

새만금 주변 갯벌 이매패류 개체군의 서식밀도와 각장크기 조성

최진우¹, 권봉오², 윤서준¹, 남정호³, 김종성¹

¹서울대학교 해양연구소, ²군산대학교 해양생물자원학과, ³한국해양수산개발원

The shell size compositions and densities of bivalve populations at tidal flats around the Saemangeum

Jin-Woo Choi¹, Bong-Oh Kwon², Seojoon Yoon¹, Junggho Nam¹ and Jong Seong Khim¹

¹Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Marine Biology, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

³Korea Maritime Institute, Busan 49111, Korea

ABSTRACT

This study was focused to know what happened to three bivalve resources (*Ruditapes philippinarum*, *Mactra veneriformis*, and *Meretrix petechialis*) at tidal flats around the Saemangeum during recent years. The population density of *M. petechialis* at the Yubu-do tidal flat has been gradually declined by the continuous harvesting of fishermen and reached to be a very low density of 0.6 ind./m². Because a very low juvenile recruitment is expected due to the lack of larval supply from a very low fertilization rate due to its low adult density, it is necessary to provide some protective sites containing dense adults of *M. petechialis* in order to avoid the Allee effects in Yubu-do tidal flat. In the case of the populations of *R. philippinarum* and *Mactra veneriformis* at Wi-do tidal flat, there was no natural recruitment during recent two years and few small individuals of these two species and only large individuals were found compared with those from Yubu-do and Sinshi-do, especially at the lower tidal flat due to the accumulation of fine sediments. For *Ruditapes* and *Mactra* populations, it should be necessary for a detailed a detailed monitoring study to solve problems on the survival of juveniles and recruitment failure and to know whether there are some relationships between the high mortality and recruitment failures and fine particle depositions at the tidal flats.

Keywords: bivalves, size-frequency structure, recruitment failure, tidal flat, Saemangeum dike

서 론

새만금 방조제 건설에 의해서 과거에 김제, 부안 연안에 넓게 발달하였던 새만금갯벌이 사라졌고, 만경강과 동진강 하구역과 연안해역이 새만금 담수호 또는 최근 방조제 수문개방으로 기수호로 변모하게 되었다. 현재에 남아 있는 갯벌로는 금

강 하구역 주변의 작은 섬인 유부도와 고군산군도 및 위도 등 작은 섬을 중심으로 형성되어 있는 소규모 갯벌들이다. 과거 새만금갯벌을 이루던 김제, 부안의 갯벌에는 백합과 동죽이 주된 패류자원으로 어획되었으나, 이들 패류자원은 금강하구인 유부도 모래갯벌에 남아 있고, 고군산군도의 하나인 신시도와 선유도 갯벌에는 바지락 양식장이 형성되어 바지락 개체군이 유지되고 있다. 곱소만 외곽에 위치한 위도에도 소규모 갯벌이 형성되어 있어서 바지락 양식장으로 이용되고 있었다.

전북 연안역에서의 패류 자원에 대한 연구는 많지 않는데, 군산연안의 동죽의 유생밀도와 가입 치패의 밀도와 시간에 따른 성장을 연구한 Ryou and Chung (1995), 동죽의 산소소비에 관한 연구 (Lee, 1996) 등이 있다. 인천 송도갯벌의 동죽을 대상으로 위생학적 안전성 확보를 위한 토사배출에 관한 연구가 있었다 (Song *et al.*, 2001). 말뚝합에 대한 연구는 새

Received: December 09, 2022; Revised: December 26, 2022;
Accepted: December 31, 2022

Corresponding author: Bong-Oh Kwon

Tel: +82 (63) 469-4593, e-mail: bongkwon@kunsan.ac.kr
1225-3480/24826

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.

만금 갯벌이 소실된 후 충남 연안에 새롭게 형성된 개체군에 대한 축제식 양식연구 (NIFS, 2018) 와 번식생태와 인공양식에 관한 연구가 수행되었다 (Kim, 2006; Kim, 2012). 바지락 개체군에 대한 연구는 전북 연안이 모래갯벌이 우세하여 거의 이루어지지 않았으며, 김제 연안에서 생식 발달과 연령 및 성장에 관한 연구가 있다 (Chung *et al.*, 1994). 바지락에 대한 연구는 김제 연안에서의 생식소 발달과 성장 (Chung *et al.*, 1994), 태안 안면도 갯벌에서의 조위별 성장 (Han *et al.*, 2012) 에 관한 연구가 있고, 대부분의 연구는 남해안의 바지락을 대상으로 생리생태 연구가 수행되었다 (Shin *et al.*, 2001; Yoon *et al.*, 2011; Cho *et al.*, 2008).

새만금 방조제 건설 이후 하계 홍수 시에 호수의 수위를 조절하기 위해서 다량의 담수를 배출하였고, 2021년부터는 해수를 조위에 따라서 새만금호 내부로 유입하고 유출하는 과정에서 발생하는 저층 퇴적물이 부유하고, 이들이 방조제 외부로 유출되어 주변의 갯벌에 퇴적되는 현상이 지속되고 있었다. 이러한 세립 부유물의 조간대 갯벌양식장에 쌓이면서 패류 유생의 가입을 저해하거나 착저한 치패를 묻히게 하여 치패의 생존을 위협하는 과정이 최근 2년간 이루어진 것으로 판단된다. 최근에는 새만금 방조제 외곽에 위치한 신시도와 위도의 갯벌에 세립 퇴적물이 많이 쌓여 퇴적물에 펄의 함량이 증가하여 바지락이나 동죽의 유생이 착저하는 자연적인 가입이 없으며, 살포된 치패 바지락도 세립 퇴적물에 묻혀서 폐사하는 현상이 발생한다고 현지 어민들의 주장이 있었다. 국외에서 수행된 고밀도 패류의 퇴적물에 따른 사망을 조사하는 실험에서도 일시에 다량의 퇴적물이 쌓이면 패류가 해수와 접촉을 할 수 없어서 질식사하여 사망률이 높아진다는 것을 보였다 (Peterson and Black, 1988). 한편 정자와 성숙란을 수중에 방출하는 해양생물 (broadcast spawner) 은 성체의 밀도가 극히 낮은 개체군에서는 산란 시 정자의 농도가 희석되어 수정률이 낮아지고 (Yund, 2000), 유생의 공급이 적어지는 현상 즉, 재생산 저하를 초래하는 Allee effect에 의해서 치패의 가입이 실패하여 결국 지역적인 멸절이 발생할 수 있다고 하였다 (Gascoigne and Lipcius, 2004).

