악하였다. 패류화석 유해군집조사는 절개지 노두에서 층상으로 나타나는 5개 화석층을 대상으로 행하였다. 화석층의 산출상태를 파악하기 위하여 가능한 화석층 평면을 조심스럽게 노출시킬 수 있도록 하였으며, 산출 및 분포형태, 크기, 각 개체들의 보존상태, 산출모습 등에 대해 세밀히 조사, 관찰 후, 화석을 채취하였다. 이런 과정은 화석군집의 taphonomy로부터 현지성, 준현지성, 이지성을 판단하고 고생대 및 서식 환경을 설정하는데 중요한 자료로 활용된다. 화석유해는 정밀 발굴 후, 연구실 운반, 분류, 동정하고, 화석 개체수는 체화석 1/2 이상이 남은 것을 1개체로 하였다. 동정은 기존 문헌 (Yoon, 1976a, b; Yoon, 1979; Lee, 1992) 들을 활용하였으며, 군집 설정은 특징종 (시준, 시상화석) 및 우점 (산출빈도 10% 이상) 을 기준으로 하였다. 그리고 특징적인 화석종 및 우점종에 대해서는 사진작업을 통하여 plate에 제시하였다.

결 과

1. 퇴적상

퇴적층 단면으로부터 에서 암질, 퇴적구조, 생흔 및 패류화석의 산출특성 등을 바탕으로 7개의 퇴적상 (F1-F7) 이 구분되었으며, 하부로부터 상부로 퇴적상 변화는 Fig 2와 같다.

1) 퇴적상 F1

퇴적상 F1은 전반적으로 회색 내지 암회색질의 균질한 이암으로 이루어져 있으며, 최하부층으로서 렌즈상으로 발달한 굴패각 화석층이 나타남이 특징이다. 굴패각층은 하부에서 침식 경계면의 특성을 보이며, 최대 두께는 60 cm, 폭은 작게는 1 m 미만에서 크게는 3 m 이상에 달한다. 굴패각들은 매우 밀집된 상태로 산출되며, 대체로 특정한 방향 없이 무질서한 배열을 이루나, 간혹 장축이 수직적으로 배열된 상태로 산출되기도 한다. 일부 굴패각 화석들에서는 천공구조가 관찰된다.

2) 퇴적상 F2

퇴적상 F2는 얇은 층 내지 엷층으로 발달된 실트질 이암과 세립사암 내지 실트스톤 교호층으로 구성된다. 세립사암 내지

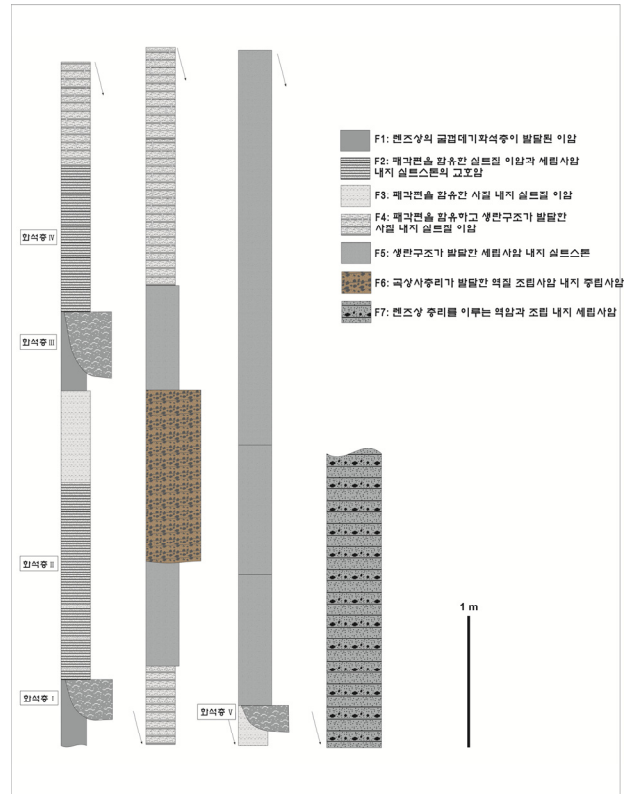


Fig. 2. Columnal sections of outcrop section with five molluscan fossil layers (I-V) in Kangdong-dong, Ulsan.

실트스톤의 하부는 뚜렷한 침식 경계를 가지고 상부의 이암으로 가면서 세립화하는 점이적인 변화를 보인다. 세립사암 내지 실트스톤에서는 부분적으로 연흔층리와 렌즈상의 층리가 나타난다. 이 퇴적상에서는 이매패류와 복족류의 패각편과 갑각류의 갑각이 다량 산출된다. 이들은 대체로 2-3 mm 크기를 가지는 파편 상태로 산출하며, 압착되어 산출되거나 거의 완전한 형태를 이루며 개체로 층리에 평행하게 배열되어 산출된다. 일부 탄화된 식물화석이 산출한다.

3) 퇴적상 F3

퇴적상 F3은 회색의 사질 내지 실트질 이암으로 이루어져 있다. 대체로 두꺼운 층으로 발달하며, 이매패류 및 복족류의 패각편들이 대부분 파편 형태로 나타난다. 패각편들은 드물게 산출되며, 층리 발달은 매우 미약하다.

4) 퇴적상 F4

퇴적상 F4는 회색 내지 녹회색의 사질 내지 실트질 이암으로 구성되며, 패각편을 함유하고 생흔구조가 발달한 퇴적상이다. 부분적으로 엷층리가 발달되어 있으나, 생흔에 의해 교란되어 있다. 이 퇴적상에서 산출되는 패각편들 역시 파편의 형

태로 산출되며, 산출 밀집도는 앞서 기술한 퇴적상들에 비해 매우 낮은 편이다. 한편, 이 퇴적상에서는 드물게 탄화된 식물편 화석도 산출된다.

5) 퇴적상 F5

퇴적상 F5는 퇴적상 F4와 같이 생란구조가 발달되어 있으나, 괴상의 세립사암 내지 실트스톤으로 이루어져 있고, 패각편이 산출되지 않는다. 암색은 회색 내지 암회색을 이루며, 매우 드물게 탄화된 식물편 화석이 산출된다.

