

# 강화 동검도 갯벌 수로 복원지 주변 퇴적환경과 저서생태계 장기간 변동

## Long-term Variation of Sedimentary Environment and Benthic Ecosystem Around Channel Restoration Site of Donggum Island Intertidal Flat, Korea

박은택\* · 고정일\*\* · 이소정\*\* · 이정호\*\*\*

Eun Taek Park · Jung Il Ko · So Jeong Lee · Jung-Ho Lee

**요약** 본 연구는 동검도 갯벌의 퇴적상과 대형저서동물의 출현양상을 밝히고자 2015년 5월-2019년 2월까지 상부조간대 4개 정점에서 매월 1회 조사를 수행하였고, 환경요인으로는 퇴적물 내 니질함량, 강열감량, 엽록소-a, 엽록소 분해산물이 측정되었다. 대형저서동물은 코어(core)채집조사와 방형구 모니터링으로 나눠진다. 코어채집 조사는 계절별(16회)로 진행되었으며 원형 아크릴 코어(입구 면적: 154 cm<sup>2</sup>)로 깊이: 30 cm 퇴적물을 3회 채취하고 0.5 mm 체를 이용하여 채집하였다. 퇴적물은 연중 변화가 거의 없는 니질퇴적상을 보였으며, 유기물함량은 2.9-6.1 % 범위를 보였다. 퇴적물은 수로 개방 이후 급격하게 침·퇴적되는 현상을 보였다. 조사기간 동안 총 20종의 대형저서동물이 출현하였으며 평균 서식밀도는 476±267.6 ind/m<sup>2</sup>로 관찰되었다. 우점종은 버들갯지렁이와 두토막눈썹갯지렁이, 털콩게, 참방게, 끈벌레류가 있다. 수로 개방 전과 후를 비교해보면 니질함량은 두 시기 모두 평균 97.6 %로 같았다. 유기물함량은 수로 개방 전(4.4 %)이 후(5.2 %)에 비해 다소 낮았다. 출현종수와 서식밀도는 수로 개통 후에도 큰 차이가 없었으며 우점종은 수로 개방 전·후 모두 고리버들갯지렁이가 최우점종으로 나타났다. 또한 수로 개방 전 참방게의 비율이 높았으나 수로 개방 이후 감소하였고 털콩게와 두토막눈썹갯지렁이의 비율이 상대적으로 증가하였다.

**키워드** 장기간 변동, 수로 복원지, 저서생태계, 동검도, 조간대 갯벌, 퇴적물

**Abstract** This study was performed to investigate the community structure of macrobenthic infauna in the tidal flat of Donggum Island in the period from May 2015 to February 2019, 4 station near the Donggum Island. Environmental characteristics were Mud content, Loss on ignition, Chlorophyll-a. Macrobenthos were collected by acrylic core (entrance area: 154 cm<sup>2</sup>, depth 30 cm). Mud content showed always over 95 %. But organic content, Chlorophyll-a showed the highest values in spring and decreased gradually from summer to fall. After reopening the channel, sedimentation rate showed rapid erosion and sedimentation. A total of 20 species were identified and mean density was 476±267.6 ind/m<sup>2</sup>. The number of species was low in winter and relatively high in spring and summer. Dominant species were *H. filiformis*, *Assimineia* sp., *I. dentimerosa*, *I. pingi*, *Nemertea* at site R and *H. filiformis*, *P. linea*, *I. dentimerosa*, *H. tridens tridens*, *Lineus* sp. in Donggum Island. After reopening channel, mud content didn't change but organic content increased. Before the reopening of channel, the ratio of *H. tridens tridens* was high, but after reopening channel, it decreased and *I. dentimerosa*, *P. linea* was relatively increased.

**Key words** Long-term variation, Channel restoration site, Benthic ecosystem, Donggum Island, Intertidal flat, Sedimentation ra

### 1. 서론

강화군 갯벌은 한강, 임진강, 예성강이 흘러들어오

는 하구에 위치하는 자연하구 갯벌로서 면적은 349.3 km<sup>2</sup>이며 전국 갯벌면적 2,487.2 km<sup>2</sup>의 약 14%를 차지한다. 강화군 갯벌은 강화도를 비롯한 우도, 불음도, 교

Received: 2019.04.30, Revised: 2019.05.24, Accepted: 2019.05.27

\* 안양대학교 해양연구소, 인천 강화군(Research Institute of Oceanography, Anyang University, Ganghwa-gun, Korea)