본 연구에서는 이러한 어민들의 주장에 대한 현장 자료를 얻고자 하는 연구의 일환으로 수행되었으며, 주로 주요 패류 개체군의 연령조성과 크기-빈도 분포에 초점을 맞추어서 현장에서 수집된 시료의 분석에 주안점을 두었다. 따라서 현재 각 섬의 갯벌에 형성된 어장의 패류 자원분포를 조사하였고, 크기조성을 파악하여 가입이나 치패 및 어린개체의 생존에 대한 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 갯벌 자원 종

본 조사의 주된 조사지역은 위도의 갯벌과 신시도 갯벌, 유부도의 갯벌 등 3개 섬에 형성된 패류양식장을 선정하였다 (Fig. 1). 각 섬의 갯벌마다 환경조건이 달라서 서식하는 패류의 종류도 달랐는데, 금강하구의 유부도에는 모래갯벌이 잘 발달하여 말백합 (*Meretrix petechialis*) 과 동죽 (*Mactra veneriformis*) 이 주로 서식하고 있다. 어민들은 단가가 높은 말백합을 주로 어획해 왔지만 말백합의 현존량이 급감한 상태에 있어서 단가가 낮지만 소득을 얻기 위해서 어민들은 동죽도 어획하고 있었다. 신시도와 위도의 갯벌에는 모래갯벌에 필적당히 섞여 있어서 바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 양식이 이루어지고 있었다. 이곳에서는 대략 3년 주기로 1 cm 내외의 어린 바지락 치패를 갯벌에 살포하여 상업적인 크기의 바지락을 대상으로 어민들이 어획하고 있다. 위도에도 대리와 치도리에 갯벌이 있는데, 두 곳 모두 바지락 양식장으로 이용되고 있었으며, 치도리갯벌의 중부와 하부 조간대에는 동죽도 어느 정도 서식하고 있었다.

2. 조사방법

유부도의 말백합 서식밀도와 현존 생물량을 파악하기 위해서 2022년 3월에는 송림어촌계 소유의 4개 어장에서 각각 1개 정점 (Y1-Y4) 을 선정하였다 (Fig. 1a). 말백합 시료는 현장의 밀도를 고려하여 그레 (채집 폭 0.5 m) 를 사용하여 20 m를 끌어서 전체 채집면적이 10 m²가 되게 채집하였다. 유부도의 동죽은 2021년 6월에 하부 조간대에 4개 정점 (YB1-YB4) 을 선정하였고, 방형구 (50 cm × 50 cm 크기) 를 사용하여 각 정점에서 4회 채집하였다. 동죽의 채집은 어민이 어획하는 도구를 사용하여 손과 눈으로 채집하였다.

신시도에서는 조위에 따라 3개 정점 (S1-S3) 을 선정하였고 (Fig. 1b), 2021년 11월에 방형구를 사용하여 정점당 4회씩 바지락을 채집하였다.

위도에서의 갯벌양식장에 서식하는 바지락과 동죽 개체군의 현존량 파악을 위해서 대리갯벌에 10개 정점을 선정하였고 (Fig. 1c), 치도리갯벌에서는 12개의 정점을 선정하였다 (Fig. 1d). 두 갯벌에서의 바지락과 동죽의 서식밀도와 생물량은 2022년 10월 12일과 13일의 간조 시에 정점당 2개의 방형구에서 도수로 패류를 채집하였다.

모든 패류시료는 채집 즉시 95% 에탄올에 고정하여 분석 시까지 보관하였다. 실험실에서는 각 섬의 갯벌에서 채집된 패류 서식밀도와 생물량을 측정하였다. 패각의 크기빈도를 조사하기 위해서 모든 시료의 각장을 0.1 mm 단위까지 버니어 캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 이매패류 종별 패각의 크기-빈도 분포를 지역별로 비교하였는데, 동죽은 유부도와 위도를, 바지락은 신시도와 위도를 비교하였다. 동죽과 바지락의 연령