6) 퇴적상 F6

퇴적상 F6은 곡상사층리가 발달된 두꺼운 층의 역질 조립사암 내지 중립사암이 렌즈상의 층리를 이루며 여러 매 중첩되어 발달함이 특징으로, 하부는 다소 평탄하고 침식적인 경계를 보이나, 상부는 사구상 (dunoid) 을 이루는 층형을 보인다. 이 퇴적상을 구성하는 역질 조립사암 내지 중립사암에는 점이층리가 발달되어 있으며, 역들의 분급은 불량한 편이다. 역들은 보통 잔자갈의 크기를 보이며, 원마도는 양호하다. 이 퇴적상의 하부에는 이암편이 함유되어 있고, 중립사암층 내에서는 수직적으로 발달된 생흔이 관찰된다. 한편, 이 퇴적상은 측면(남동방향) 으로 가면서 층의 두께가 감소했다가 다시 두꺼워지고, 구성입자의 크기도 커져서 잔자갈 내지는 왕자갈로 구성된 역암으로 전이되는 현상이 나타난다.

7) 퇴적상 F7

퇴적상 F7은 두꺼운 층으로 발달된 역암과 잔자갈을 함유한 조립 내지 세립사암이 층리를 이루며 다소 교호하는 형태로 나타난다. 역암층은 침식적이고 뚜렷한 하부경계면을 가지면서 점이층을 이루며, 그 상위에 놓이는 역질 사암은 횡적으로 두께가 변화하는 렌즈상의 층리를 이룬다. 역암층의 기질부는 중립 내지 세립모래이고, 역들의 원마도는 양호하며 방향성은 나타나지 않는다.

이상과 같이 절개지 퇴적체는 7개의 퇴적상으로 구성되며, 5개 층준에서 패류화석층을 확인하였다.

2. 패류유해군집

절개면 퇴적층 5개 층준에서 패류화석 총 개체수 1,452개를 채취하고, 이때패 13속 20종, 권패 7속 9종, 총 19속 29종을 분류하였다 (Appendix 1) (Plate 1-3). 각 층별 종조성 및 산출상태, 군집설정은 다음과 같다.

1) 화석층 I

화석층 I의 암질은 세립질 니질 퇴적물로 구성되어있고, 평

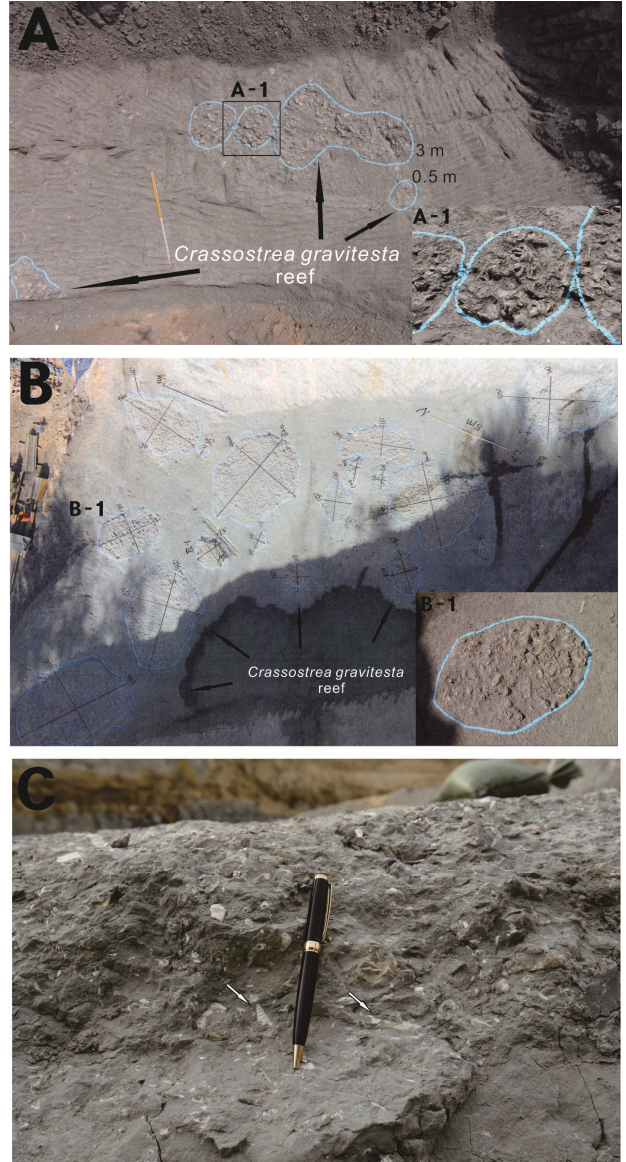


Fig. 3. Figures of molluscan fossils production (A: *Crassostrea gravitesta* reef of fossil layer I, A-1: reef of rounded type, B: developed *Crassostrea gravitesta* reef of fossil layer III, B-1: reef of subrounded type with 340 cm in diameter, C: molluscan fossil layer with 15 cm in thickness produced *Vicarya*...etc., (arrow mark).

단면상에 나타난 패각층 분포 형태는 타원형이며, 최소 장경 0.5 m에서 최대 3 m 까지 다양한 크기로 나타난다 (Fig. 3-A). 공산하는 종은 없으며, 100% *Crassostrea gravitesta* 만으로 구성되어 있고, 각 개체들은 각이 두꺼우며, 보존상태는 매우 양호하며, 군락형태를 보인다 (Fig. 3-A-1). 화석층 I의 패류화석군집은 *Crassostrea* 군집이다 (Fig. 4-A).

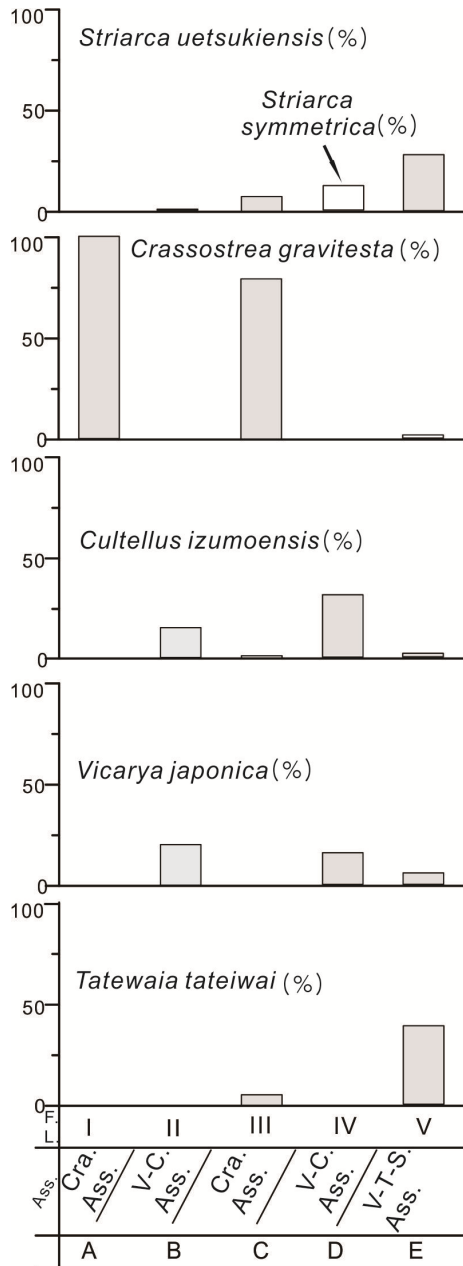


Fig. 4. Distribution of produce frequency in *Vicarya japonica* and dominant species (over 10% in produce rate). Cra. Ass.: *Crassostrea* assemblage, V-C. Ass.: *Vicary-Cultellus* assemblage, V-T-S. Ass.: *Vicarya-Tatewaia-Striarca* assemblage, F.L.: fossil layer.

