

# 2007년 봄 인천만 갯벌에 있어 폭풍으로 인한 갯벌의 침식작용에 의해 대기 중으로 노출된 바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 의 조직병리학적 특성에 관한 연구

박광재<sup>1</sup>, 양현성<sup>2</sup>, 정희도<sup>3</sup>, 최광식<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 갯벌연구소, 전북 군산시 설림길 11,

<sup>2</sup>한국해양과학원 동해연구소, 경북 울진군 죽변면 해양과학길 48,

<sup>3</sup>제주대학교 해양의생명과학부, 제주도 제주시 제주대학로 102

## Pathologic condition of the stranded Manila clam *Ruditapes philippinarum* by storm-originated sediment erosion in spring 2007 in Incheon Bay off the west coast of Korea

Kwang-Jae Park<sup>1</sup>, Hyun-Sung Yang<sup>2</sup>, Hee-Do Jeung<sup>3</sup> and Kwang-Sik Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tidal Flat Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Kunsan, Republic of Korea

<sup>2</sup>East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Uljin, Republic of Korea

<sup>3</sup>School of Marine Biomedical Science, Jeju National University, Jeju, Republic of Korea

### ABSTRACT

In Incheon bay, mass mortalities of Manila clam associated with winter storms have been reported. In the present study we have monitored pathologic condition of the clams stranded on the tidal flats by the winter storms occurred in late March to early April in 2007. The field surveyed indicated that mortality of the Manila clam in the study areas ranged 10-15%. Condition index, a ratio of tissue weight to the shell weight, of the stranded clams was significantly lower than the non-stranded normal clams collected from the same locations ( $p < 0.05$ ), indicating that the stranded clams were comparatively in poor physiological condition. *Perkinsus olseni*, the protozoan parasite was observed most of clams used in the analysis and the infection prevalence ranged 77-90%. The infection intensity of *P. olseni* determined using Ray's fluid thioglycollate medium (RFTM) cultivation and the 2M NaOH digestion assay indicated that the clams collected during late March and early April in 2007 involved 67,182-1,124,727 *P. olseni* cells/g tissue. The infection intensity of clams from Gung-Pyeong was significantly higher than the intensities observed from Dae-Bu and Young-Heung ( $p < 0.05$ ). No clear correlation was found between the infection intensities of *P. olseni* in the non-stranded normal clams and the stranded clams. The stranded Manila clams were also infected with trematode parasite with the prevalence ranged 5 (Young-Heung) to 12.5% (Dae-Bu). The trematode-infected clams exhibited castrated follicles in the gonad, a typical sign of trematode infection. It was believed that mass mortality of Manila clam observed in this study was associated with the poor physiological condition as indicated by CI, although impacts of the parasite infection cannot be ruled out.

**Key words:** *Ruditapes philippinarum*, winter storm, stranding, mortality, pathologic condition

Received: June 18, 2013; Accepted: June 27, 2013

Corresponding author : Kwang-Sik Choi

Tel: +82 (64) 754-3422 e-mail: skchoi@jejunu.ac.kr  
1225-3480/24481

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.

### 서 론

바지락 *Ruditapes philippinarum*은 우리나라 전 연안에 분포하며, 갯벌이 잘 발달한 서해안과 남해안 조간대에 널리 분포한다. 특히 바지락은 조석 간만의 차이가 크고 사니질로 구성된 경기도 인천만의 도서 조간대에 널리 분포하며, 씨뿌림 형식으로 양식되기도 한다 (Park *et al.* 2010a, 2012; Uddin

et al. 2010, 2012). Chung et al. (1994) 에 의하면, 바지락은 발생 후 1년이 지나면 각장 15-20 mm 정도로 성장하고 2-3년이 지나면 각장 30-40 mm로 성장하는데, 이 때부터 수확된다. 우리나라 바지락 생산량은 지난 10년 간 연간 25,000-40,000 톤의 범위를 보였으며 (FAO 2013), 양식생산량의 대부분이 서해에 국한되고 있다. 우리나라 연안의 바지락 생산량은 1993년을 기점으로 감소하기 시작하였으며, 생산량 감소의 원인은 간척에 따른 연안 서식지 감소, 환경오염, 병원성 질병 및 기상변화에 따른 폐사 등을 들 수 있으며, 특히 경기만의 경우 늦겨울과 초봄에 발생하는 폭풍에 의한 갯벌 퇴적물의 침식 (erosion) 및 이에 따른 대기 중 노출에 의한 폐사를 원인으로 들 수 있다 (Park et al., 1999, 2006a; Uddin et al. 2010; Park et al., 2010c).

