

태안 근소만 갯벌에서 모래살포와 경운이 바지락 자연 종패 발생에 미치는 영향

전준협¹, 정희도¹, 박광재², 이규현¹, 안현미¹, 이희중³, 최윤석⁴, 송재희¹, 강희웅¹

¹국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터, ²국립수산과학원 동해수산연구소, ³국립수산과학원 남동해수산연구소, ⁴국립수산과학원 서해수산연구소

Effect of sand supplement and plowing on the occurrence of natural manila clam (*Ruditapes philippinarum*) spats in the tidal flat of Geunso bay, Taean-gun, Chungnam province, on the west coast of Korea

Jun-Hyeop Jeon¹, Hee-Do Jeung¹, Kwang-Jae Park², Kyu-Hyun Lee¹, Hyun-Mi Ahn¹, Hee-Jung Lee³, Yoon-Seok Choi⁴, Jae-Hee Song¹ and Hee-Woong Kang¹

¹Tidal Flat Research Center, National Institute of Fisheries Science (NIFS), Gunsan 54001, Republic of Korea

²East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gangneung 25435, Republic of Korea

³Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Tongyeong 53085, Republic of Korea

⁴West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon 22383, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects on the occurrence of clam spats resources by sand supplement and plowing at the natural seedling fields of manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Geunso bay, Taean-gun, of the west coast of Korea. The sand addition and plowing were conducted on the tidal flats of Pado-ri and Beopsan-ri in Geunso bay in August 2013. We monitored the variation of newly recruited clam spats (shell length (SL \leq 5 mm), adult clams (SL \geq 10 mm) and the change of sediment from January 2014 to December 2015. In the Pado-ri tidal flats (with 2-4 hours mean air-exposure time), the density of newly recruited clam spats in the experimental site (sand added) was higher 1.5-4.0 times than that of control (sand not added) from October 2014 to April 2015. And the highest clam density was $25,750 \pm 1,708$ clams per square meter in January 2015. The density of adult clams in Pado-ri was also higher in the experimental site than control until June 2015. However, despite lots of juvenile clams (SL \leq 20 mm) were observed in control site, adult clam density in Pado-ri has changed from July 2015 due to decrease of sand proportion in sediments. In Beopsan-ri experimental site (with 4-6 hours mean air-exposure time), the newly recruited clam spats was less than 3,000 clams per square meter, which was lower than control. As the results of the study, it seems that clam spats increased by sand addition and plowing are likely to be decreased in a short period of time due to deposition of fine sediment and other adverse environments (such as long air-exposure time). Therefore, it seems to be necessary to examine carefully the various environmental factors before trying to improve the environment of natural clam seedling beds by sand supplement and plowing.

Keywords: Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, Tidal flats, Sand addition, Density variation

Received: June 14, 2019; Revised: June 24, 2019; Accepted: June 30, 2019

Corresponding author: Jae-Hee Song

Tel: +82 (63) 472-8608, e-mail: jhsong0805@korea.kr
1225-3480/24732

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.

서론

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 우리나라의 서해, 남해 및 동해 전 연안의 간출시간 2-3시간의 조간대부터 수심 3-4 m 의 조하대까지 넓게 분포하는 종이다 (Kang *et al.*, 2000; Min *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2013b). 연간 생산량은 1990년에 74,581 톤에서 2017년에 27,696 톤까지 감소했

지만 여전히 굴, 홍합 다음으로 수산업적 가치가 높은 종이다 (KOSIS, 2017).

이처럼 국내 바지락 생산량이 감소한 것은 대규모 간척사업과 매립으로 인한 패류 양식장의 축소를 비롯하여 기후변화 및 급격한 수온 변화에 따른 폐사 (Kim and Kho, 2004; Park *et al.*, 2013a,b), 유류유출 등 연안환경오염 (Park *et al.*, 2015), 질병에 의한 폐사 (Park *et al.*, 1999) 등이 그 원인으로 추정되고 있다. 우리나라 갯벌은 지난 30년간 간척 및 방조제 건설 등으로 그 면적이 2018년 현재 1987년에 비해 22.4% 감소한 2,487.2 km²인 것으로 조사되었다 (MOF, 2015). 이와 같은 간척사업은 갯벌 저질환경 및 먹이량 변화로 인해 바지락의 비만도 및 생화학조성, 번식주기에 부정적인 영향을 미친다는 연구 보고가 있었다 (Baek *et al.*, 2014). 일본의 경우에도 1970년대 이후 지속적으로 바지락 생산량이 감소 추세에 있으며, 이러한 생산 감소의 원인으로는 간척과 남획, 환경오염 등으로 추정하고 있다 (Mitsuharu, 2004). 한편, 기후변화에 따른 겨울철의 폭풍과 여름철의 고수온으로 인한 바지락의 대량 폐사도 빈번하게 보고되고 있다 (Shin *et al.*, 2000; Kim and Kho, 2004; Park *et al.*, 2013a,b). 특히 2007년 12월에 우리나라 서해안에서 발생한 Hebei spirit 유류유출 사고로 인해 2008년 4월 유류피해 영향지역 내 바지락의 폐사율이 30% 내외로 증가하면서 피해 복원과 자원량 증가를 위한 다양한 대책의 필요성도 거론된 바 있다 (Park *et al.*, 2015).