\*\* 안양대학교 환경공학과, 경기 안양시(Department of Environmental Engineering, Anyang University, Anyang, Korea)

\*\*\* 안양대학교 해양바이오공학과, 인천 강화군(Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Ganghwa-gun, Korea)

동도, 말도, 석모도, 서검도, 주문도, 미법도 주변에 넓게 분포한다. 강화도 주변에는 총 131.2 km<sup>2</sup>의 갯벌이 분포한다. 강화도 남쪽에는 강화군의 대표적인 갯벌인 강화남단갯벌이 분포하며 91.5km<sup>2</sup> 면적으로 단위갯벌로는 강화군에서 가장 규모가 큰 갯벌이며, 동쪽으로 길상면 초지리 부터 동검리, 선두리, 화도면의 사기리, 동막리, 흥왕리, 여차리를 거쳐 서쪽으로 장화리를 잇는 갯벌이고, 남쪽으로는 용진군 장봉도, 신도, 시도, 모도 부근까지 뻗어 있다. 강화도 남단 갯벌은 조차가 크고 경사가 완만하여 저조시 노출되는 범위가 넓은 연성 조간대가 발달해 있다. 갯벌조간대는 육지와 외해에서 생산된 물질들이 유입되어 섞이는 육상생태계와 연안생태계가 공존하는 해역이다(손과 윤, 2004). 조사지역인 강화도와 동검도는 바닷물이 유통되지 않는 구조의 연륙교로 이어져 있었고 다리를 중심으로 동측과 서측의 갯벌로 나뉘져 있었다. 1985년 연륙교 건설 이후 30년간 해수가 유통되지 않아 갯벌 퇴적이 증가하고 수심이 낮아져 왔다. 2014년부터 선두리와 동검도 사이 해수 유통을 위해 SPC 라멘교 형태의 연

륙교 확장공사를 진행해왔으며, 2017년 복원사업이 완료되었다. 이 사업으로 인해 해수가 유통되면서 갯벌이 예전의 자연 상태로 되돌아가는 물리적 변화와 생태적 변화가 야기 될 것으로 예상된다. 본 논문은 동검도 갯벌 수로 복원지 주변의 퇴적상과 저서생태계의 시간적 변동을 파악하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

동검도 갯벌 수로 복원 해역에서 대형저서동물 분포와 퇴적상을 월별로 파악하기 위해 4개 정점(D1, D2, D3, D4)을 선정하여 2015년 5월부터 2019년 2월까지 매월 1회 사리(spring tide)에 맞추어 조사를 수행하였다. 동검도 연륙교를 기준으로 남서쪽에 D1과 D2를 배치하고 북동쪽에 D3와 D4를 배치하였다. 그리고 연륙교 확장공사 이전과 이후에 대형저서동물과 퇴적환경을 채취하여 분석하였다. 또한 동일기간에 정점 A와 B에서 퇴적율을 측정하였으며, 각 정점은 동검도 연륙교를 기준으로 북동쪽에 정점 A를 설치하고, 남서쪽에