연안 생태계에 있어서 강풍을 동반한 폭풍 (storm) 은 물리적 교란요인 중 가장 큰 요인으로 꼽을 수 있다. 태풍이나 겨울철 폭풍은 높은 파도를 동반하며, 이 때 강한 파도는 사질 또는 니질로 구성된 연안의 연성 저질 퇴적물을 침식시켜 퇴적물 아래 잠입하여 서식하는 저서생물들을 대기 중으로 노출시키기도 한다 (Bower, 1992; Gremare et al., 2003; Lopez et al. 2008; Harris et al. 2011). 특히 태풍이나 겨울철 폭풍의 발생 빈도는 기후 변화와 연계하여 그 횟수가 증가하는 추세를 보이고 있으나, 폭풍이나 태풍이 연안 생태계에 미치는 영향에 관한 연구는 미미한 실정이다 (Kang et al. 2005; Park et al. 2010c). 국립수산물과학원에 따르면, 최근 수년 간 인천만 갯벌에서 발생한 바지락의 봄철 폐사는 늦은 겨울에서 이른 봄철에 발생하는 폭풍으로 인한 높은 파도가 연안의 퇴적물을 침식시켜, 그 결과 갯벌 퇴적물 아래 잠입하여 서식하던 바지락에 대기 중에 노출된 결과에 기인한다고 보고한 바 있다 (Park et al. 2010c). Pellizzato and Da Ros (2005) 및 Moschino et al. (2010) 에 의하면, 건강한 바지락은 비록 물리적 교란으로 인하여 잠입상태에서 퇴적물 밖으로 노출되더라도 재 잠입이 가능한 것으로 보고한 바 있으며, 이러한 바지락의 재잠입 (re-burrowing) 능력은 바지락의 건강도를 측정하는 척도로 이용되기도 한다. 따라서 봄철 폭풍으로 인한 연안 퇴적물 침식으로 퇴적물 내에 서식하던 바지락이 대기 중으로 노출되더라도 정상적인 건강한 바지락은 다시 퇴적물 내로 재 잠입하는 반면, 건강하지 못한 바지락은 재 잠입하지 못하고 낮은 기온으로 인하여 동사하는 것으로 추정된다. 우리나라의 경우 겨울/봄철 폭풍으로 인한 바지락의 대기 중 노출 (stranding) 에 관한 연구는 바지락 폐사에 관한 폐사율 측정이 있었으나, 노출된 바지락의 생리적 특성에 관한 연구는 미미한 실정이다 (Park et al. 2010c).

기생성 생물에 의한 감염은 단기간 적으로 바지락의 성장 및 번식에 영향을 미치며 높은 감염도는 바지락의 폐사를 유발하

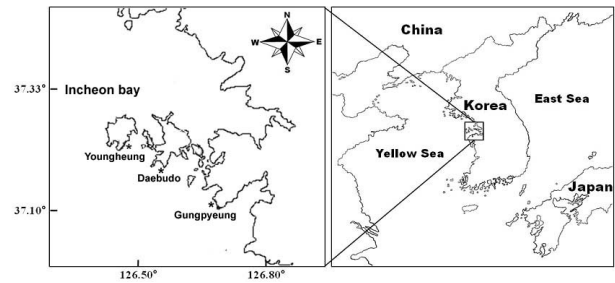


Fig. 1. Sampling locations in Incheon bay.

기도 한다. 서해안에 분포하는 바지락은 원생생물인 바지락포자충 (*Perkinsus olseni*), *Vibrio tapetis*와 같은 박테리아 및 흡충류인 *Cercaria* spp. 등에 감염되고 있는 것으로 보고되고 있으며, 특히 바지락포자충은 서해안바지락의 폐사에도 연관이 있는 것으로 보고되고 있다 (Park et al. 1999; Park and Choi 2001; Park et al. 2006a, 2006b, 2006c; Uddin et al. 2010). 특히 높은 바지락포자충의 감염은 해수중의 먹이생물이 풍부하지 못한 겨울철이나 산란으로 인하여 바지락이 생리적으로 약해진 가을철에 그 영향이 더 높게 나타나는 것으로 알려지고 있다 (Park et al. 2006b; Uddin et al., 2010). 따라서 이 연구는 2007년 봄철 인천만 연안에서 있었던 폭풍으로 인한 바지락의 폐사와 관련하여 폭풍으로 인하여 대기 중에 노출된 바지락의 건강도 및 병리학적 특성을 고찰하는데 그 목적을 두었다.

## 재료 및 방법

### 1. 바지락 시료채취

기상청에 따르면 2007년 3월 인천만에는 총 4회의 강풍 주의보가 있었으며, 이 기간 중 파고는 3-5 m 정도로 높게 일었다. 현장 조사 결과 인천만 내 도서 지역의 갯벌에서는 높은 파도로 인한 침식 현상이 있었으며, 침식으로 인하여 퇴적물 속에 잠입하여 있던 바지락이 대기 중으로 노출된 것이 관찰되었다. 이러한 노출된 바지락의 생리적 특성을 파악하기 위하여 인천만 내의 영흥도, 대부도 및 화성 궁평리 갯벌을 조사지역으로 선택하였다 (Fig. 1). 조사 지역 갯벌위로 노출된 바지락 (Stranded) 은 폭풍으로 인한 강한 파도로 퇴적물이 침식되는 과정에서 갯벌위로 노출되었으며, 패각이 닫혀있고 살아있는 바지락만 채집하였다. 노출된 바지락은 폭풍이 지난 1-2일 후 채집되었으며, 각장이 2 cm 이상인 성체만을 대상으로 채집하였으며, 각 조사 지역 당 100 개체 이상을 확보하였다. 또한 퇴적물속에 잠입하여 살고 있는 정상적인 바지락을 대조군으로 삼아 채집하였다. 실험실로 옮겨진 바지락은 각장 (Shell Length) 을 측정된 뒤, 개각한 후 조직을 적출, 전자저울을 이용하여 mg까지 측정하였다. 건조기 내에서 24시간 건조된 패

**Table 1.** Sampling locations and types of clam used in the analysis. Normal clams are individual clams found in the sediment, while the stranded clams are live clams encountered on the surface of the tidal flats. N, Number of clams analyzed, SL, shell length in mm, TWT, tissue wet weight in gram. FTM, clams used in *P. olseni* infection analysis, Histology, clams used in the histopathology analysis

Location	Clam Type	N	SL	TWT
Young-Heung	Normal (FTM)	30	37.2 ± 3.0	2.224 ± 0.571
	Stranded (FTM / Histology)	40	39.7 ± 2.1	1.417 ± 0.362
Dae-Bu	Normal (FTM)	10	36.6 ± 7.1	2.241 ± 1.084
	Stranded (Histology)	40	38.7 ± 2.1	1.999 ± 0.431
	Stranded (FTM)	30	34.0 ± 1.8	1.218 ± 0.249
Gung-Pyeong	Normal (FTM)	10	26.7 ± 4.8	0.908 ± 0.531
	Stranded (Histology)	40	36.6 ± 3.6	1.585 ± 0.597
	Stranded (FTM)	30	33.3 ± 1.8	1.077 ± 0.363

각은 전자저울을 이용 mg까지 그 무게를 측정하였다. 채집된 바지락의 비만도는 조직의 습중량 (tissue wet weight) 과 패각의 건중량 비율로 나타내었다 (비만도 (Condition Index) = 조직습중량 (Tissue Wet Weight in gram) / 패각건중량 (Shell Dry Weight in gram)). 분석에 이용된 바지락의 개체 수와 패각의 길이 및 습중량은 Table 1과 같다.