2) 화석층 II

화석층 II의 구성암질은 실트질 이암-세립질 사암으로서, 패류화석은 산발적으로 산출한다. 총 개체수 149개가 채취되었으며, 이때패 7속 10종, 권패 8속 8종을 분류하였다. *Vicarya japonica*가 산출빈도 21.4%로서 가장 높게 나타나고

*Cultellus izumoensis*가 14.7%로 나타나고 있다 (그림 4-B). 그 외 *Striarca uetsukiensis*, *Striarca symmetrica*, *Anadara* sp., *Macoma* sp., *Cyclina japonica*, *Notoacmea* sp., *Vicaryella tyosenica*, *Tatewaia yamanarii*, *Euspira meisensis*, *Chicoreus* sp. 등이 수반한다. *Cultellus izumoensis*는 양각이 붙은 상태이며, 그 외 이때패도 각 가장자리 및 표면 무늬 보존 상태는 양호하게 나타난다. *Vicarya japonica*는 각정이 다소 유실되어 나타나나 전반적으로 보존상태가 양호하다. 화석층 II의 패류화석군집은 *Vicarya-Cultellus* 군집이다.

3) 화석층 III

화석층 III은 굴 패각층으로서 니질의 세립질 퇴적물로 구성되어있다. 굴 패각층의 평단면 (30 × 20 m) 을 보면 (Fig. 3-B), 총 14개의 개체군 집단이 나타나며, 형태는 불규칙한 타원형으로, 크기는 가장 작은 것은 45 × 90 cm (단경 x 장경)이며, 가장 큰 것은 340 × 590 cm에 달한다. 개체군 집단 구성 종은 *Crassostrea gravitesta* 로서 (Fig. 3-B-1), 각 개체들은 각이 두꺼우며, 보존상태는 매우 양호하고, 군락을 이루고 있다. *Striarca uetsukiensis*, *Anadara kakehataensis*, *Cultellus izumoensis*, *Cyclina japonica*, *Tatewaia tateiwai*가 공산한다. 화석층 III의 패류화석군집은 *Crassostrea* 군집이다 (Fig. 4-C).

4) 화석층 IV

화석층 IV의 구성암질은 암회색의 실트질 이암-세립질 사암이며, 채취된 패류화석은 총 개체수 76개로 산출빈도가 매우 낮으며, 산발적으로 산출된다. 이 중 이때패 8속 8종, 권패 3속 3종, 총 10속 10종을 분류하였다. *Cultellus izumoensis*가 31.3%로 산출빈도가 가장 높으며, 다음으로는 *Vicarya japonica*가 15.6%로 나타나고 있다 (Fig. 4-D). *Striarca symmetrica*, *Anadara* sp., *Macoma* sp., *Maetra* sp., *Solidicorbula nisataiensis*, *Vicaryella tyosenica* 등이 공산한다. *Cultellus izumoensis*가 양각이 붙은 상태로 산출하며, 표면 무늬보존이 양호하다, 전반적으로 소형부터 대형으로 다양한 크기들이 산출한다. 화석층 IV는 *Vicarya-Cultellus* 군집이다.

5) 화석층 V

화석층 V는 절개면 section I의 최상부층에 분포하며, 구성암질은 암회색의 실트질 이암-세립질 사암이고, 화석층의 두께는 약 15 cm 전후로서 패류화석이 밀집된 형태로 방향성 없이 무질서하게 산출한다 (Fig. 3-C). 패류화석 총 개체수 1,032개가 채취되었고, 이때패 8속 10종, 권패 3속 3종, 총 10속 13종

이 분류되었다. *Tatewaia tatewai* 가 38.7%로 가장 높은 산출빈도를 보이고, *Striaraca uetsukiensis*가 27.6%로 나타나고 있다. 그리고 *Anadara kakehataensis* (7.2%), *Cyclina japonica* (7.2%), *Vicarya japonica* (5.6%), *Megaxinus khataii*, *Trapezium cheonbugensis*, *Trapezium* sp., 등이 공산한다. *Tatewaia tatewai*는 보존이 양호하며, *Striaraca uetsukiensis*는 양각이 합병되고, 표면의 무늬 보존이 잘되어 있다. 본 화석층은 *Vicarya-Tatewaia-Striarca* 군집이다 (Fig. 4-E).

토 론

본 연구지역 중기중신세 퇴적층에서 나타나는 5개의 패류화석 군집은 하부로부터 상부로 향하여 *Crassostrea* 군집 (I층) - *Vicarya-Cultellus* 군집 (II층) - *Crassostrea* 군집 (III층) - *Vicarya-Cultellus* 군집 (IV층) - *Vicarya-Tatewaia-Striarca* 군집 (V층) 으로 변해간다.

I층과 III층은 동일한 *Crassostrea* 군집으로서 *Crassostrea* 군락이 초 (reef) 를 형성하고 있으며, 주 구성종인 *Crassostrea gravitesta*는 각이 크고, 두껍게 나타나고 있다. 초의 형성은 주변의 파, 조류 등의 외부환경으로부터 상호 보존, 유지하기 위하여 집단적 서식을 위해 형성되었다 (Chinzei, 2013). 그리고 *Crassostrea* 는 chalky-structure shell 을 이용해서 세립질 퇴적물 내/상부에 원측각으로 부착, 서식하는 종 (Chinzei, 1982a, b) 으로서, 두꺼운 chalky-structure shell 형성은 포식자로부터 방어하기 위하여 각질 성장을 빠르게 한 것으로 알려져 있다 (Kirby, 2001; Lombardi et al., 2013; Robinson et al., 2014). *Crassostrea* 종은 마이오세, 플리오세 초기 동안 각이 두꺼워지고 빠르게 성장하는 시기를 거쳐 현재 비교적 작고, 얇은 각질로 변해왔으며 (Kirby and Jack, 2004), 이러한 변화는 포식자를 피하기 위하여 서식지를 천해로부터 하구, 조간대로 옮김에 기인하며 (Kirby, 2000; 2001), 형성된 초는 형태구조상 지질학적으로 짧은 시간 유지되었던 것으로 알려져 있다 (Harzhauser et al., 2016). 현존하는 *Crassostrea*는 생태환경에서는 스트레스를 많이 받는 하구역, 조간대 지역에 주로 서식한다 (Zang et al., 2012).