1990년대 이후 감소하는 바지락 생산량의 회복을 위해 다각적 차원에서 연구가 진행되어 왔다. Min *et al.* (2004) 은 바지락 인공종묘생산 시 모래기질을 첨가하였을 때 부유 유생시기를 거친 후 착저한 치패의 폐사가 적은 사실을 관찰 함으로써, 바지락 치패의 착저 시 바닥기질의 중요성을 보고한 바 있다. 이후, Back *et al.* (2009) 은 저질의 입자 크기가 클수록 바지락 치패의 착저 효과가 증가하는 현상을 보고하였다. 이에 따라 서해안 갯벌 저질의 입자 크기를 증가시키고, 분급도는 불량하게 하기 위해 굴 패각 부스러기를 이용한 저질 개선 연구 (Park *et al.*, 2011), 모래 살포가 저서동물 군집구조에 미치는 영향 (Yoon *et al.*, 2012; 2014) 등의 연구가 수행된 바 있다. 일본 및 미국, 프랑스에서도 과거부터 바지락 유생의 착저와 성장 및 생존에 있어 니질 (silt) 함량이 적을수록 좋으며, 사질 (sand) 과 니질이 섞여 분급도가 불량한 저질에서 바지락이 잘 서식하는 것을 보고한 바 있다 (Thompson, 1995; Gouletquer *et al.*, 1999; Cigarría and Fernández, 2000; Tezuka *et al.*, 2013).

충청남도 태안군에 위치한 근소만은 그 면적이 약 30 km²에 이르며 저조 시에는 전체 면적의 약 70% 가 노출이 되고, 고조 시의 수심이 약 2-4 m인 전형적인 반 폐쇄성 만이다

(Kim and Kim, 2008). 근소만은 주변에 강이나 하천이 없어 육지로부터 담수 유입이 많지는 않으나 조석으로 인해 외해와의 해수 교환 비율이 높아 조간대의 환경 변화가 심하며, 퇴적물은 주로 사질실트로 구성되어 있다 (Kim and Kho, 2004; Kim and Kim, 2010; Choi *et al.*, 2011). 특히, 이 해역은 2007년 Hebei spirit유류유출 사고 당시, 바지락의 폐사가 높게 관측되었던 태안군의 다른 지역 및 보령, 서산 지역의 바지락 어장들 (폐사율 30% 내외) 에 비해 유출유의 만 내 유입을 효과적으로 차단하여 현저히 폐사율 (0.9%) 이 낮았던 지역이다 (Park *et al.*, 2015).

본 연구는 유류오염의 영향과 피해가 상대적으로 적었던 충남 태안군 근소만 내 갯벌에서 바지락 자원 증대를 위해 굵은 모래를 살포하고 경운을 하였을 때, 시간 경과에 따른 바지락 치패와 성패의 서식밀도 및 퇴적물 환경의 변화를 조사하여 모래살포에 의한 바지락 치패 자원 증대 효과가 얼마나 지속되는지를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 종패발생장 조성

바지락 종패발생장 조성을 위하여 태안군 파도리에서는 매년 바지락 종패가 많이 발생하는 저조 시 평균 노출시간 (air exposure time) 2-4 시간인 갯벌 어장 12.3 ha를, 태안군 법산리에서는 유휴어장의 활용 가능성 시험 차원에서 평균 노출시간 4-6시간 정도 되는 갯벌어장 14.9 ha를 각각 선정하였으며, 두 종패발생장 사이의 직선거리는 약 2.3 km이다 (Fig. 1). 종패발생장 조성을 위한 모래살포는 2013년 7월과 8월에



Fig. 1. The map showing the sampling sites. Pado-ri and Beopsan-ri in Tae-an were located in Geunso Bay on the west coast of Korea. Pado-ri and Beopsan-ri experimental site was far from about 2.3 km each other, and air exposure time of the site is 2-4 hours at Pado-ri and 4-6 hours at Beopsan-ri, respectively.