## 2. 조직병리학적 관찰

폭풍으로 인하여 대기 중에 노출된 바지락의 전반적인 병리적 현상을 관찰하기 위하여 Howard *et al.* (2004) 의 방법에 따라 조직 절편을 제작하였다. 조직병리학적 분석을 위하여 각 조사지역 갯벌에 노출된 살아있는 바지락 40개체를 선별하여 개각한 후, 패각으로부터 육질을 제거한 뒤 조직 중앙 부위를 2-3 mm 두께로 절단하였으며, 이때 절단된 부위는 아가미, 생식소 및 소화낭이 포함되도록 하였다 (Uddin *et al.* 2012). 절단된 조직은 Davidson's 고정액으로 24시간 고정한 뒤, 흐르는 물에 수세 한 후 알코올 및 자일렌을 이용 탈수 한 뒤, 파라핀에 포매하였다. 파라핀에 포매된 조직시료로부터 마이크로톰을 이용 4-6 μm 두께의 박편을 제작한 후, Harris' hematoxylin과 Eosin Y로 염색하였다. 조직박편은 현미경하에서 기생성 생물의 출현 유무를 관찰한 뒤, 현미경에 부착된 디지털 카메라를 이용하여 촬영하였다.

## 3. 바지락포자충 (*P. olseni*) 감염조사

바지락포자충 감염 여부 및 감염도는 Ray의 FTM 미디어 배양법을 이용하여 진단하였다 (Ray 1954, 1966). FTM 배양액은 20 g의 NaCl과 FTM 29.3 g을 1000 ml 증류수에 혼합한 후, 배양액이 황금색으로 변환될 때까지 가열한 후 배양액 10 ml를 15 ml 플라스틱 시험관에 채운 뒤, 고압멸균기를

이용 멸균 및 배양액에 포함된 산소를 제거하였다. 바지락 개체 당 포함된 바지락포자충의 감염도를 측정하기 위하여 노출된 바지락 조직 전체를 FTM 배양액에 포함시킨 뒤, 배양 기간 중 박테리아의 번식을 억제하기 위하여 항생제인 Nystatin 과 Chloromycetin 을 첨가하였다 (Choi *et al.* 1989; Park and Choi, 2001; Park *et al.* 2006b). 바지락포자충의 배양은 실온의 암실에서 1주일간 지속되었으며, 배양이 완료된 시료는 Lugol's Iodine을 이용 염색한 뒤, 해부현미경 하에서 바지락포자충의 출현 여부를 확인하였다. 바지락포자충의 감염도 (infection intensity) 를 측정하기 위하여 FTM 배양이 완성된 바지락 시료를 10 ml 2 M NaOH용액에 첨가하여 60°C 수조에서 1시간 반응시켰다. 반응이 완료된 시료는 2000 RPM 원심분리기로 원심 분리한 뒤, 상등액을 버리고 Phosphate Buffered Saline (PBS, pH 7.4) 로 여러 번 수세한 뒤, 최종적으로 혈구계수 슬라이드를 이용하여 바지락에 포함된 바지락포자충 휴면포자 (hypnospore) 세포 수를 계수하였다. 바지락포자충의 감염도는 최종적으로 바지락 조직 1g 에 포함된 바지락포자충 세포 수 (*P. olseni* cells/g Tissue Wet Weight) 로 나타냈다. 바지락포자충의 감염율 (Prevalence) 은 전체 조사된 바지락 개체 수 중, 바지락포자충에 감염된 바지락의 비율 (%) 로 표시하였다.

## 결 과

### 1. 바지락의 비만도 (Condition Index)

2007년 3월말 인천만 일대에서 채집된 바지락의 비만도는 Fig. 2와 같다. 영흥도 영암 어촌계, 대부도 행남곡 및 화성 궁평리 구간대에서 채집된 바지락의 비만도는 0.317 (영흥도 노출바지락, STR) - 0.435 (영흥도 잠입, NRM) 의 범위를 보였다. 3개 지역에서 채집된 노출바지락 (Stranded Clam, STR)

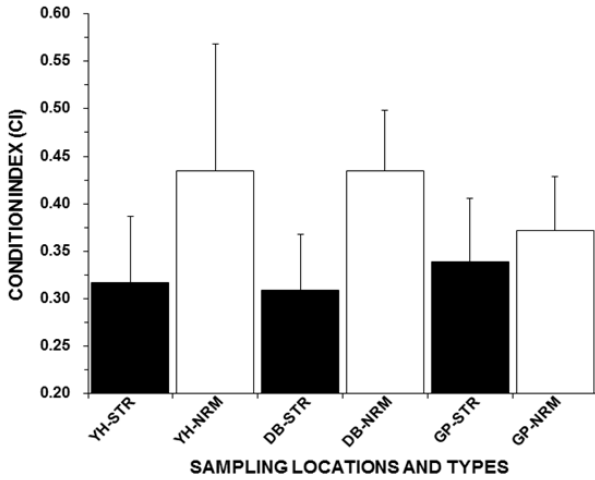


Fig. 2. Condition index (CI) of Manila clams from 3 sampling sites in Incheon bay. YH, Young-Heung, DB, Daebudond, GP, Goung-Pyeong. STR, stranded clam, NRM, normal clam.