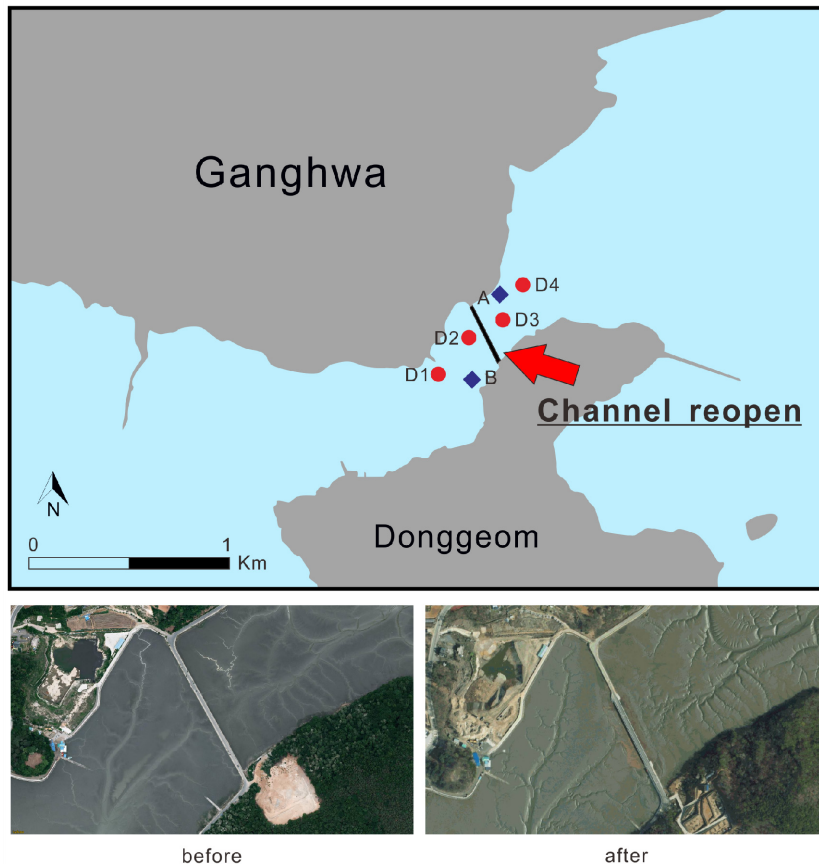


Figure 1. Map showing the sampling station in Donggeom Island, Korea

정점 B를 설치하였다. 환경요인으로는 퇴적물 내 니질 함량, 강열감량, 엽록소-a, 엽록소 분해산물의 분석하였으며, 분석방법은 해양환경공정시험법(퇴적물편)에 따라 측정하였다. 대형저서동물은 계절마다 원형아크릴 코어(입구 면적: 154 cm<sup>2</sup>)로 깊이: 30 cm 퇴적물을 3회 채집하여 0.5 mm 체로 걸러 남은 것을 포르말린으로 고정한 후 실험실에서 현미경으로 종 수준까지 동정하여 계수하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 갯벌 퇴적상의 월별변화 비교

니질함량은 조사기간에 걸쳐 94.4-99.3% 범위를 보였으며, 전형적인 니질갯벌의 퇴적상을 나타냈다. 니질함량의 월별 변화는 증가나 감소추세가 뚜렷하지 않으며 자연적인 변동범위의 값을 보여주고 있다. 표층 퇴적물 강열감량은 2.9-6.1% 범위를 보였으며, 니질함량에 비해 시공간 변화의 폭이 크다. 강열감량은 유기물함량을 나타내는 지표이며 저서미세조류의 일차생산과 저서동물의 섭식활동에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 계절에 따른 변화가 니질함량보다 상대적으로 크게 나타났다(Table 1, Fig. 2-a). 동검도의 수로 개방 전·후 평균 니질함량은 97.6% 로 같았다. 수로 복원 이후 해수의 흐름에 따른 니질함량의 변화는 보이지 않았다. 1980년대부터 2000년대 초반까지 경기만의 다양한 개발로 인해 장기적으로 갯벌의 지형과 퇴적상이 변화되어 수로 개방 이후 동검도 갯벌의 퇴

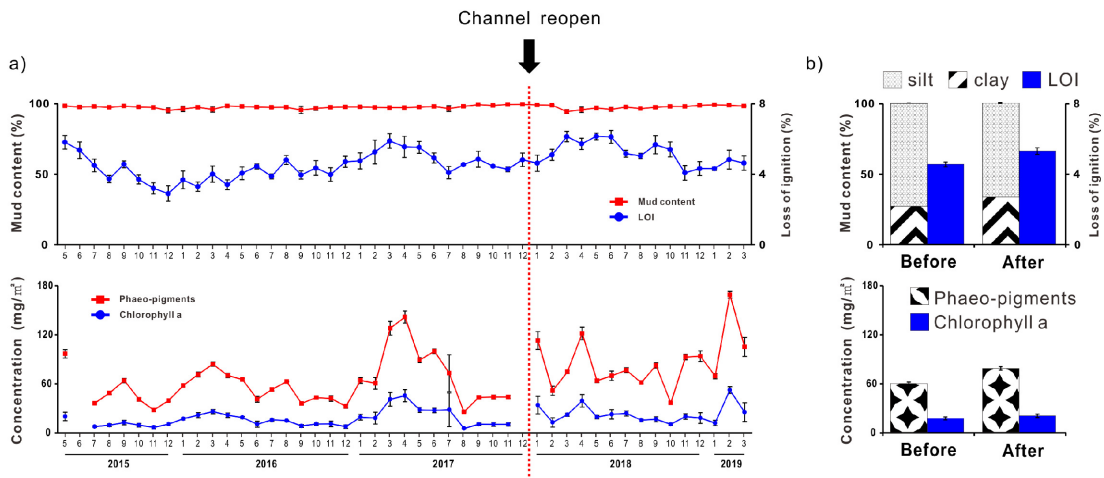
적상이 펄에서 모래펄로 바뀔 것으로 보였으나 니질함량의 변화를 보이지 않았다(우한준외, 2012; Warwick and Uncles, 1980; Snelgrove and Butman, 1994; Woo and Je, 2002; Woo et al., 2004; KORDI, 2008; Lee et al., 2011). 동검도의 수로 개방 이전 평균 유기물함량은 4.4% 였고, 개방 이후 5.2% 로 증가하였다. 수로 개방 이후 상대적으로 높은 유기물함량을 보였다(fig. 2-b). 수로 개방 전·후 silt와 clay 함량을 비교해보면, 개방 전 silt는 평균 70.4%, clay는 평균 27.0% 이었으며, 수로 개방 후 silt는 평균 62.9%, clay는 평균 33.5% 으로 나타났다. 수로 개방 후에 silt함량은 감소하고 clay함량은 증가하는 경향을 보였다. 이는 silt보다 세립한 clay입자가 유기물함량을 증가시키는 것으로 보이고 있으나 더 명확한 결과를 파악하기 위해서는 지속적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