따라서 초를 형성하는 화석층 I층, III층의 *Crassostrea* 군집은 현지성 군집으로, 과거 하구역, 조간대-조간대 환경에 서식한 것으로 생각된다. 그러나 III층의 *Crassostrea* 군집은 I층에 비해 초의 크기가 크고, 개수가 현저히 많으며, 초의 발달 상태에서 차이를 보인다. 수반층 또한 I층에 비해 III층이 다양하게 나타나고 있다. 이러한 군집발달 및 종다양성에서의 차이는 서식환경 차이에 기인하는 것으로서, III층의 *Crassostrea*

군집 서식환경이 I층 보다 더욱 안정적이고, 좋은 환경이 긴 시간 지속되었던 것으로 생각된다.

II층과 IV층에서는 *Vicarya-Cultellus* 군집, V층에서는 *Vicarya-Tatewaia-Striarca* 군집이 분포한다. 3개 층 동일하게 *Vicarya japonica*를 특징종으로 하는 *Vicarya* 군집들이다. *Vicarya japonica*는 Yabe and Hataii (1938) 에 의해 기재된 종으로서 일본 중기 중신세 초기를 지시하는 시준화석 으로서, Arcid-Potamid fauna의 대표종이며, 아열대성 습지 환경을 지시하는 것으로 알려져 있다 (Tsuda, 1965; Tsuda et al., 1986; Lee, 1995). 그리고 3개 층에서 각각 우점하는 *Cultellus izumoensis*, *Tatewaia tatewaii*, *Striarca uetsukiensis*는 조간대 서식종으로 알려져 있다 (Yoon, 1976a, b; Lee, 1992). *Cultellus izumoensis*와 *Striarca uetsukiensis*는 양각이 붙어 있으며, 각 표면 무늬가 선명하며 보존상태가 매우 양호하다. *Tatewaia tatewaii*도 보존상태가 매우 양호하며, 산출빈도가 매우 높다. 이들은 현지성 종들로 생각된다. 따라서 II층과 IV층의 *Vicarya-Cultellus* 군집, V층의 *Vicarya-Tatewaia-Striarca* 군집들은 현지성군집으로서 습지-조간대 환경을 지시하고 있다.

이상과 같이 하부 I층으로부터 상부 V층으로 향하여 조간대-조하대의 *Crassostrea* 군집, 습지-조간대의 *Vicarya-Cultellus* 군집, 조간대-조하대의 *Crassostrea* 군집 그리고 습지-조간대의 *Vicarya-Cultellus* 군집, *Vicarya-Tatewaia-Striarca* 군집으로 변해간다. 일반적으로 해수면이 상승하면, 저서생태계 서식지는 대형수생식물계로부터 굴이 우점하여 형성된 굴패각 층과 같은 이때 패 화석층들로 이루어진 단단한 기질 (biogenic hard bottom) 로 광범위하게 변하게 된다 (Mautner et al., 2018). 그리고 해안선은 후퇴하게 퇴적물 공급은 줄어들며, 패각층들이 형성된다 (Scarponi et al., 2017; Schnedl et al., 2018). 이처럼 수심이 얇은 연안 해역에서 해수면 변화는 연체동물의 서식 생태환경에 변화를 야기하고, 결과적으로 연체동물화석군집 조성 변화가 발생을 야기한다 (Taldenkova et al., 2005; Zinke et al., 2005; Ivanova et al., 2007; Allard et al., 2008; Poirier et al., 2009; Scarponi et al., 2017; Mautner et al., 2018; Schnedl et al., 2018).

따라서 조간대-조하대 환경의 *Crassostrea* 군집과 습지-조간대 환경의 *Vicarya* 군집의 반복적 출현은 해수면 상승과 하강의 반복적 변동에 기인하는 것으로 생각된다 (Fig. 5 C-F).

결 론

울산광역시 북구 강동동 중기 중신세 신현층 퇴적층의 5개 (I-V층) 층준에서 나타나는 패류화석 군집 서식환경 및 형성과정 변화를 파악하고자 하였다. 그 결과, 조간대-조하대 환경을

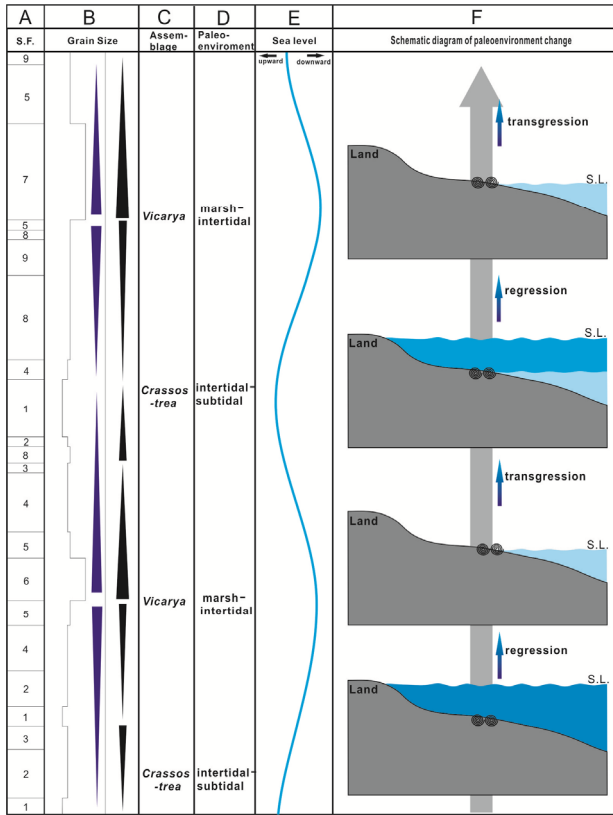


Fig. 5. Schematic diagram of paleoenvironment change based on the sea level change, paleoenvironment, molluscan fossil assemblage, grain size and sedimentary facies. S.F: sedimentary facies, S.L: sea level.