의 비만도는 0.309 (대부도) - 0.339 (궁평리) 의 낮은 범위를 보인 반면, 퇴적물에 잠입하여 있던 정상적인 바지락 (NRM) 의 비만도는 0.372 (궁평리) - 0.435 (영흥도, 대부도)로 폭풍에 의하여 노출된 바지락보다 통계적으로 유의하게 높았다 (Student t-test,  $P < 0.05$ ). 정상적으로 잠입하여 서식하던 바지락의 경우 궁평리에서 채집된 바지락의 비만도는 영흥도나 대부도에서 채집된 바지락의 비만도보다 통계적으로 유의하게 낮았다 (ANOVA and Duncan's Range test,  $P < 0.05$ ).

## 2. *P. olseni* (바지락포자충) 감염

바지락포자충의 감염은 감염율 (Prevalence), 즉 전체 조사 개체 중 바지락포자충에 감염된 개체수의 비율과 감염도 (Infection Intensity), 즉 바지락 개체에서 계수된 바지락포자충의 세포수를 바지락조직 1 gram 당 바지락포자충의 개체수로 표준화된 감염도로 표현하였다. 바지락포자충의 감염율은 영흥도의 경우 폭풍에 의하여 노출된 바지락은 77.5%, 잠입된 정상적인 바지락은 77% 이었으며, 대부도의 경우 노출 바지락은 87%, 잠입 바지락은 90%로 나타났다. 화성 궁평리 갯벌에서 채집된 바지락은 노출된 바지락이나 잠입 상태의 바지락 모두 90%의 높은 감염율을 보였다 (Fig. 3).

Fig. 4는 이 연구에서 조사된 바지락포자충의 감염도를 나타내는 그림이다. 영흥도에서 채집된 바지락의 경우 바지락포자충의 감염도는 노출된 바지락의 경우 67,000 cell/g wet tissue weight이었으며, 잠입 바지락의 경우 평균 82,000 cell/g wet tissue weight로, 두 집단 간의 감염도 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 대부도에서 채집된 바지락은 노출

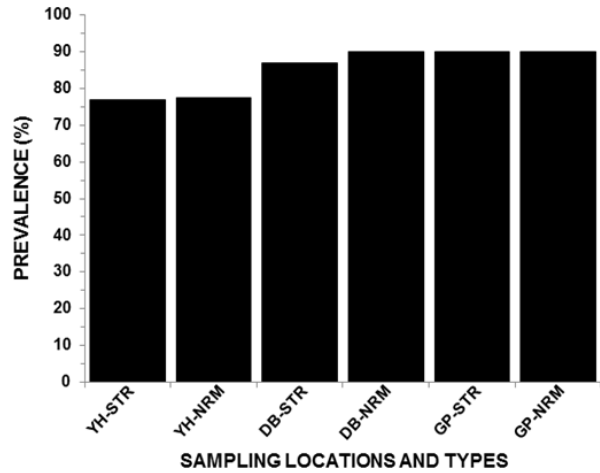


Fig. 3. *Perkinsus olseni* prevalence surveyed from the 3 sampling sites. YH, Young-Heung, DB, Daebudond, GP, Goung-Pyeong. STR, stranded clam, NRM, normal clam.

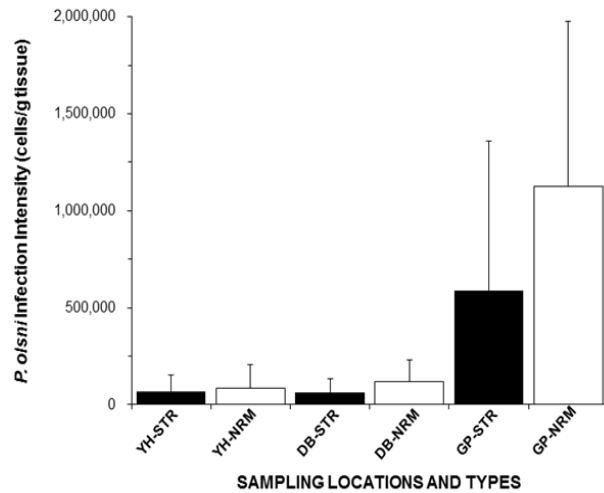


Fig. 4. *Perkinsus olseni* infection intensity of stranded (STR) and normal (NRM) clams from Yougn-Heung (YH), Daebudo (DB) and Gyoung-Pyeong (GP). The infection intensity is expressed as the number of *P. olseni* hyphospore cells per gram clam tissue in wet weight

된 개체군의 경우 감염도는 평균적으로 63,000 cell/g wet tissue weight이었으며, 잠입 바지락개체군의 평균적 감염도는 119,000 cell/g wet tissue weight이었다. 화성 궁평리 갯벌에서 채집된 바지락은 폭풍에 의하여 노출된 바지락 개체군의 경우 감염도가 평균 588,000 cells/g wet tissue weight 인 반면, 잠입 바지락 개체군의 평균 감염도는 1,124,000 cells/g wet tissue weight로, 잠입 바지락 개체군의 바지락포자충 감염도가 평균적으로 높게 나타났으나, 통계적으로 그 차이는 유의하지 않았다.