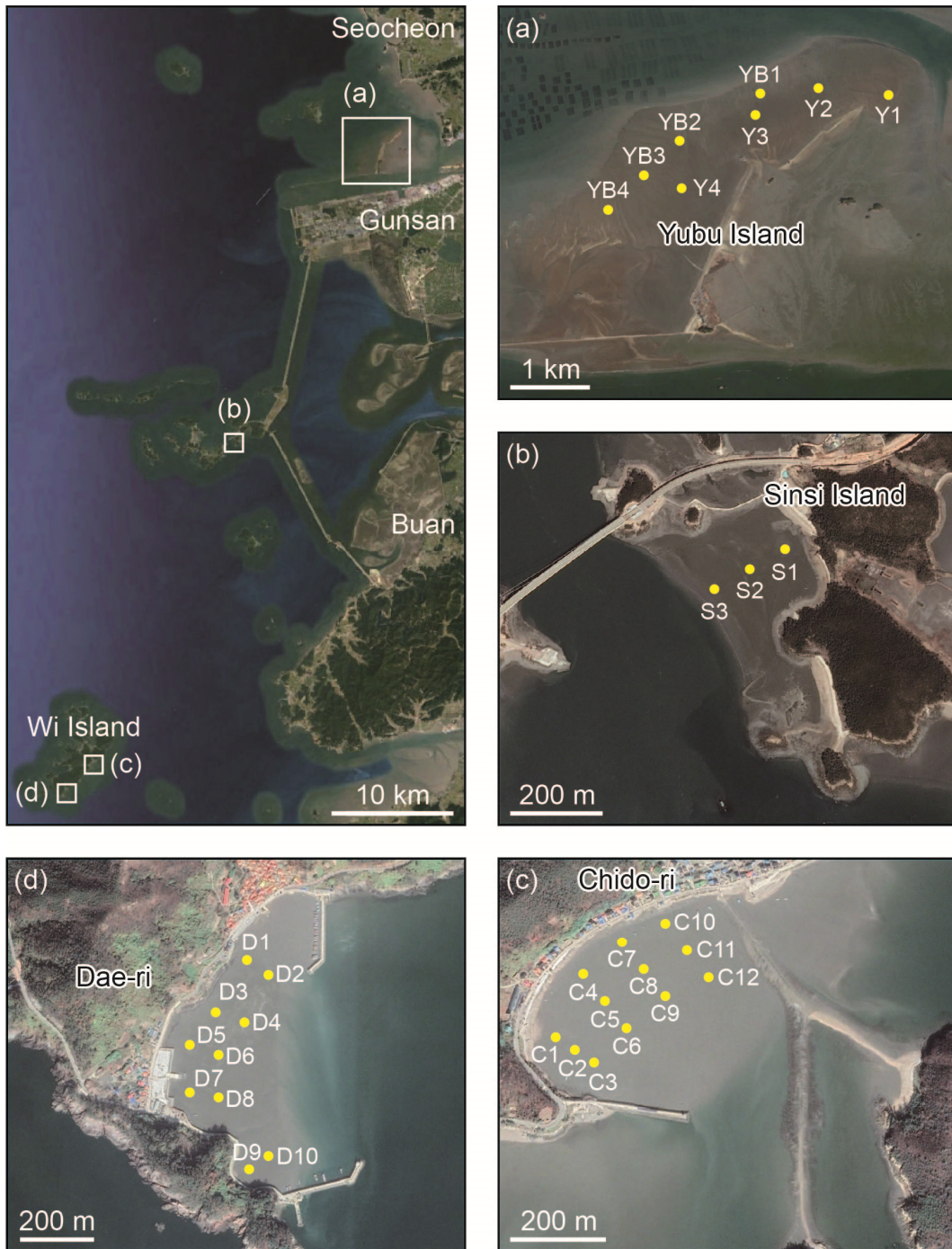


Fig. 1. Map showing the sampling sites for the populations of *Ruditapes philippinarum* and *Mactra veneriformis* at the tidal flats around the Saemangeum area. (a) Yubu-do, (b) Sinshi-do, (c) Chido-ri tidal flat of Wi-do, (d) Dae-ri tidal flat of Wi-do.

은 윤문의 평균 직경으로부터 추정하였고, 정확도를 높이기 위해서 관련 문헌을 참조하였다 (Yoon *et al.*, 2011; Ryou and Chung, 1995).

결과 및 토의

1. 유부도갯벌의 동족 및 말백합 개체군

2021년 11월에 유부도 갯벌의 4개 정점에서 중부와 허부

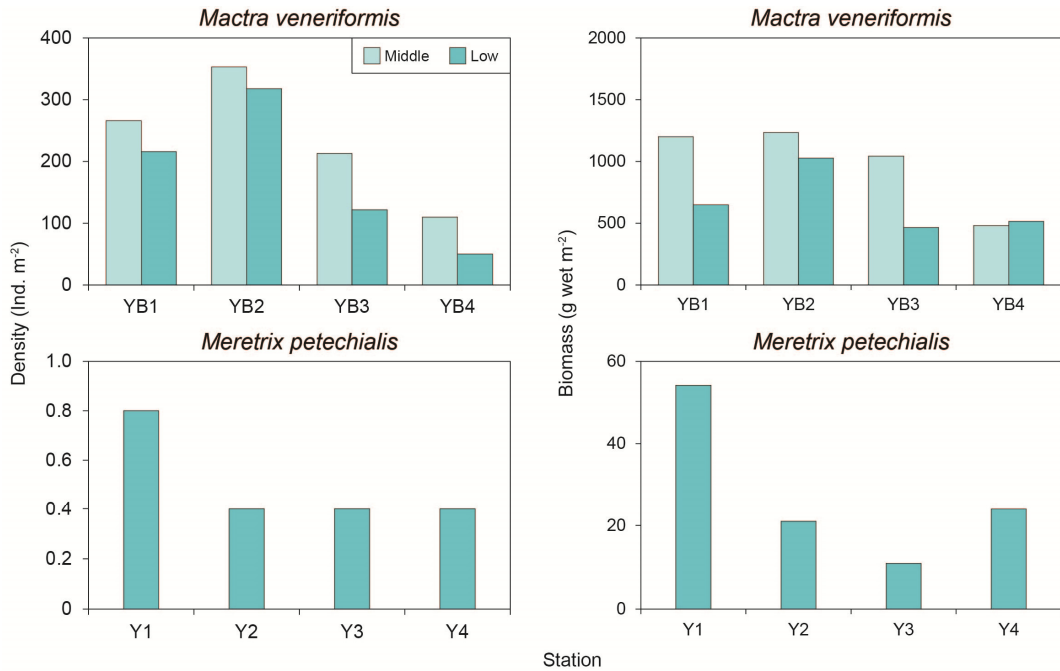


Fig. 2. The population density and biomass of *Mactra veneriformis* and *Meretrix petechialis* at the Yubu-do tidal flat during Nov., 2021 and Mar., 2022, respectively.