갯벌면적 1 ha당 300 톤을 기준으로, 직경 2 mm 이상의 굵은 모래를 5 cm 두께로 고루 살포하고, 살포된 모래가 기존의 갯벌 저질과 잘 섞이도록 습지불도저로 경운을 실시하였다. 두 지역에 조성한 종패 발생장에서 모래살포구역을 시험구로, 인접한 비살포구역을 대조구로 각각 설정하였다. 시험구와 대조구에 대한 바지락 및 환경요인에 대한 조사는 2014년 1월부터 2015년 12월까지 2년간 실시하였다.

2. 서식환경 조사

종패발생장 조성 후 연중 바지락 서식환경의 변화 특성을 구명하기 위해 수질 및 퇴적물을 조사하였다. 수질은 YSI 556 Multiprobe system (YSI Inc., USA) 을 이용하여 저조 시 어장 주변 갯골에 흐르는 해수의 수온 (°C), 염분 (psu), 용존 산소 (mg/L), pH를 현장에서 측정하였다. 퇴적물은 각 종패발생장의 시험구와 대조구에서 바지락이 서식하는 깊이인 3-5 cm 깊이의 저질을 3반복으로 채취하여 냉장상태로 실험실로 운반한 후 냉동실에 보관하며 해양환경공정시험기준 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, MLTM, 2010) 에 따라 입도 및 일반성분을 분석하였다. 입도분석 전에 유기물 제거를 위해 퇴적물 시료에 과산화수소 (hydrogen peroxide) 전 처리를 실시하였고, 습식체질에 의해 4Φ 체에 남은 퇴적물은 건식체질법으로, 4Φ 체를 통과한 퇴적물은 SediGraph III 5120 (Micromeritics, USA) 를 이용하여 조직특성 (자갈, 모래, 실트, 점토질 조성 비율) 과 통계변수 (평균입도, 분급도, 침도, 왜도) 를 분석하였다. 입도특성에 의한 저질유형은 Folk (1968) 의 방법에 따라 분류하였다. 퇴적물의 일반성분인 산휘발성황화물 (acid volatile sulfide, AVS, mg S/g), 함수율 (water content, WC, %), 강열감량 (ignition loss, IL, %), 화학적산소요구량 (chemical oxygen demand, COD, mg/g) 등을 분석하였다.

3. 바지락 치패 및 성패의 서식밀도 변화

모래살포에 의한 종패발생장 조성 후 바지락 치패의 서식밀도 변화는 2014년 1월부터 2015년 12월까지 파도리와 법산리에서 시험구 당 3반복으로 20 × 20 cm 방형구를 이용하여 깊이 10 cm 까지 저질을 모두 채취한 후, 실험실로 옮겨 퇴적물과 바지락 치패를 분리하고 치패의 수를 계수하였다. 채취한 저질 및 바지락 치패는 mesh 300, 850, 2,000 μm sieve를 이용하여 크기별로 분류하고, 70% 알코올에 고정하였다. 고정된 저질 및 바지락 치패 시료는 Rose Bangal 염색약을 이용하여 유기물 (바지락 패각) 을 염색한 후, 실체현미경 (Stereo Discovery V.20, CarlZeiss, Germany) 하에서 바지락 치패의 동정 및 계수를 실시하였다.

바지락 성패의 연중 서식밀도 변화 조사는 2015년 1월부터

12월까지 파도리와 법산리에서 시험구 당 3반복으로 50 × 50 cm 방형구를 이용하여 깊이 10 cm 내 저질을 모두 채취한 후, 실험실로 옮겨 각장 (shell length, SL, mm) 10 mm 이상 크기의 활 바지락을 계수하여 분석하였다.

결 과

1. 서식환경 특성 변화

1) 퇴적물 입도

태안군 근소만 해역의 파도리와 법산리 갯벌어장에서 모래살포 및 경운으로 조성한 자연 종패발생장에서 연중 퇴적물 입도 변화는 각각 Table 1, Table 2와 같다. 파도리의 경우, 모래살포 전인 2013년 8월에 약역니질사 ((g)mS) 의 저질 특성을 보였고, 모래를 살포한 시험구는 사질 (S) 로 변화하였다 (Table 1). 이후 2014년 1월부터 12월까지 1년간 Folk (1968) 분류법에 의한 저질 특성은 시험구와 대조구 모두 약역니질사 ((g)mS) 가 우세하게 관찰되었다. 그러나 모래를 살포한 시험구의 경우, 평균 입도가 1.60-4.73 Φ 의 범위였고, 분급도가 0.30-3.61 Φ 의 범위로 저질의 입도는 다소 조립해지고 분급도는 불량해진 것을 관찰할 수 있었다. 반면, 대조구의 경우, 평균 입도는 1.98-5.15 Φ, 분급도는 1.84-3.04 Φ 로 시험구에 비해 저질의 입도가 세립질화되고 분급도는 양호하였다. 모래살포 2년 후에는 시험구와 대조구에서 모두 필이 퇴적되어 사질니 (sM) 의 저질 특성을 보이며, 입자는 세립화되고 분급도는 더욱 양호해지는 변화를 보였다 (Table 1).