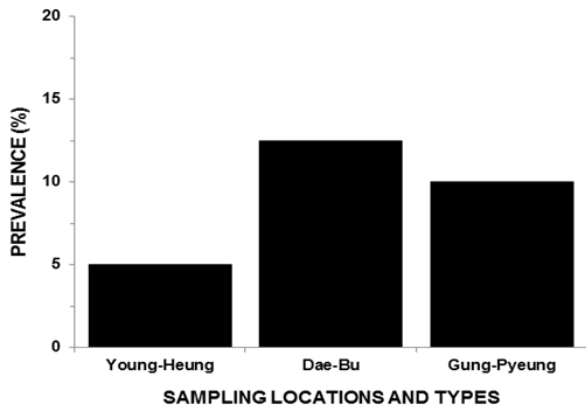


Fig. 5. Prevalence of *Cercaria* infection in the stranded Manila clams in the sampling sites.

3. 조직병리학적 검사 결과

조직병리학적 검사는 세 조사 지역 모두 폭풍으로 인하여 갯벌에 노출된 바지락에 국한되었다 (Table 1). 현미경을 이용

한 바지락의 조직학적 검사 결과 세 조사 지역 모두에서 바지락포자충 (Fig. 7) 과 흡충류 (Trematode) 가 관찰되었다. 흡충류의 경우 조직학적 관찰에 국한된 관계로 흡충류의 종을 동정할 수 없었으며, 주로 바지락의 외투막 및 생식소 부위에서 유미유충과 알이 관찰되었다 (Fig. 6). 조직학적 관찰 결과, 흡충류의 감염율 (Prevalence) 는 영흥도 갯벌의 경우 5%, 대부도의 경우 12.5% 및 화성 궁평리의 경우 10% 수준이었다 (Fig. 5).

토 론

연안 생태계에 있어 폭풍 또는 태풍은 가장 큰 규모의 물리적인 영향을 미치는 외부 환경인자로 간주된다. 특히, 니질 또는 사질로 이루어진 갯벌의 경우 큰 규모의 태풍이나 폭풍은 강한 파도와 바람을 동반하여 갯벌의 기질을 대규모로 침식시키며, 이 때 저질에 잠입하여 서식한 저서 생물을 외부로 노출, 폐사에 이르게 하기도 한다 (Saloman and Naughton, 1977; Hughes *et al.* 2009; Harris *et al.* 2011). Lopez *et*

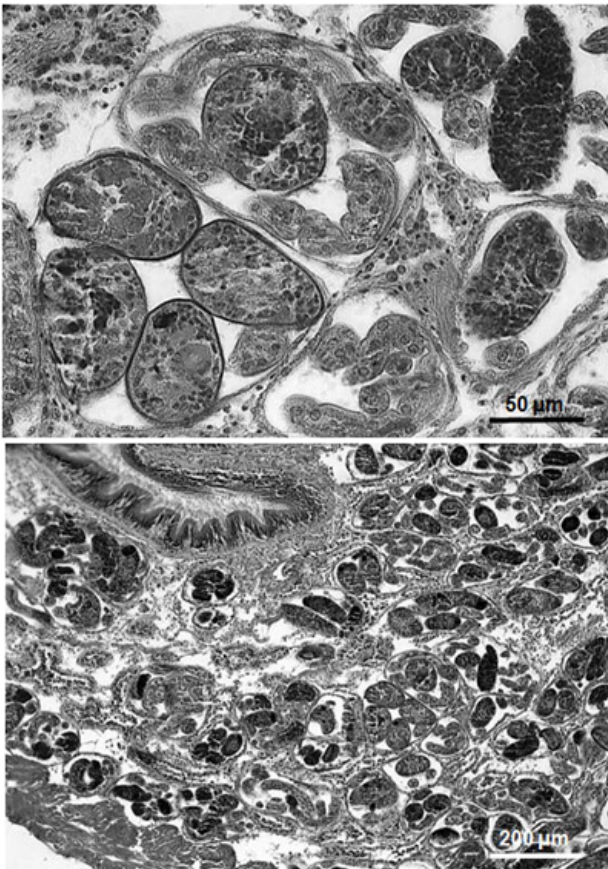


Fig. 6. Histopathological features of *Cercaria* infection showing the sporocysts (above) and the germ balls (below).

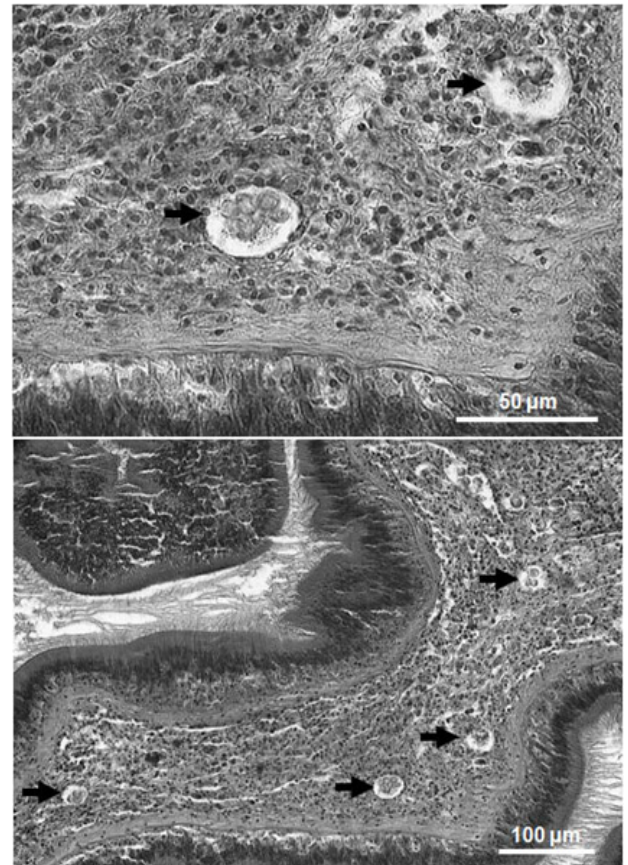


Fig. 7. Trophozoite of *Perkinsus olseni* observed in the mantle (above) and digestive gland (below).