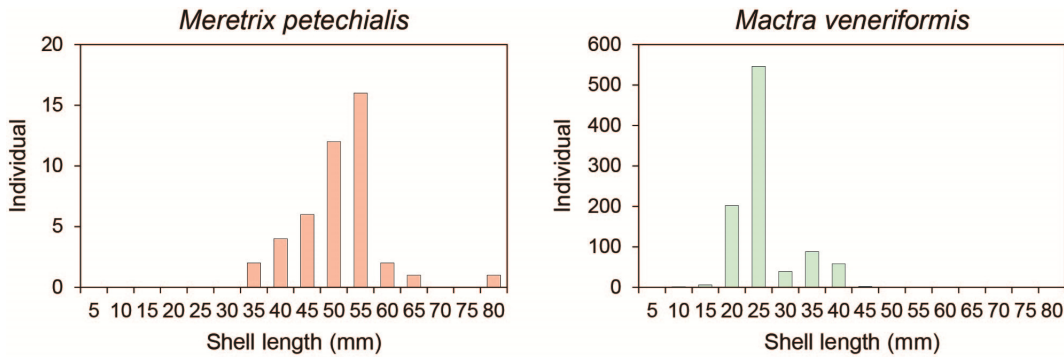


Fig. 3. The size-frequency distribution of *Meretrix petechialis* (left) and *Mactra veneriformis* (right) at the middle tidal flat of Yubu-do.

조간대에서 채집된 동족 개체군의 서식밀도와 생물량은 정점 2에서 최대 서식밀도인 318-353 개체/m²와 최대 생물량인 1,028-1,234 g/m²을 보였고, 정점 4에서 최소의 서식밀도와 생물량인 각각 50-110 개체/m²와 483-515 g/m²을 보였다 (Fig. 2). 대체로 조간대 중부지역에서 동족의 서식밀도와 생물량이 많았다. 유부도 말백합의 서식밀도 조사는 2022년 3월에 조사 정점 4에서 수행되었는데, 서식밀도는 0.6 개체/m²였고, 생물량은 19.7 g/m²이었다 (Fig. 2). 유부도 모래갯벌에서 말백합이 동족과 비교하면 매우 낮은 서식밀도와 생물량을 보이고 있었는데, 이 두 개체군이 같은 지역에서 서식하고 있기에 종간 공간이나 먹이원에 대한 상호 경쟁관계에 있을 것으로 보인다.

유부도 동족의 크기-빈도 분포를 보면 다른 두 개 정점에서 각장이 15 mm에서 25 mm에 속하는 동족 개체의 비중이 높았다 (Fig. 3). 한편 말백합 개체군의 경우에는 35 mm 이하의 소형 개체는 전혀 채집되지 않았고, 각장이 55 mm 크기의 개체가 가장 높은 출현빈도를 보였다. 동족에서 1세 이하의 소형개체가 많이 출현한 것과 대조를 보였다.

유부도의 주요 패류자원인 말백합의 경우에는 서식지인 유부도가 다른 말백합 개체군으로부터 격리되어 있어서 타 해역으로부터 유생이 공급될 가능성이 매우 낮다. Gascoigne and Lipcius (2004) 의 이론에 따르면 정자와 성숙란을 수중에서 방출하는 해양생물 (broadcast spawner) 은 성체의 밀도가 극

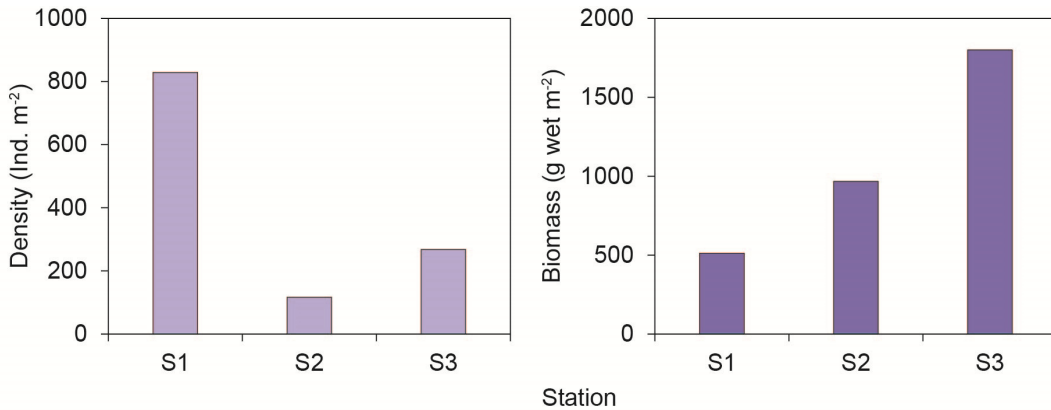


Fig. 4. The population density and biomass of *Ruditapes philippinarum* at the tidal flat of Sinshi-do, Gunsan city during Nov., 2021.

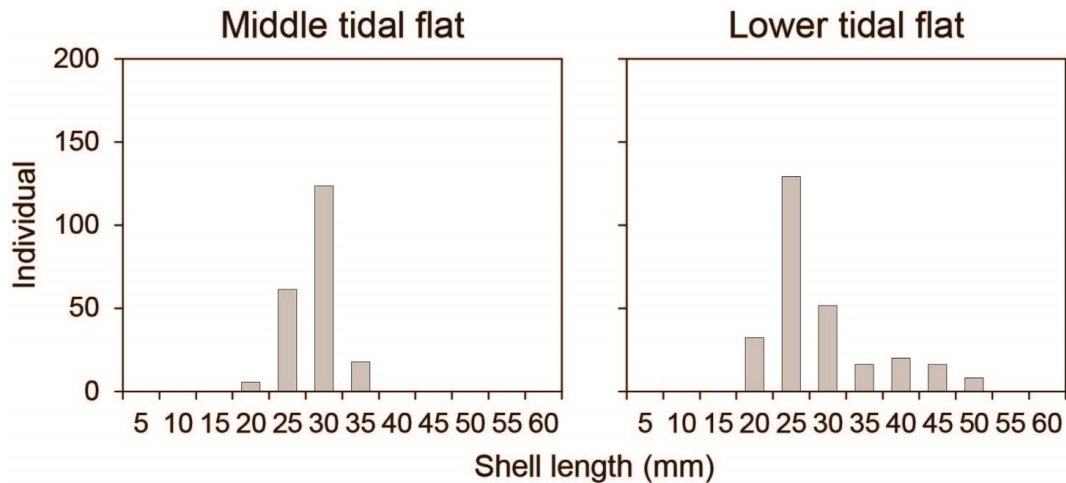


Fig. 5. The size-frequency distribution of *Ruditapes philippinarum* recently collected in the tidal flat of Sinshi-do collected at the middle tidal flat (left) and the lower tidal flat (right) of Sinshi-do outside the Saemangeum dike during Nov., 2021.