**Table 1.** Environmental characteristics in Donggum Island tidal flat, Korea

	Mean	Before	After
MC	97.6±0.2	97.6±0.2	97.6±0.4
LOI	4.6±0.1	4.4±0.1	5.2±0.2
Chl-a	19±1.6	16.9±1.8	23±2.9

#### 3.2 퇴적물의 월별변화

퇴적물 모니터링은 시작일을 기준으로 누적되는 표층높이를 매달 기록하였다. 연륙교 북동쪽(정점 A)은 조사기간 동안 약 -11.7 cm로 침식되었다. 수로가 개방되기 전 2015년부터 2017년 12월까지 북동쪽의 침



**Figure 2.** Monthly variations of mud content and loss of ignition, chlorophyll a and phaeo-pigments(a) and before and after reopening the channel, mean mud content and loss of ignition, chlorophyll a and phaeo-pigments(b) in Donggum Island tidal flat, Korea

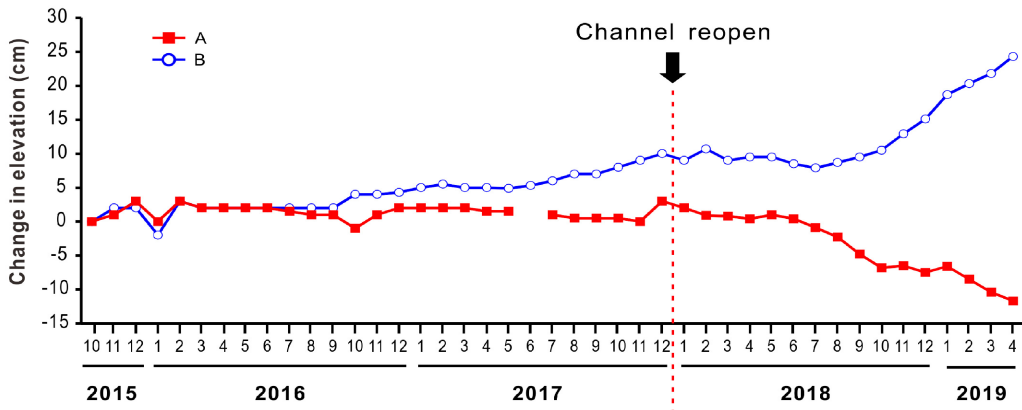


Figure 3. Monthly variations of change in elevation in Donggum Island tidal flat, Korea

식과 퇴적이 관측되나 연간 누적 퇴적량은 거의 변화가 없었다. 수로가 개방된 후 2018년 1월부터 6월까지 완만한 침식양상을 보이다가 7월 이후 2019년 4월까지 -12.1 cm 가량 급격히 침식되었다.