지시하는 I층, III층의 *Crassostrea* 군집과 습지-조간대 환경을 지시하는 II층, IV층, V층의 *Vicarya* 군집이 상호 반복적으로 나타나고 있으며 (그림 5 C-F), 이러한 수심의 낮아짐과 깊어짐의 반복은 해수면변동에 의한 해퇴와 해침에 기인한 것으로 생각된다. 이상과 같은 울산분지 신현층 패류화석군집에서 나타나는 중기 중신세 해수면 변동에 대한 이해는 동시기의 포항 및 어일분지 패류화석군집과의 상호 비교를 통하여 한반도 중기 중신세 고환경 발달 및 변천사에 대해 재고해볼 필요가 있는 것으로 생각된다.

요 약

울산시 강동동에 분포하는 중기중신세 신현층 퇴적체에서 퇴적상 구분 및 변화를 관찰하고, 5개 층준 (I-V층) 에서 연체 동물화석들의 산출상태를 관찰하고, 채취, 분류, 군집설정을 하여, 중기중신세 패류화석군집 서식환경 및 형성과정 변화를 파악하고자 하였다. 퇴적상은 7개 (F1-F7) 으로 구성되고, 5개의 층준에서 패류화석군집이 설정되었으며, 하부로부터 상부로 향

하여 *Crassostrea* 군집 (I층) - *Vicarya-Cultellus* 군집 (II층) - *Crassostrea* 군집 (III층) - *Vicarya-Cultellus* 군집 (IV층) - *Vicarya-Tatewaia*- *Striarca* 군집 (V층) 으로 변해간다. 조간대-조하대 환경을 지시하는 I층, III층의 *Crassostrea* 군집과 습지-조간대 환경을 지시하는 II층, IV층, V층의 *Vicarya* 군집이 상호 반복적으로 나타나고 있다. 이러한 반복된 수심의 낮아짐과 깊어짐 현상은 해수면변동에 의한 해퇴와 해침에 기인한 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부 (교육부) 의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업 (No. 2020R1I1A1A01071781) 과 한국연구재단 중점연구사업 (NRF-2018- R1A6A1A-03024314) 의 지원을 받아 수행된 연구이다.

REFERENCES

Allard, J., Chaumillon, É., Poirier, C., Sauriau, P.-G. and Weber, O. (2008) Evidence of former Holocene sea level in the Marennes-Oléron Bay (French Atlantic coast). *Comptes Rendus Géoscience*, **340**: 306-314.

Brusca, R.C. and Brusca, G.J. (2003) *Invertebrates*. Second Edition. pp.936, Sinauer Associates Inc. Sunderland.

Busschers, F.S., Weerts, H.J.T., Wallinga, J., Cleveringa, P., Kasse, C., De Wolf, H. and Cohen, K.M. (2005) Sedimentary architecture and optical dating of Middle and Late Pleistocene Rhine-meuse deposits-fluvial response to climate change, sea level fluctuation and glaciation. *Netherlands Journal of Geosciences*, **84**: 25-41.

Cadée, G.C. (1968) Molluscan biocoenoses and thanatocoenoses in the Ria de Arosa, Galicia, Spain. *Zoologische Verhandlungen*, **95**: 1-121.

Catuneanu, O., 2006, *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, 375 p.

Chinzei, K. (1982a) Paleoeology of oysters (1). *Kaseki (Fossils) Paleontological Society of Japan*, **31**: 27-34 [in Japanese with English abstract].

Chinzei, K. (1982b) Paleoeology of oysters (2). *Kaseki (Fossils) Paleontological Society of Japan*, **32**: 19-27 [in Japanese with English abstract].

Chinzei, K. (2013) Adaptation of oysters to life on soft substrates. *Historical Biology*, **25**: 223-231.

Cofas, S., Le Renard, J. and Bouchet, P. (2001) Mollusca. *In*: European Register of Marine Species: a Check-List of the Marine Species in Europe and a Bibliography of Guides to Their Identification. (ed. by Costello, M.J., Emblow, C. and White, R.). pp. 180-213. Publications Scientifiques du M.N.H.N.,