히 낮은 개체군에서는 산란 시 정자의 농도가 희석되어 수정률이 낮아지고 (Yund, 2000), 유생의 공급이 적어지는 현상 즉, 재생산 저하를 초래하는 Allee effect에 의해서 치패의 가입이 실패하여 결국 지역적인 멸절이 발생할 수 있다고 하였다. 따라서 유부도 사질갯벌에서 백합의 어린 개체가 전혀 발견되지 않은 것은 백합 개체군의 성패 밀도가 낮아서 Allee 효과로 치패가입이 실패한 것으로 보였으며, 향후 말백합이 이곳에서 멸절되어 동족 한 종만 남아 있을 것으로 생각된다.

이러한 말백합의 저밀도에 의한 멸절을 방지하기 위한 대책이 필요하다. 이는 각 이매패류 개체군의 유생 공급량을 늘려서 가입과정에서 경쟁력을 증가시키는 것이며, 이를 위해서는 성패의 서식밀도를 높이는 것인데, 현재 낮은 개체군 서식밀도 상태에서는 성패를 일정한 지역에 높은 밀도를 가지게 하는 것이 거의 유일한 방법으로 판단된다. 즉, 일종의 모태보존지역

을 설정하여 성패 어획 피난처 (harvesting refugia) 를 마련하여 어민의 어획으로부터 자유로운 상태를 만들어 주는 것이 필요하다.

2. 신시도 바지락 개체군

신시도갯벌의 조위별 바지락 개체군 서식밀도와 생물량을 보면 조간대 상부의 정점 1에서 서식밀도와 생물량에서 가장 많았다 (Fig. 4). 이는 중부와 하부지역에서는 최근까지 바지락 성패를 어획하고 있었지만 상부지역에서는 최근에 살포한 바지락 치패가 상당수 남아 있어서 나타난 결과로 보인다. 신시도갯벌의 중부와 하부 조간대에서 나타난 바지락의 각장 크기 분포는 각각 30 mm와 20 mm에서 최대 빈도를 보였고, 그 이하의 크기가 매우 적었다 (Fig. 5). 조간대 하부에서는 어획이 되고 있지만 50 mm 이상의 성패도 분포하고 있었

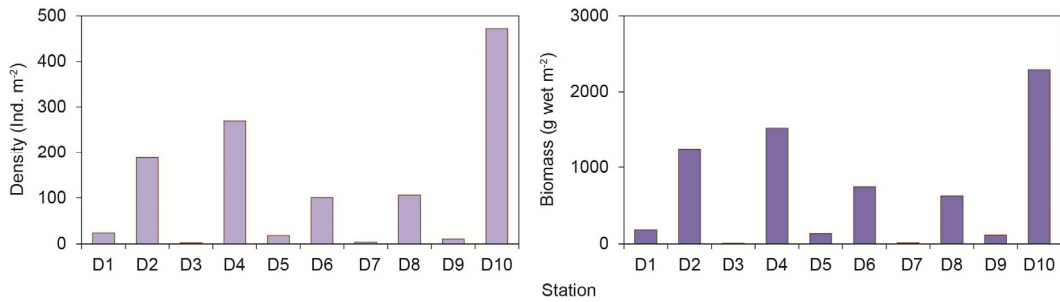


Fig. 6. The population density and biomass of *Ruditapes philippinarum* at Dae-ri tidal flat of Wi-do during Oct., 2022.

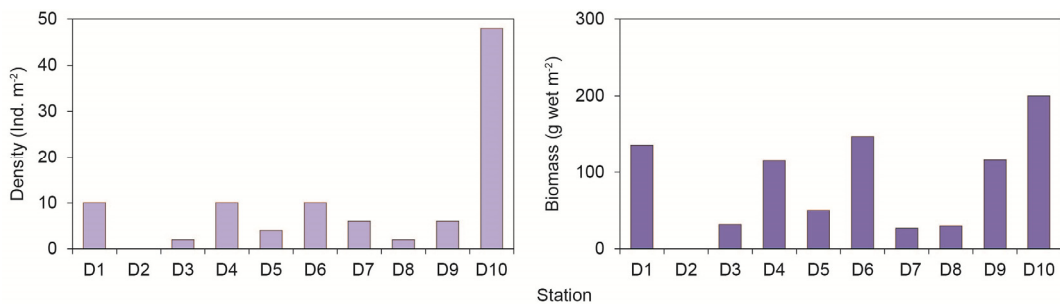


Fig. 7. The population density and biomass of *Mactra veneriformis* at Dae-ri tidal flat of Wi-do during Oct., 2022.

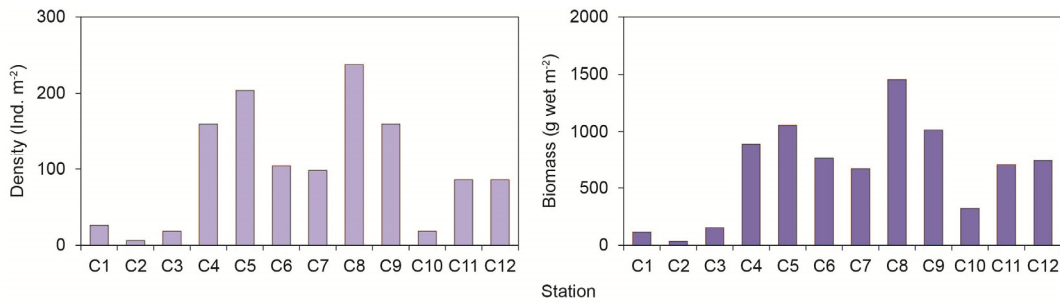


Fig. 8. The population density and biomass of *Ruditapes philippinarum* at Chido-ri tidal flat of Wi-do during Oct., 2022.