연륙교 남서쪽(정점 B)은 조사기간 동안 약 24.3 cm 가 퇴적되었다. 수로가 개방되기 전 2015년 10월부터 2017년 12월까지 27개월 동안 서서히 퇴적되었으며 누적된 표층높이는 2016년도에 4.3 cm와 2017년도에 10 cm로 연 평균 약 5 cm씩 퇴적되었다. 특히 매년 10월 이후에 퇴적현상이 두드러졌다. 수로 개방 이후 2018년 1월부터 5월까지 큰 변화가 없었지만 6-7월에 표층높이 7.9 cm로 침식 후 8월부터 2019년 4월까지 표층높이 24.3 cm로 급격하게 퇴적되는 양상을 보였다 (Fig. 3). 갯벌지형은 수로 개방 이후 북동쪽에서 침식

후 남서쪽으로 퇴적하는 양상을 보였다. 이는 하구역에서 흘러나오는 부유퇴적물과 북동쪽에서 침식된 퇴적물이 만나 남서쪽 지역에 퇴적되는 것으로 보인다.

### 3.3 대형저서동물군집의 장기간 변화

조사기간에 걸쳐 연륙교 인근 갯벌 4개 정점에서 총 20종이 출현하였으며, 전체 출현종수의 분류군별 조성은 갑각류 11종, 다모류 5종, 연체동물 3종, 기타 1종이었다. 계절별 출현종수는 5-12종의 범위를 보이며 겨울철인 1-2월에 종수가 다소 감소하는 경향을 보였다. 수로 개방 전 총 출현종수는 19종이며, 남서쪽과 북동쪽 갯벌의 총 출현종수는 유사했다. 반면 수로 개방 후 총 출현종수는 14종이며, 북동쪽 갯벌이 남서쪽

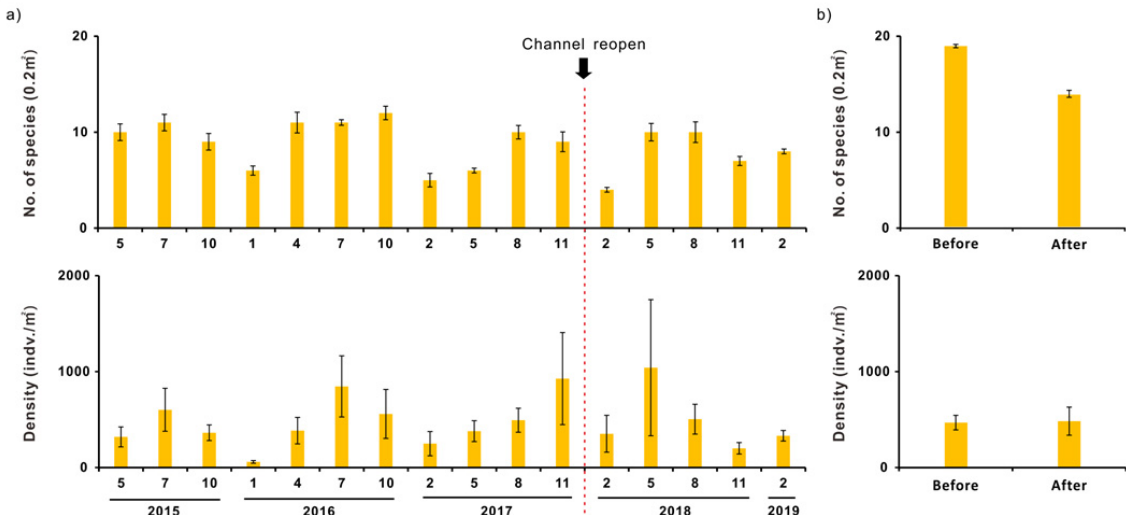


Figure 4. Monthly variations of number of species, density of macrozoobenthos(a) and before and after reopening the channel, mean number of species, density(b) in Donggum Island tidal flat, Korea

갯벌에 비해 출현종수가 높았다. 조사기간에 걸쳐 연륙교 인근 갯벌 4개 정점의 평균 서식밀도는 476±267.6 개체/m<sup>2</sup>이다. 계절별 평균 서식밀도는 249-1,041 개체/m<sup>2</sup>의 범위를 보이며 겨울철인 1-2월에 서식밀도가 감소하며 여름철인 7-8월에 증가하는 계절성을 보였다. 출현개체수의 분류군별 비율은 다모류가 67%로 가장 높고, 갑각류가 11%, 끈벌레류 5%, 연체동물 4% 순으로 나타났다. 수로 개방 이전 평균 서식밀도는 471.0±253.4 개체/m<sup>2</sup>이며, 수로 개방 이후 평균 서식밀도는 485.6±328.4 개체/m<sup>2</sup>로 평균 서식밀도 간의 큰 차이가 없었다. 수로 개방 전 출현한 저서동물 서식밀도의 분류군별 비율은 다모류가 64%, 갑각류 14%, 끈벌레류 5%, 연체동물 4% 순으로 나타났고, 수로 개방 후 출현한 저서동물 서식밀도의 분류군별 비율은 다모류가 74%로 가장 많고, 끈벌레류 6%, 갑각류 4%, 연체동물 3% 순으로 나타났다(Fig. 4).