al. (2008) 은 아르헨티나의 부에노스아이레스 북부 모래 해안에 있어 폭풍으로 인한 해안 침식 및 이에 따른 연체동물의 대량폐사에 관하여 보고한 바 있다. 이들의 연구에 따르면, 1997년부터 2003년까지 허리케인이나 국지적 폭풍으로 인하여 높은 파도가 부에노스아이레스 북부 모래 해안을 침식시켰으며, 그 결과 조간대 중, 하부에 서식하던 다양한 종류의 잠입성 이매패류와 복족류가 서식지의 침식으로 인해 대기 중으로 노출되었다. 대기중으로 노출 (stranding) 된 이매패류는 키조개류인 *Atrina seminuda*와 같은 대형 패류에서부터 *Donax haneyanus*와 같은 소형 이매패류 및 피빨고둥류인 *Adelomelon brasiliiana*와 같은 대형 복족류 등이 포함되었다. 이 연구 조사 결과, 대부분의 노출된 패류들은 노출 후, 포식자에 의해 포식되거나 대기 중 노출에 의한 건조현상으로 대부분 폐사 하였으며, 일부는 재 잠입한 것으로 파악되었다.

겨울철 폭풍으로 인한 갯벌의 침식 및 인위적 노출이 바지락에 미치는 영향은 캐나다의 태평양 연안인 British Columbia에서 조사된 바 있다. Bower (1992) 는 1989년 3-4월 폭풍에 의해 침식된 British Columbia 해안 16 지점을 조사하여, 폭풍으로 인하여 대기 중으로 노출되었으나 살아 있는 바지락 (*R. philippinarum*) 159개체의 조직병리학적 특성을 구명한 바 있다. 이 연구에서는 정상적으로 퇴적물에 잠입하여 서식하는 바지락 99개를 대조군으로 설정하여 두 집단 간의 조직병리학적 특성을 비교하였다. 이 연구 결과, 바지락폐사와 연관된 병원체는 발견되지 않았으나, 대조군에 비하여 대기 중으로 노출된 바지락의 아가미 상피세포의 궤사 (necrosis) 현상이 통계적으로 유의하게 높았으며, 이러한 아가미세포의 궤사 현상은 노출 후, 영하의 기온에 따른 세포의 동결 (freezing) 에 따른 것으로 보고하였다. 결론적으로 이 연구지역 있어, 겨울철에서 초봄에 발생하는 폭풍 및 이로 인한 바지락의 대기 중 노출은 낮은 기온에 의한 조직세포의 동결과 같은 병리적 현상을 야기하며, 궁극적으로 폐사를 유발하는 것으로 보고하고 있다. 따라서 우리나라 서해안에서 발생하는 겨울철 폭풍으로 인한 바지락의 대기 노출은 찬 기온으로 인하여 노출된 바지락의 조직 동결 및 폐사를 유발하는 것으로 사료되나, 이에 대한 연구는 미미한 실정이다. 이 연구에서는 인천만 갯벌에 있어 폭풍으로 인하여 갯벌 표면에 노출된 바지락의 조직학적 검사가 이루어졌으나, 동결에 의한 바지락 아가미세포의 궤사현상 (necrosis) 은 확인할 수 없었는데, 이는 본 연구에 쓰인 바지락의 채집 시기가 3월 말에서 4월 초로, 당시 기온이 어는 점보다 높아 비록 바지락이 대기 중에 노출되더라도 조직이 동결되지는 않았던 것으로 사료된다. 그러나 이 연구에서 분석된 바지락의 개체는 제한적이어서, 향후 겨울철 및 봄철에 발생하는 폭풍으로 인한 바지락의 노출 및 이에 따른 폐사원인을 규명함에 있어, 보다 충분한 바지락 개체수의 확보 및 노출된 바

지락과 정상적으로 퇴적물 내에 잠입하고 있는 바지락의 아가미조직 세포에 관한 궤사현상의 비교 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

이 연구에서 채집된 폭풍에 의한 갯벌의 침식으로 대기 중으로 노출된 바지락의 비만도 (Condition Index) 는 영흥도, 대부도 및 궁평리 갯벌 모두에서 공통적으로 정상적인 잠입 바지락에 비하여 통계적으로 유의하게 낮았다 (Fig. 2). 세계적으로 바지락의 비만도는 육질 중량 (건중량 또는 습중량) 의 패각 중량에 대한 비율로 표시하며, 비만도의 계절적 변화는 연중 번식주기 및 바지락의 영양 상태와 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 보고되고 있다 (Park et al. 2006a; Drumond et al., 2006; Park et al., 2008, 2010a, 2010b; Uddin et al., 2010, 2012). Uddin et al. (2010) 은 선재도 바지락을 대상으로 연중 비만도를 측정된 결과, 비만도는 늦은 봄에서 초여름 산란이 일어나기 직전에 가장 높은 값을 보이며, 반면에 산란 후 및 수온이 낮고 해수 중에 먹이가 풍부하지 못한 2-3월 경에 낮은 값을 보임을 보고하였다. 선재도 바지락의 경우 3-4월 비만도는 0.4-0.6의 범위를 보였는데, 이는 이 연구에서 측정된 정상적인 바지락의 비만도와 유사한 수치이다. 따라서 노출된 바지락에서 관찰된 비만도 (0.31-0.34) 는 선재도 바지락의 3-4월 비만도와 비교 시, 비정상적인 것으로 판단된다. 이러한 비정상적으로 낮은 비만도는 노출된 바지락이 생리적으로 극심한 스트레스를 받고 있는 것을 암시하며, 궁극적으로 퇴적물 속으로 재 잠입 하지 못하고 폐사 할 것으로 판단된다. Moschino et al. (2010) 과 Pellizzato and Da Ros (2005) 는 건강한 바지락의 경우 물리적 교란에 의해 갯벌 표면에 노출될 경우 재 잠입하며, 이러한 바지락의 재 잠입 능력은 바지락의 활성도를 측정하는 바이오 마커로도 활용될 수 있다고 보고하였다.