다. 중부 조간대에서는 각장 크기조성을 고려하면 성패를 어획한 후 치패를 살포하여 1-2년이 경과한 것으로 보였다.

3. 위도 대리갯벌 및 치도리갯벌의 바지락 및 동족 개체군

2022년 10월 12일에 위도 대리갯벌의 10개 정점에서 바지락의 서식밀도와 생물량을 조사한 결과 정점 2, 4, 6, 8, 10 등 조간대 중부에서 상부에 비해서 더 많은 생물량과 서식밀도를 보였다 (Fig. 6). 정점 10에서 최대 서식밀도와 생물량을 보였으며, 각각 472 개체/m²와 2,288 g/m²였다. 동족의 경우에도 바지락과 유사한 분포양상을 보였는데, 조간대 중부역에서 더 많은 생물량과 서식밀도를 보였다 (Fig. 7). 조간대 하부역에서는 2022년 3월과 5월 등의 계절 조사에서 두 개체군 모두

출현하지 않았다.

치도리갯벌에서는 바지락의 서식밀도가 갯벌 중앙부에 위치한 정점들 (정점 4, 5, 6 및 정점 7, 8, 9) 에서 상대적으로 높은 서식밀도와 생물량을 보였으나, 정점 1, 2, 3에서는 매우 빈약한 자원을 가진 것으로 나타났다 (Fig. 8). 치도리갯벌에서의 동족 서식밀도와 생물량 분포도 바지락과 유사한 양상을 보였고, 정점 12에서 가장 높은 서식밀도 (162 개체/m²) 와 생물량 (2,023 g/m²) 을 보였다 (Fig. 9).

위도의 두 갯벌에서 조사된 바지락 개체군의 크기-빈도 조성을 그림으로 나타내면 소형개체의 출현빈도가 신시도나 유부도에 비해서 매우 낮은 것을 볼 수 있었다 (Fig. 10). 바지락의 경우 치패 가입시기는 남해안에서는 7월로 추정되며, 가입 후

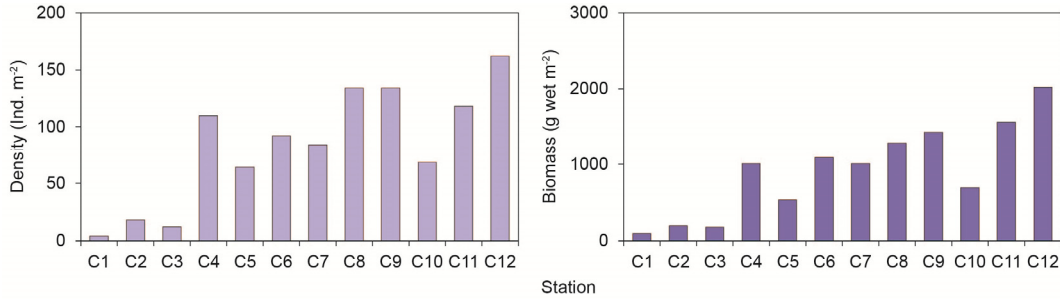


Fig. 9. The population density and biomass of *Mactra veneriformis* at Chido-ri tidal flat of Wi-do during Oct., 2022.