3.4 대형저서동물의 우점종

조사지역 갯벌의 개체수 우점종은 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*), 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis linea*), 털콩게(*Ilyoplax dentimerosa*) 이었다. 조사기간 전체에 걸쳐 개체수 최우점종은 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)로 56.8 %를 차지하며, 두토

막눈썹참갯지렁이 (*P. linea*) 8.4 %, 털콩게(*I. dentimerosa*) 8.2 %, 참방게(*Helice tridens tridens*) 5.9 %의 순으로 나타났다. 수로 개방 이전 우점종은 고리버들갯지렁이, 참방게, 두토막눈썹참갯지렁이, 털콩게 이었다. 개체수 최우점종은 고리버들갯지렁이로 54.7 %를 차지하며, 참방게 8.1 %, 두토막눈썹참갯지렁이 8.4 %, 털콩게 6.7 %의 순으로 나타났다. 수로 개방 후 우점종은 고리버들갯지렁이, 털콩게, 두토막눈썹참갯지렁이, 끈벌레류 이었다. 수로 개방 전·후 모두 고리버들갯지렁이가 최우점종으로 나타났다. 또한 수로 개방 전 참방게의 비율이 높았으나 수로 개방 이후 감소하였고 털콩게와 두토막눈썹참갯지렁이의 비율이 상대적으로 증가하였다(Table 2).

3.5 우점종의 장기간 변화

조사지역 갯벌의 최우점종은 고리버들갯지렁이는 평균 270 개체/m<sup>2</sup> 로 거의 모든 시기에 높은 서식밀도를 보였다. 두 번째 우점종인 두토막눈썹참갯지렁이는 평균 40 개체/m<sup>2</sup> 로 1-2월을 제외한 모든 시기에 출현하였다. 세 번째 우점종인 털콩게는 평균 39 개체/m<sup>2</sup> 로 2월과 11월을 제외한 모든 시기에 출현하였고 4-5월에 개체수가 높았다. 네 번째 우점종인 참방게는 평균 28 개체/m<sup>2</sup> 로 7월에 가장 많이 출현하였다(Fig. 5).

Table 2. Abundance of dominant macrozoobenthic species in Donggum Island tidal flat, Korea

Mean		Before		After	
species	%	species	%	species	%
<i>Heteromastus filiformis</i>	56.8	<i>Heteromastus filiformis</i>	54.7	<i>Heteromastus filiformis</i>	61.2
<i>Perinereis linea</i>	8.4	<i>Helice tridens tridens</i>	8.1	<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	11.4
<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	8.2	<i>Perinereis linea</i>	7.5	<i>Perinereis linea</i>	10.3
<i>Helice tridens tridens</i>	5.9	<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	6.7	<i>Lineus sp.</i>	6.3
<i>Lineus sp.</i>	5.5	<i>Lineus sp.</i>	5.1	<i>Phyllodoce sp.</i>	2.9