바지락포자충 (*P. olseni*) 은 원생동물로 바지락의 아가미, 외투막 및 소화맹낭 등에 주로 분포하며, 감염이 심하게 진행되면 바지락의 모든 부위에서 관찰되고 바지락의 성장이나 번식을 둔화시키는 것으로 알려져 있다 (Park et al., 2006a; Park et al. 2010b). Park and Choi (2001) 는 제주도를 포함한 우리나라 전역의 조간대에 분포하는 바지락을 대상으로 바지락포자충 감염율 및 감염도를 조사 보고한 바 있다. 이에 따르면 인천만 제부도 및 강화도 바지락의 바지락포자충 감염율은 80-90% 이었으며, 강화도 바지락의 감염도는 42,000 cells/gram tissue로 매우 낮은 편이었다. 본 조사에서는 바지락포자충의 감염율은 77-90%로 높은 편이나 영흥, 대부도에서 채집된 바지락의 포자충감염도는 67,000-120,000 cell/gram tissue로, 이는 곰소만이나 완도와 같이 유사한 갯벌 환경에 서식하는 바지락과 비교 시, 그 감염도가 낮은 수준이다. 그러나 궁평리 갯벌에서 채집된 바지락은 580,000 (노

출 바지락) -1,120,000 (잠입바지락) cells/gram tissue 로, 영흥이나 대부도와 비교 시, 5-10 배 정도 높은 수준이었다 (Fig. 4). 이 연구에 있어 폭풍으로 인한 갯벌의 침식 및 이로 인하여 대기 중에 노출된 바지락에서 바지락포자충이나 흡충류의 감염이 더 높을 것으로 예상되었는데, 이는 기생성 생물에 보다 더 심하게 감염된 개체는 활성도가 낮아져, 대기 중에 노출된 후 재 잠입 과정에 있어 시간이 더 오래 걸릴 것이란 가정에 기반한 것이다. 그러나 본 연구 조사 결과, 비록 지역적으로 바지락포자충의 감염도는 차이가 있었으나, 노출된 바지락과 잠입 바지락 두 집단 간의 감염도 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 판단되었다. 또한 흡충류의 감염도 역시 5-12% 정도의 낮은 감염도를 보여, 이들 기생생물의 감염은 바지락의 폐사와 연관이 깊지 않은 것으로 사료된다. Ngo and Choi (2004) 는 제주 성산 연안에 분포하는 바지락에 있어 흡충류 감염도를 조사한 바 있다 (Ngo and Choi, 2004). 제주 바지락의 경우 흡충류 (Cercaria) 감염율은 연 중 0-12% 의 감염율을 보였으며, 주로 암컷 바지락의 난소에서 관찰되었다. Park *et al.* (2008)은 일본 쿠마모토 아리아케 갯벌에 서식하는 바지락의 흡충류 감염을 조사한 결과, 일부 지역에서는 감염도가 43%에 이르며, 감염된 바지락은 주로 암컷으로 나타났다. 특히, 흡충류에 의한 감염은 암컷 바지락의 난소를 파괴하여 바지락의 번식에 심각한 영향을 미치는 것으로 알려지고 있어, 이에 대한 보다 광범위한 연구가 필요 시 되고 있다.

이 연구에서는 2007년 봄 인천만의 영흥, 대부도 및 화성 궁평리 갯벌에 서식하는 바지락을 대상으로 폭풍으로 인하여 갯벌이 침식된 후, 대기 중에 노출된 바지락과 정상적인 바지락의 조직병리학적/생리적 특성을 비교하였다. 조사 결과 폭풍으로 인한 갯벌 침식과정에서 대기 중으로 노출된 바지락의 건강도는 퇴적물 내에 잠입 서식하고 있는 정상적인 바지락과 비교 시, 통계적으로 유의하게 그 수준이 낮은 반면, 바지락포자충이나 흡충류의 감염은 노출된 집단과 정상적인 집단 간, 유의한 차이를 찾을 수 없어, 이들 감염이 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 갯벌 바지락 생산성 향상 및 측구계 연구(13-AQ-58) 과제의 일환으로 추진되었습니다.