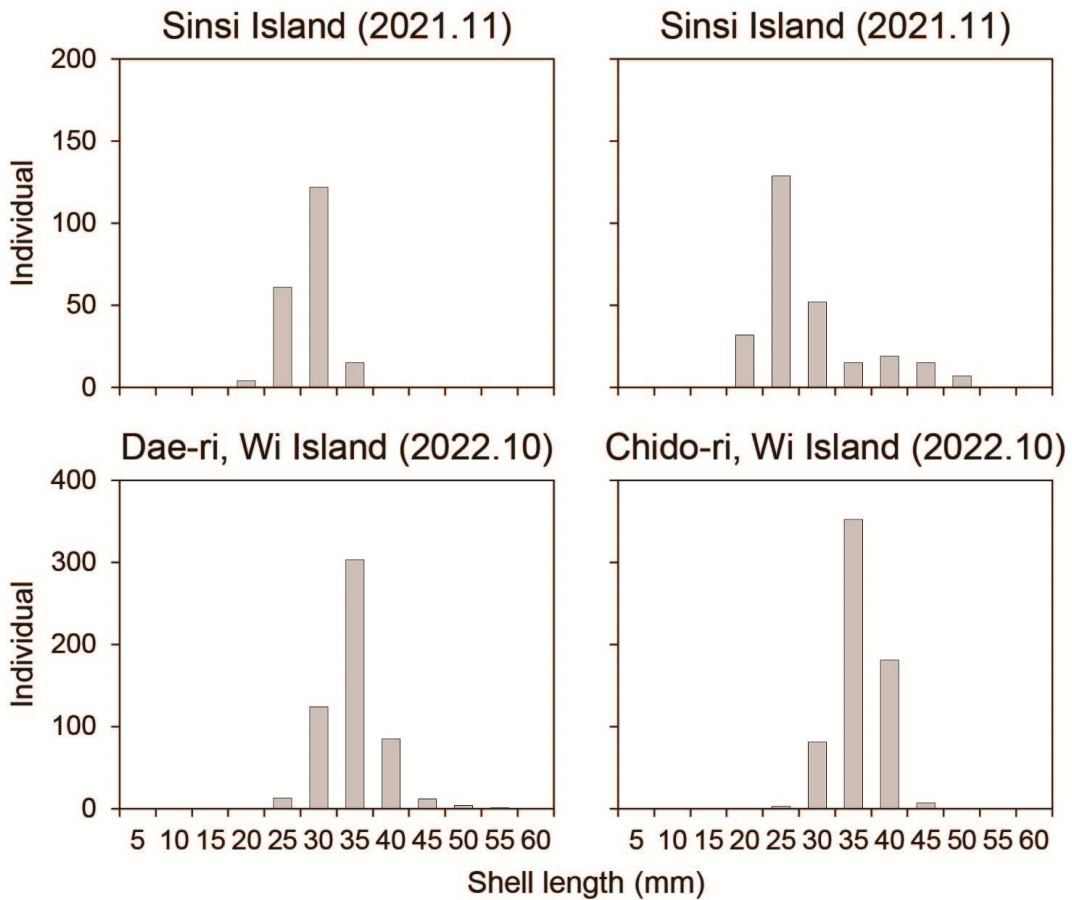


Fig. 10. The size-frequency distribution of *Ruditapes philippinarum* recently collected in the tidal flats around the Saemangeum area. (upper): collected at middle and lower tidal flat of Sinshi-do in Nov., 2021, respectively; (lower): collected at Dae-ri and Chido-ri tidal flat in Wi-do in Oct., 2022, respectively.

0세군의 평균크기는 각장이 약 5 mm에 달하고, 그 후 1세군의 평균 크기는 각장이 약 10 mm이고, 2세군과 3세군으로 갈수록 대략 각장이 5 mm씩 증가하는 양상을 보였다 (Yoon *et al.*, 2011). 따라서 성장이 거의 끝난 11월경에는 0세군에서 3세군까지의 평균 각장이 각각 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25

mm 등으로 추정된다. 이러한 추세로 볼 때 신시도의 바지락 연령은 적어도 2세군 이상으로 구성된 개체군으로 보이며, 위도의 바지락은 3세군 이상의 연령군으로 추정된다. 보통 바지락 치패를 양식장에 살포할 적에는 1세군을 많이 사용한다고 간주하면 위도의 갯벌에서는 적어도 2년 정도는 치패 살포가

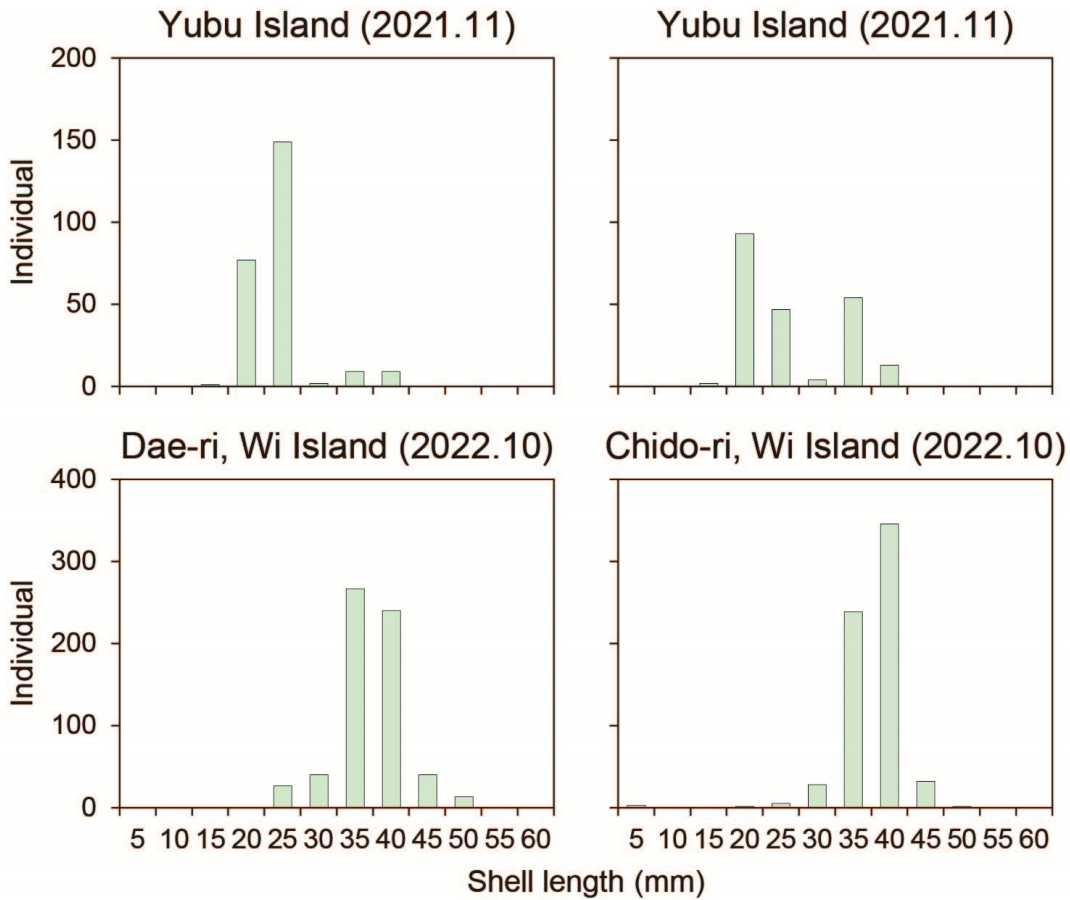


Fig. 11. The size-frequency distribution of *Mactra veneriformis* recently collected in the tidal flats around the Saemangeum area, (upper): collected at middle and lower tidal flat of Yubu-do in Nov., 2021, respectively; (lower): collected at Dae-ri and Chido-ri tidal flat in Wi-do in Oct., 2022, respectively.

없었거나, 살포하였더라도 대부분 폐사한 것으로 추정된다.

동죽의 경우에는 군산 연안에서 치패 가입이 7월에 이루어지며, 이후 빠른 성장을 보여서 10월에 0세군의 평균 각장은 25 mm, 이듬해 6월에는 평균 각장은 30 mm까지 성장한다 (Ryou and Chung, 1995). 실제 유부도의 2021년도 자료를 보면 0세군의 평균 각장은 21 mm에 이르는 것으로 추정되었으며, 30년 전의 성장 양상과 유사한 수준을 보였다. 그러나, 위도의 갯벌에서 채집된 동죽에는 평균 각장이 35 mm (대리갯벌)에서 40 mm (치도리갯벌)에 이르고 있어서 어린 개체의 밀도가 매우 낮게 나타났는데 (Fig. 11), 이러한 크기-빈도 분포를 보아서 최근 1-2년 사이에는 동죽의 치패 가입이 실패한 것으로 보인다.