- Paris.
- Cronin, T.M., Vogt, P.R., Willard, D.A., Thunell, R., Halka, J., Berke, M. and Pohlman, J. (2007) Rapid sea level rise and ice sheet response to 8,200-year climate event. *Geophysical Research Letters*, **34**: L20603, 1-6.
- de Montaudouin, X. and Sauriau, P.G. (1999) The proliferating Gastropoda *Crepidula fornicata* may stimulate macrozoobenthic diversity. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **79**: 1069-1077.
- Dominici, S. and Kowalke, T. (2007) Depositional dynamics and the record of ecosystem stability: Early Eocene faunal gradients in the Pyrenean Foreland, Spain. *PALAIOS*, **22**: 268-284.
- Espinosa, M., De Francesco, C. and Isla, F. (2003) Paleoenvironmental reconstruction of Holocene coastal deposits from the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology*, **29**: 49-60.
- Graham, A. (1988) Molluscs: Prosobranch and Pyramidellid Gastropods: Key and Notes for the Identification of the Species. Synopses of the British fauna No 2, pp. 662, Brill Academic Pub, Leiden.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. and Vail, P.R. (1988) Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea-Level Changes. *In*: Sea-Level Changes: An Integrated Approach. (ed. by Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Posamentier, H., Wagoner, J.V., Ross, C.A. and Kendall, C.G.St.C.). pp. 71-108. SEPM Special Publication.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., de Graciansky, P.-C. and Vail, P.R. (1999) Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic Framework of European Basins. *In*: Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. (ed. by de Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Jacquin T., and Vai, P.R.). pp. 3-13. SEPM Special Publications.
- Harzhauser, M., Djuricic, Ana., Mandic, O., Neubauer, T.A., Zuschin, M. and Pfeifer, M. (2016) Age structure, carbonate production and shell loss rate in an Early Miocene reef of the giant oyster *Crassostrea gryphoides*. *Biogeoscience*, **13**: 1223-1235.
- Ivanova, E.V., Murdmaa, I.O., Chepalyga, A.L., Cronin, T.M., Pasechnik, I.V., Levchenko, O.V., Howe, S.S., Manushkina, A.V. and Platonova, E.A. (2007) Holocene sea-level oscillations and environmental changes on the Eastern Black Sea shelf. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **246**: 228-259.
- Kirby, M.X. (2000) Paleoecological differences between Tertiary and Quaternary *Crassostrea* oysters, as revealed by stable isotope sclerochronology. *PALAIOS*, **15**: 132-141.
- Kirby, M.X. (2001) Differences in growth rate and environment between Tertiary and Quaternary *Crassostrea* oysters. *Paleobiology*, **27**: 84-103.
- Kirby, M.X. and Jack, J.B.C. (2004) Extinction of a fast-growing oyster and changing ocean circulation in Pliocene tropical America. *Geology*, **32**: 1025-1028.
- Lee, Y.G. (1992) Paleontological study of the Tertiary molluscan fauna in Korea. *Science Reports of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section B*, **13**: 15-125.
- Lee, Y.G. (1995) Morphological characters of *Vicarya* and nature of *Vicarya-Anadara* Association from Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, **31**: 1-9 [in Korean with English abstract].
- Lombardi, S.A., Chon, G.D., Lee, J.J., Lane, H.A. and Paynter, K.T. (2013) Shell hardness and compressive strength of the Eastern oyster, *Crassostrea virginica*, and the Asian oyster, *Crassostrea ariakensis*. *The Biological Bulletin*, **225**: 175-183.
- Mautner, A.K., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Schnedl, S.M., Tomašových, A. and Zuschin (2018) Holocene ecosystem shifts and human-induced loss of *Arca* and *Ostrea* shell beds in the norther-eastern Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **126**: 19-30.
- Poirier, C., Sauriau, P.-G., Chaumillon, E. and Allard, J. (2009) Can molluscan assemblages give insights into Holocene environmental changes other than sea level rise? A case study from a macrotidal bay (Marennes-Oléron, France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **280**: 105-118.
- Robinson, E.M., Lunt, J., Marshall, C.D. and Smee, D.J. (2014) Eastern oysters *Crassostrea virginica* deter crab predators by altering their morphology in response to crab cues. *Aquatic Biology*, **20**: 111-118.
- Scarponi, D., Azzarone, M., Kusnerik, K., Amorasia, A., Bohacs, K.M., Drexler, T.M. and Kowalewski, M. (2017) Systematic vertical and lateral changes in quality and time resolution of the microfossil record: Insights from Holocene transgressive deposits, Po coastal plain, Italy. *Marine and Petroleum Geology*, **87**: 128-136.
- Schnedl, S.M., Haselmair, A., Gallmetzer, I., Mautner, A.K., Tomašových, A. and Zuschin, M. (2018) Molluscan benthic communities at Bribuni Islands (northern Adriatic Sea) shaped by Holocene sea-level rise and recent human eutrophication and pollution. *The Holocene*, **28**: 1801-1817.
- Smith, S.A., Wilson, N.G., Goetz F.E., Feehery, C., Andarde, S.C.S., Rouse, G.W., Giribet, G. and Dunn, C.W. (2011) Resolving the evolutionary relationships of molluscs with phylogenomic tools. *Nature*, **480**: 364-367.
- Taldenkova, E., Bauch, H.A., Stepanova, A., Dem'yankov, S. and Ovsepyan, A. (2005) Last postglacial environmental evolution of the Laptev Sea shelf as reflected in molluscan, ostracodal, and foraminiferal faunas. *Global and Planetary Change*, **48**: 223-251.
- Tsuda, K. (1965) Neogene molluscan assemblages in the inner zone of Northeast Japan-with the special reference to the Middle Miocene assemblages. Kaseki (Fossils) *Paleontological Society of Japan*, **10**: 20-23 [in Japanese].
- Tsuda, K., Itoigawa, J. and Yamanoi, T. (1986)

- Mangrove swamp fauna and flora in the Middle Miocene of Japan. *Paleontological Society of Japan, Special Papers*, **29**: 129-134.
- Valentine, J.W., Jablonski, D., Kidwell, S. and Roy, K. (2006) Assessing the fidelity of the fossil record by using marine bivalves. *Proceedings of the National Academy of Science*, **103**: 6599-6604.
- Wingard, G.L. and Surge, D. (2017) Application of Molluscan Analyses to the Reconstruction of Past Environmental Conditions in Estuaries. *In: Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies*. (ed. by Weckström, K., Saunders, K.M., Gell, P.A. and Skilbeck, C.G.). pp.357-387. Springer, Dordrecht,
- Yabe, H. and Hataii, K.M. (1938) On the Japanese species of *Vicarya*. *Science reports of the Tohoku Imperial University. 2nd series, Geology*, **19**: 149-172.
- Ysebaert, T., de Neve, L. and Meire, P. (2000) The subtidal macrobenthos in the mesohaline part of the *Schelde Estuary (Belgium): influenced by man?* *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **80**: 587-597.
- Yokoyama, M. (1923) On some fossil shells from the Island of Saishu in the Strait of Tsushima. *Journal of the College of Science, Tokyo Imperial University*, **44**: 1-9.
- Yoon, S. (1975) Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Part 1. Geology. *The Journal of the Geological Society of Korea*, **11**: 187-214.
- Yoon, S. (1976a) Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Part 2. Paleontology (Mollusca), No. 1, Systematic Description of Bivalvia. *The Journal of the Geological Society of Korea*, **12**: 1-22.
- Yoon, S. (1976b) Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Part 2. Paleontology (Mollusca), No. 2, Systematic Description of Scaphopoda and Gastropoda with descriptions of fossil localities. *The Journal of the Geological Society of Korea*, **12**: 63-78.
- Yoon, S. (1976c) The Tertiary deposits of the Ulsan Basin No. 1. Tertiary deposits in the eastern block. *Pusan National University, College of Liberal Arts and Sciences Journal*, **15**: 67-71.
- Yoon, S. (1979) The Tertiary deposits of the Ulsan Basin. No. 2. Molluscan fossils. *The Journal of the Geological Society of Korea*, **15**: 1-36.
- Zang, G., Fang, X., Guo, X., Li, L., Luo, R., Xu, F., Yang, P., Zhang, L. Wang, X., Qi, H., Xiong, Z., Que, H., *et al.* (2012) The oyster genome reveals stress adaptation and complexity of shell formation. *Nature*, **490**: 49-54.
- Zinke, J., Reijmer, J.J.G., Taviani, M., Dullo, W.-C. and Thomassin, B. (2005) Facies and faunal assemblage changes in response to the Holocene transgression in the Lagoon of Mayotte (Comoro Archipelago, SW Indian Ocean). *Facies*, **50**: 391-408.

Appendix 1. The early Middle Miocene molluscan fossil list produced from outcrop section I (layer I-V).