## REFERENCES

- Bower, S.M. (1992) Winter mortalities and histopathology in Manila clams (*Tapes philippinarum*) in British Columbia due to freezing temperatures. *Journal of Shellfish Research*, **11**: 255-263.
- Choi, K.S., Wilson, E.A., Lewis, D.H., Powell, E.N. and Ray, S.M. (1989) The energetic cost of *Perkinsus marinus* parasitism in oysters: quantification of the thioglycollate method. *Journal of Shellfish Research*, **8**: 125-131.
- Chung, E.Y., Ryou, D.K. and Lee, J.H. (1994) Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of Kimje. *The Korean Journal of Malacology*, **19**: 38-54.
- FAO (2013). <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>
- Gremare, A., Amouroux, J.M., Cauwet, G., Charles, F., Courties, C., De Bovee, F., Dinet, A., Devenon, J.L., Durrieu, F., Lebaron, P., Naudin, J.J., Palanques, A., Pujo-Pay, M. and Zudaire, L. (2003) The effects of a strong winter storm on physical and biological variables at a shelf site in the Mediterranean. *Oceanologica Acta*, **26**: 407-420.
- Harris, P.T. and Whiteway, T. (2011) Global distribution of large submarine canyons: geomorphic differences between active and passive continental margins. *Marine Geology*, **285**: 69-86.
- Howard, D.W., Lewis, E.J., Keller, J. and Smith, C.S. (2004) Histological techniques for marine bivalve mollusks and crustaceans. NOAA Technical Memorandum NOS-NCCOS, **5**: 218 pp.
- Hughes, C., Richardson, C.A., Luckenbach, M. and Seed, R. (2009) Difficulties in separating hurricane induced effects from natural benthic succession: Hurricane Isabel, a case study from Eastern Virginia, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **85**: 377-386.
- Kang, D.H., Song, J.I. and Choi, K.S. (2005) Image analysis of typhoon impacts on soft coral community at Munseom in Jeju, Korea. *Ocean and Polar Research*, **27**: 25-34.
- Lopez, R.A., Penchaszadeh, P.E. and Marcomini, S.C. (2008) Storm-related strandings of mollusks on the northeast coast of Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research*, **24**: 925-935.
- Moschino, V., Meneghetti, F. and Da Ros, L. (2010) Use of biomarkers to assess the welfare of the edible clam, *Ruditapes philippinarum*: may it be a tool for proving areas of origin? *Aquaculture International*, **18**: 327-337.
- Ngo, T.T.T. and Choi, K.S. (2004). Seasonal changes of *Perkinsus* and *Cercaria* infections in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* from Jeju, Korea. *Aquaculture*, **239**: 57-68
- Park, K.I. and Choi, K.S. (2001). Spatial distribution of the protozoan parasite *Perkinsus* sp. found in the Manila clams, *Ruditapes philippinarum*, in Korea. *Aquaculture*, **203**: 9-22.
- Park, K.I., Choi, K.S. and Choi, J.W. (1999) Epizootiology of *Perkinsus* sp. Found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Komsoe Bay, Korea. *Journal of Korean Fisheries Society*, **32**: 303-309.
- Park, K.I., Paillard, C., Le Chevalier, P. and Choi, K.S. (2006a) Report on the occurrence of brown ring

- disease (BRD) in Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, on the west coast of Korea. *Aquaculture*, **255**: 610-613.
- Park, K.I., A. Figueras, A. and Choi, K.S. (2006b) Application of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the study of reproduction in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*: (Mollusca: Bivalvia): II. impacts of *Perkinsus olseni* on clam reproduction. *Aquaculture*, **251**: 182-191.
- Park, K.I., Ngo, T.T.T., Choi, S.D., Cho, M. and Choi, K.S. (2006c) Occurrence of *Perkinsus olseni* in the venus clam *Protothaca jedoensis* in Korean waters. *Journal of Invertebrate Pathology*, **93**: 81-87.
- Park, K.I., Tsutsumi, H., Hong, J.S., and Choi, K.S. (2008) Pathology survey of the short-neck clam *Ruditapes philippinarum* occurring on sandy tidal flats along the coast of Ariake Bay, Kyushu, Japan. *Journal of Invertebrate Pathology*, **99**: 212-219.
- Park, K.I., Yang, H.S., Kang, D.H. and Choi, K.S. (2010a) Density dependent growth and mortality of Manila clam *Ruditapes philippinarum* reared in cages in Gomso-Bay, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **26**: 91-95.
- Park, K.I., Yang, H.S., Kang, H.S., Cho, M., Park, K.J. and Choi, K.S. (2010b) Isolation and identification of *Perkinsus olseni* from feces and marine sediment using immunological and molecular techniques. *Journal of Invertebrate Pathology*, **105**: 261-269.
- Park, K. -J., Song, J. -H., Han, H. -S. and O, H. -C. (2010c). Spring mass mortality and causes of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the West coast of Korea. 2010 Fisheries Societies Association of Korea (FSAK) annual meeting abstract book, p. 39.
- Park, K.I., Donaghy, L., Kang, H.S., Hong, H.K., Kim, Y.O. and Choi, K.S. (2012) Assessment of Immune Parameters of Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Different Physiological Conditions using Flow Cytometry. *Ocean Science Journal*, **47**: 19-26.
- Pellizzato, M. and Da Ros, L. (2005) Clam farming quality as a management tool: A proposal based on recent studies in Northern Adriatic lagoons. *Aquaculture International*, **13**: 57-66.
- Ray, S.M. (1954) Biological studies of *Dermocystidium marinum*. *In*: Rice Institute Pamphlet, Volume 41, Special Issue, p. 113. Rice Institute. Houston. Texas
- Ray, S.M. (1966) A review of the culture method for detecting *Dermocystidium marinum* with suggested modifications and precautions. *Proceedings of the National Shellfisheries Association*, **54**: 55-69.
- Saloman, C.H. and Naughton, S.P. (1977) Effect of Hurricane Eloise on the benthic fauna of Panama City Beach, Florida, USA. *Marine Biology*, **42**: 357-363.
- Uddin, M.J., Yang, H.S., Choi, K.S., Kim, H.J., Hong, J.S. and Cho, M. (2010) Seasonal Changes in *Perkinsus olseni* infection and Gametogenesis in Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*, from Seonjaedo Island in Incheon, off the West Coast of Korea. *Journal of World Aquaculture Society*, **41**: 93-101.
- Uddin, M.J., Yang, H.S., Park, K.J., Kang, C.K., Kang, H.S. and Choi, K.S. (2012) Annual reproductive cycle and reproductive efforts of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Incheon Bay off the west coast of Korea using a histology-ELISA combined assay. *Aquaculture*, **364-365**: 25-32.