전북 위도의 대리갯벌과 치도리갯벌에 서식하는 바지락과 동죽 개체군에는 최근 2년 사이에 치패의 가입이나 생존이 위협 받는 환경스트레스가 가해졌다는 것을 추정해 볼 수 있었다. 이러한 서식을 저해하는 요인을 제거하거나 해소하지 않으면 지속가능한 갯벌의 패류양식이 위협받게 될 것이다. 실제

이매패류 양식장의 가입 실패에 대한 현상을 파악하였기에 이에 대한 원인을 규명하기 위한 새만금방조제 해수유통 문제를 포함한 부유물 퇴적현상과 더불어 포식자, 질병 등의 생물학적 요인 등 다양한 분야에서의 조사연구가 필요할 것이다.

요 약

본 연구에서는 새만금 방조제 주변의 섬 갯벌에 서식하는 주요 이매패류 자원인 바지락, 말백합, 동죽 개체군의 서식밀도, 생물량, 패각크기 조성을 조사하기 위해서 2021년과 2022년에 유부도, 신시도, 위도의 갯벌에서 현장조사를 수행하였다. 유부도의 말백합은 현재 고강도 어획의 영향으로 서식밀도가 0.6 개체/m² 정도로 극히 낮았으며, 낮은 수정률과 유생의 공급이 우려되었고, 저밀도 기인 Allee effects에 의한 개체군의 지역적인 멸절을 막기 위한 모태보존지역의 설정이 필요하였다. 위도에서는 바지락과 동죽에서 다른 섬 갯벌인 유부도와 신시도에 비교하여 어린 개체가 상대적으로 조성이 낮다는 것

을 발견하였다. 특히 자연 가입이 이루어지고 있는 동쪽의 경우 위도의 두 갯벌에서 어린 개체가 거의 채집되지 않은 것은 최근 2년간 이곳에서 유생 가입과 치폐 생존에 문제가 있었음을 시사하였는데, 새만금방조제 해수유통 문제를 포함한 부유물 퇴적현상과 더불어 포식자, 질병 등의 생물학적 요인 등 다양한 분야에서의 모니터링연구가 필요하였다.

사 사

본 연구는 정부 (해양수산부) 의 재원으로 해양수산과학진흥원-새만금 주변해역 해양환경 및 생태계관리 연구개발사업 (KIMST-20140257) 의 지원을 받아서 수행된 연구입니다. 현장조사에 도움을 준 군산대학교 해양수질환경연구실의 학생들에게 감사의 뜻을 전합니다. 본 원고의 심사를 맡아서 좋은 의견을 주신 두분의 심사위원께도 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Cho, S.-M., Jeong, W.-G. and Lee, S.J. (2008) Ecologically sustainable management of short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, on the coast of Yeongi at Tongyeong, Korea. *Korean J. Malacol.*, **24**(3): 189-197.
- Chung, E.-Y., Ryou, D.-K. and Lee, J.-H. (1994) Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelyceopoda: Veneridae), on the coast of Kimje, Korea. *Korean J. Malacol.*, **10**(1): 38-54.
- Gascoigne, J. Lipcius R.N. (2004) Allee effects in marine systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **269**: 49-59.
- Han, H.S., Ma, C.W. and Kim, J.Y. (2012) Growth patterns of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* at each tidal level in the intertidal zone in Tae-an, west coast of South Korea. *Korean J. Malacol.*, **28**(1): 29-35.
- Kim, B.H., Moon, T.S., Park, K.Y., Jo, P.G., and Kim, M.C. (2010) Study on spawning induction and larval breeding of the hard clam, *Meretrix petechialis* (Lamark). *Korean J. Malacol.*, **26**(2): 151-156.
- Kim, T.-I., Ko, C.S., Hur, Y.B., Yang, M.H., and Chang, Y.J. (2011) Growth and survival of hard clam, *Meretrix petechialis* (Lamark) larvae to food organisms. *Korean J. Malacol.*, **27**(3): 175-180.
- Kim, Y.-M., Park, K.H., Chung, E.-Y., Kim, J.B., and Lee, C.-H. (2006) Changes in biochemical components of several tissues of the hard clam, *Meretrix petechialis*, in relation to gonad development phases. *Korean J. Malacol.*, **22**(2): 125-134.
- Lee, J.-Y., (1996) Study on the oxygen consumption of surf clam, *Macraa veneriformis* Reeve. *J. Korean Fish. Soc.*, **29**(5): 614-619.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science) (2018) Development of embankment culture technology for hard clam, *Meretrix petechialis*. Report No. TR-2018-AQ-003, 44 pp.
- Peterson, C.H. and Black, R. (1988) Density-dependent mortality caused by physical stress interacting with biotic history. *Amer. Nat.*, **131**: 257-270.
- Ryou, D.-K. and Chung, S.-C. (1995) Settlement and recruitment of *Macraa veneriformis* R. around the inshore of Kunsan, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **28**(5): 667-676.
- Shin, Y.-K., Kim, Y., Chung, E.-Y. and Hur, S.-B. (2001) Effects of dissolved oxygen concentration on the physiology of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**(3): 190-193.
- Song, K.-C., Mok, J.-S. Kang, C.-S. and Chang, D.-S. (2001) Sand elimination and microbial depuration in surf clam, *Macraa veneriformis*, harvested from western coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**(3): 184-189.
- Yoon, H.S., An, Y.K., Kim, S.T. and Choi, S.D. (2011) Age and growth of the short necked *Ruditapes philippinarum* on the south coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **27**: 1-7.
- Yund, P.O. (2000) How severe is sperm limitation in natural populations of marine free-spawners? *Trends in Ecology and Evolution*, **15**: 10-13.