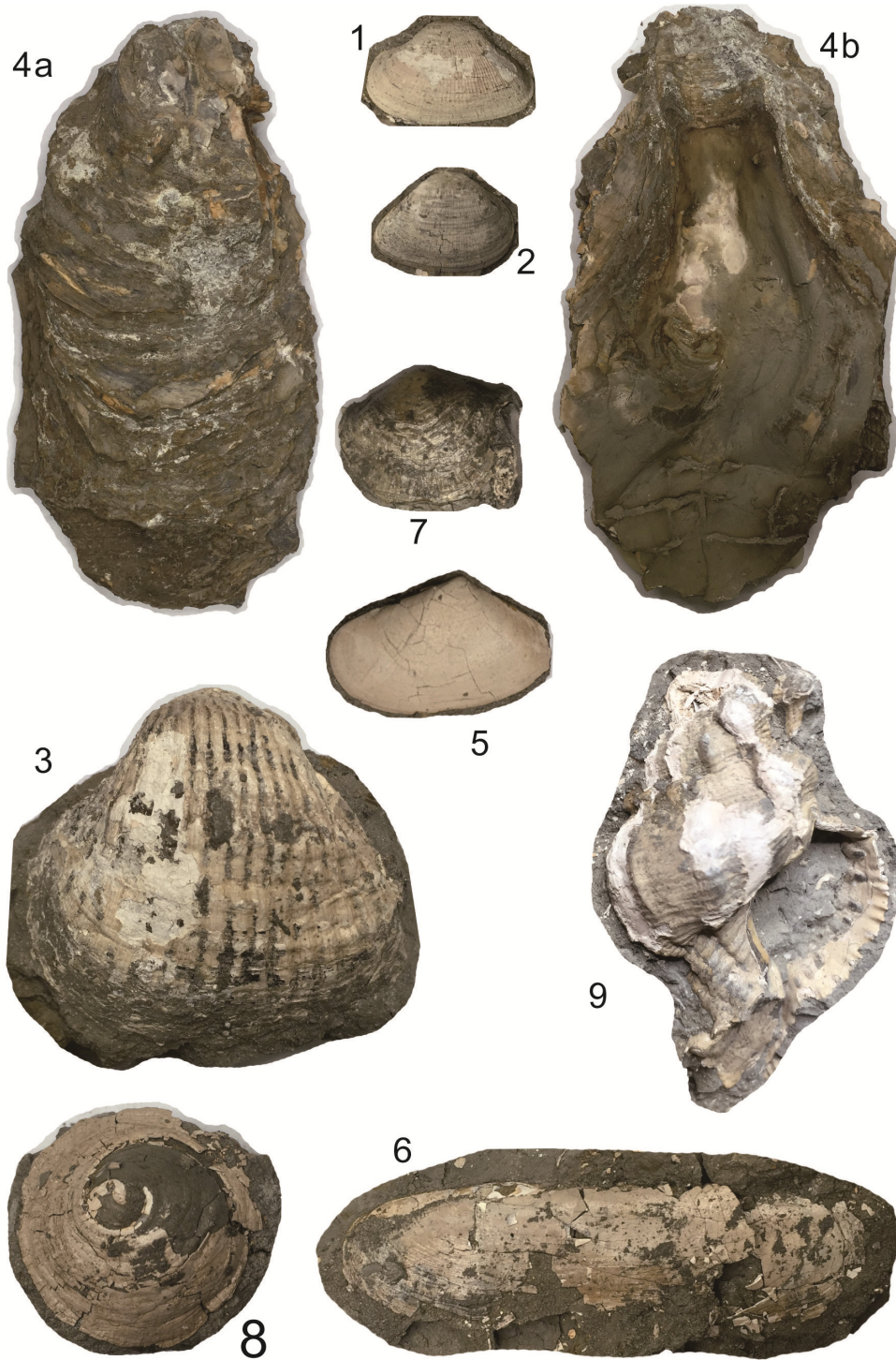


Plate 1.

I 층: *Crassostrea gravitesta*, Figs. 4a,b x 0,5

II 층: *Striarca symmetrica*, Figs 1 x 1,4, 2 x 1,2; *Anadara kakehataensis*, Fig 3 x 1,1; *Macoma* sp., Fig. 5 x 1,0; *Cultellus izumoensis*, Fig 6 x 0,6; *Notoacmea* sp., Fig. 7 x 0,7; *Calyptrea tubura*, Fig. 8 x 1,0; *Rhizophorimurex* sp., Fig. 9 x 1,3.