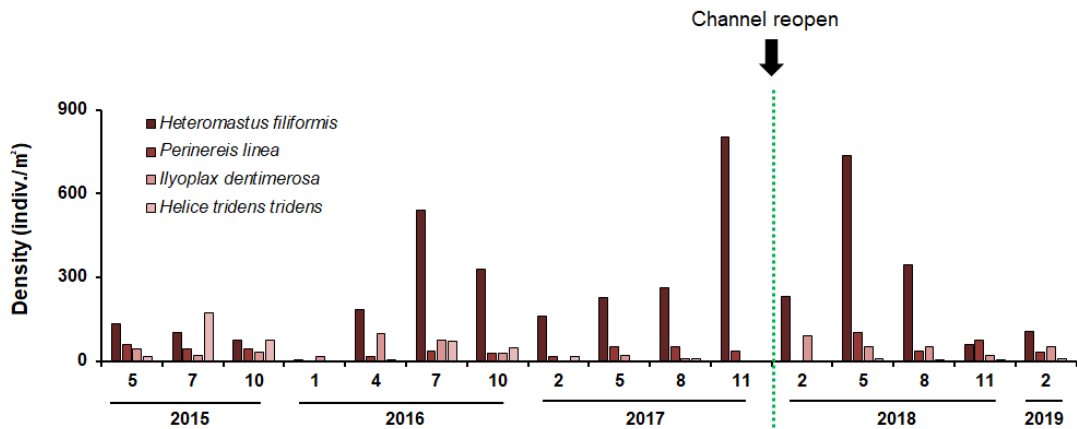


Figure 5. Abundance of dominant macrozoobenthic species in Donggum Island tidal flat, Korea

#### 4. 결론

본 연구에서 동검도 갯벌 수로 복원지 주변의 퇴적 환경과 저서생태계의 장기간 변화를 분석하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 동검도 갯벌의 니질함량은 연중 95 % 이상인 mud 퇴적상이 유지되었고 수로 복원 후 clay함량이 증가하는 경향을 보였다. 또한 유기물함량은 평균 4.6%를 보였으며 수로 복원 후 5.2%로 증가하였다. 엽록소-a는 평균 19 mg/cm<sup>2</sup>, 엽록소 분해산물은 평균 69.1 mg/cm<sup>2</sup> 이었고 수로 복원 후 엽록소-a는 평균 23.0 mg/cm<sup>2</sup>, 엽록소 분해산물은 평균 85.5 mg/cm<sup>2</sup>로 증가했다.

둘째, 조사기간 동안 동검도 갯벌의 퇴적률은 북동쪽에서 11.7 cm가 침식되었고 남서쪽은 24.3 cm가 퇴적되었다. 수로 개방 이후 퇴적률의 변화가 극심했다.

셋째, 조사기간에 걸쳐 동검도 갯벌의 대형저서동물은 총 20 종이 출현하였고 평균 서식밀도는 476±268 ind./m<sup>2</sup> 이다. 수로 개방 이후 출현 종수는 19종에서 14종으로 감소하였으나 서식밀도는 71±253 ind./m<sup>2</sup> 에서 486±328 ind./m<sup>2</sup> 로 큰 차이를 보이지 않았다.

넷째, 조사기간 동안 동검도 갯벌의 우점종은 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*), 두토막눈썩참갯지렁이(*Perinereis linea*), 털콩게(*Ilyoplax dentimerosa*) 이었다. 수로 개방 전 참방게의 비율이 높았으나 수로 개방 이후 감소하였고 털콩게와 두토막눈썩참갯지렁이의 비율이 상대적으로 증가하였다.

#### 감사의 글

논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 올립니다.

#### 참고문헌

1. 손민호과 윤성규, 2004. 조간대 생태학, 아카데미 서적, 461p.
2. 우한준, 장석, 권수재, 2012. 강화 동검도 동부 갯벌의 퇴적 특성 변화. 한국습지학회지, 14(3): 375-384.
3. Warwick R.M., Uncle R.J., 1980. Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Channel in relation to tidal stress. Marine Ecology Progress Series, 3:97-103.
4. Snelgrove P.V.R., Butman C.A., 1994. Animal-sediment relationships revisited: Cause versus effect. Oceanographic and Marine Biology, 2:111-177.
5. Woo, H.J., Je, J.G., 2002. Changes of sedimentary environments in the southern tidal flat of Kanghwa island. Ocean and Polar Research, 24(4): 331-343.
6. Woo, H.J., Bahk, J.J., Lee, Y.G., Je, J.G. and Choi, J.U., 2004. Characteristics of sediments in the Kanghwa tidal flat on the west coast of Korea. Journal of Wetlands Research, 6(1): 167-178.
7. KORDI, 2008. Development of management and restoration technologies for estuaries with focus on Han River estuary region. Korea Ocean Research & Development Institute, BSPE 97101-2028-7.
8. Lee, Y.K., Ryu, J.H., Choi, J.K., Soh, J.G., Eom, J.A. and Won, J.S., 2011. A study of decadal sedimentation trend changes by waterline comparisons within the Ganhwa tidal flats initiated by human activities. Journal of Coastal Research, 27(5):857-869.