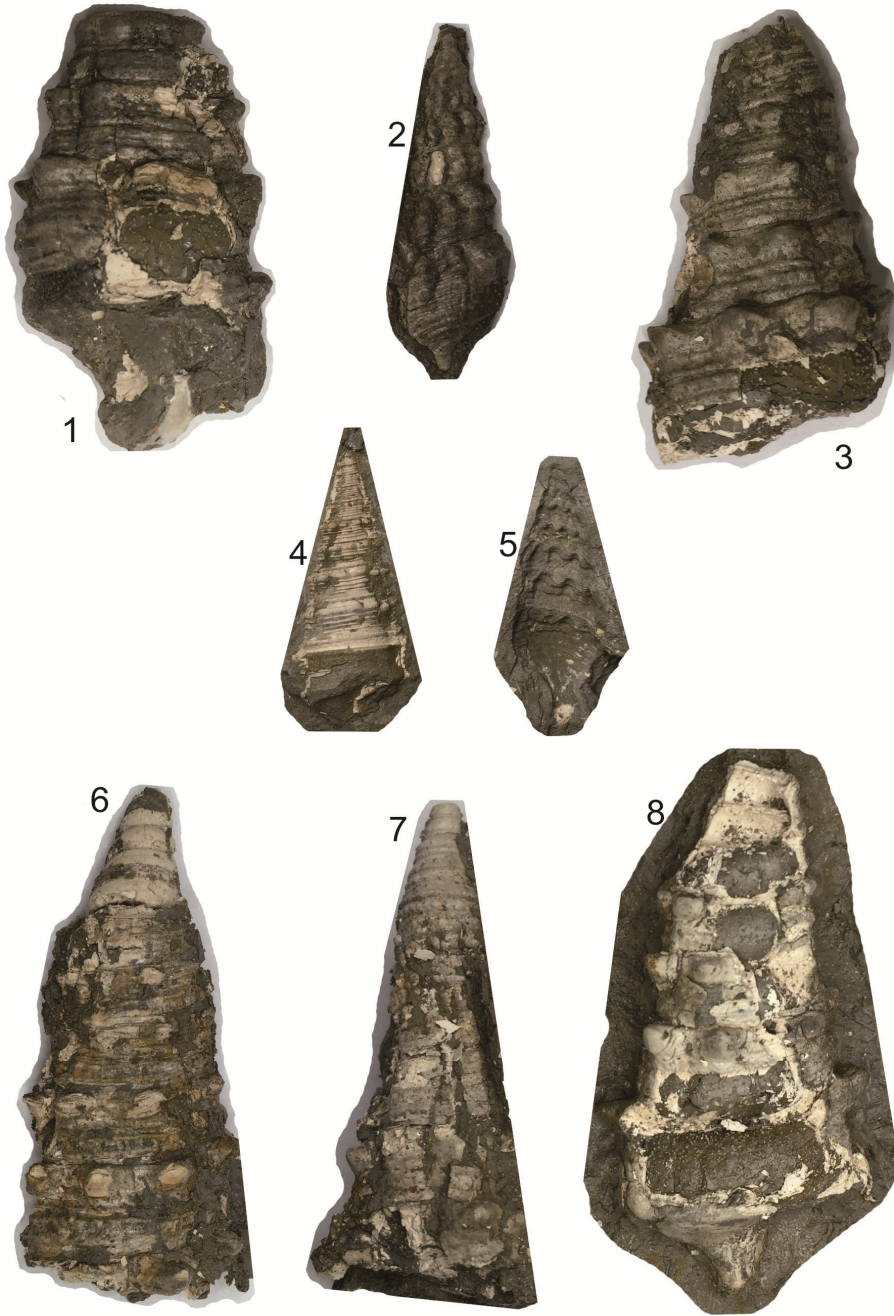


Plate 2.

II 층: *Vicarya japonica*, Figs. 1, 3, 6, 7, 8 x 1.0; *Tatewaia yamanarii*, Figs. 2, 5 x 1.2; *Vicaryella ishiana*, Fig. 4 x 1.2.

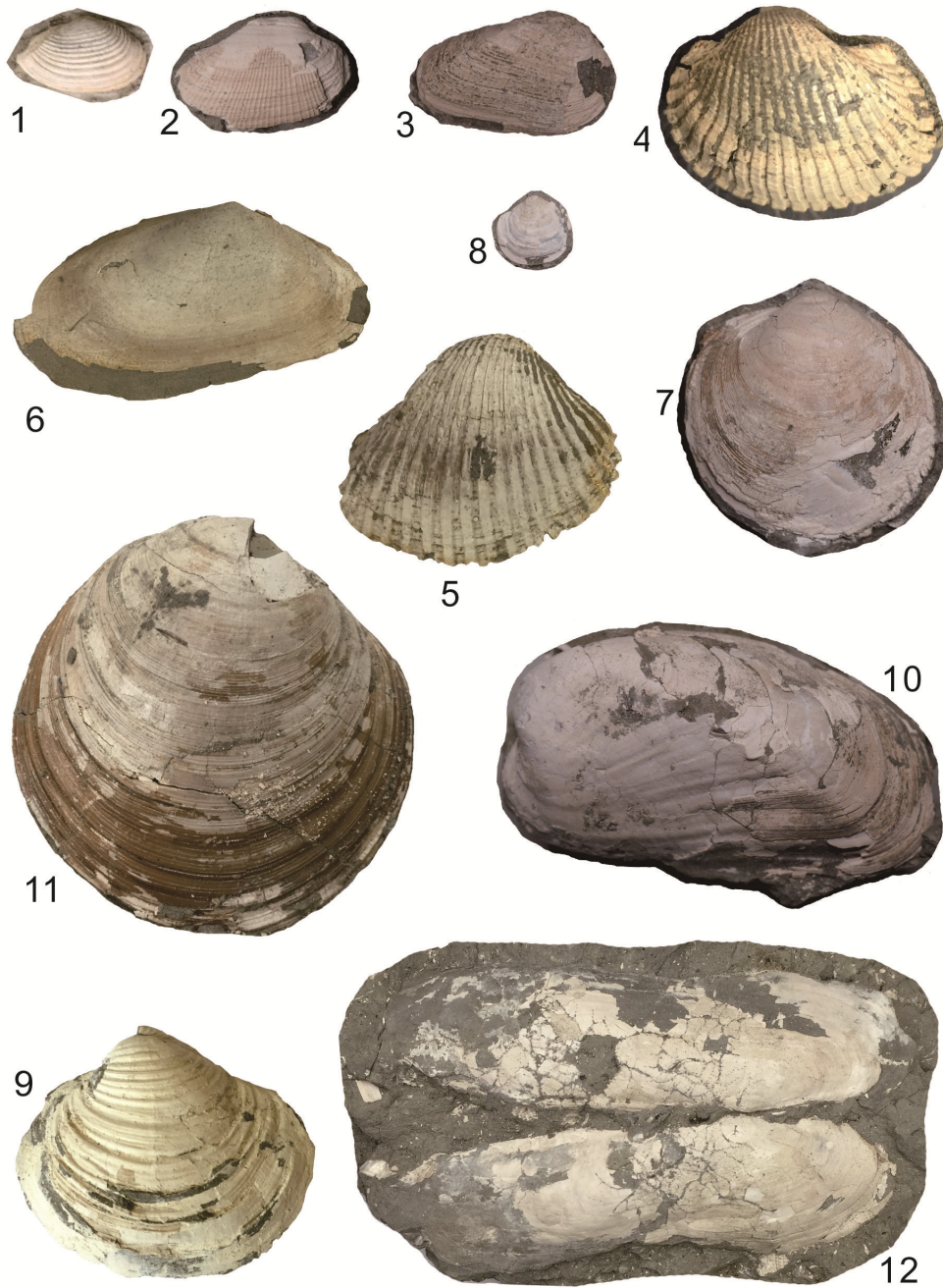


Plate 3.

IV층: *Anadara* sp., Fig. 4 x 1.2; *Anadara kakehataensis*, Fig. 5 x 1.2; *Macoma* sp., Fig. 6 x 0.9; *Megaxinus khaii*, Fig. 8 x 1.0; *Cyclina* sp., Fig. 11 x 0.8

V층: *Solidicorbura nisataiensis*, Fig 1 x 1.4; *Striarca uetukiensis*, Figs. 2 x 1.2, 3 x 1.4; *Cyclina japonica*, Fig. 7 x 1.3; *Clementia japonica*, Fig. 9 x 1.0; *Trapezium* sp., Fig. 10 x 1.0; *Cultellus izumoensis*, Fig. 12 x 0.6.