법산리에 조성한 종패발생장에서는 Table 2와 같이, 2013년 8월 모래살포 전에는 역질사 (gS) 였으나 모래를 살포한 시험구는 실트질사 (zS) 로 변화하였다. 이후 2014년 1월부터 12월까지 대조구는 약역니질사 ((g)mS) 로 파도리와 비슷한 저질 특성을 보였다. 그러나 시험구에서는 2014년 5월부터 7월까지 살포한 모래가 잘 섞이지 않아 모래의 비율이 84.1-94.7% 인 역질사 (gS) 의 특성을 보였다. 모래살포 2년 후인 2015년도에는 파도리와 마찬가지로 필이 퇴적이 계속됨에 따라, 시험구와 대조구 모두 대부분 사질니 (sM) 로 저질특성이 변화하였다. 시험구에서 평균 입도와 분급도는 2014년에는 각각 0.43-4.12 Φ, 1.10-2.36 Φ 로 대조구에 비해 입자가 크고 분급도가 불량했으나, 2015년에는 필의 퇴적으로 인해 세립화되면서 시험구와 대조구 사이의 차이가 거의 없었다.

2) 퇴적물 일반성분

함수율 (WC, %) 은 파도리와 법산리 모두 2년간 2015년 3월 (39.8-45.5%) 을 제외하고 10.1-38.4%로, 모래살포나 계절 변화로 인한 뚜렷한 패턴은 보이지 않았다. 함수율의 최고치는 2015년 3월에 법산리 시험구 (45.5%) 에서 관찰되었고,

Table 1. Textures, statistical parameters and sediment type of control and experimental sites in Pado-ri in Geunso Bay on the west coast of Korea

Pado-ri		Control								
		Textures (%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
2013	A	4.1	83.8	8.5	3.6	2.3	1.96			(g)mS
2014	J	0.0	51.7	29.4	18.9	5.15	2.96	0.65	1.12	mS
	F	0.0	57.2	27.5	15.3	4.70	2.82	0.57	1.37	mS
	M	2.4	61.7	22.9	12.9	4.33	2.97	0.43	1.71	(g)mS
	A	0.0	66.3	21.4	12.3	4.33	2.41	0.62	1.82	mS
	M	0.0	72.0	19.8	8.2	3.84	1.84	0.52	2.33	zS
	J	0.2	56.8	27.2	15.8	4.83	2.75	0.61	1.32	(g)mS
	J	0.2	77.9	14.8	7.1	3.29	1.91	0.44	2.35	(g)mS
	A	0.1	57.6	25.1	17.2	4.83	2.98	0.61	1.21	(g)mS
	S	0.1	65.4	20.9	13.6	4.39	2.71	0.61	1.50	(g)mS
	O	0.1	63.2	21.2	15.5	4.68	2.80	0.67	1.44	(g)mS
	N	9.9	78.5	6.5	5.1	1.98	2.49	-0.10	1.43	gmS
D	0.0	56.1	24.7	19.2	5.10	3.04	0.66	1.13	mS	
2015	J	7.6	43.2	29.3	19.8	4.92	3.13	0.36	0.95	gM
	F	2.8	36.3	35.9	25.0	5.72	3.07	0.09	0.86	sM
	M	1.8	44.2	39.1	14.9	4.87	2.58	0.33	0.88	sM
	A	2.4	63.2	22.8	11.7	3.67	2.93	0.36	1.23	mS
	M	3.2	29.2	40.2	27.3	5.88	3.15	0.10	0.84	sM
	J	2.1	23.0	44.0	31.0	6.28	2.95	-0.11	0.88	sM
	J	2.8	16.3	49.5	31.4	6.40	2.88	-0.03	0.93	sM
	A	0.4	18.4	36.3	45.0	7.17	2.80	-0.30	0.72	sM
	S	0.0	15.9	41.8	42.3	7.13	2.45	-0.26	0.86	sM
	O	9.1	24.6	25.3	41.0	6.43	3.88	-0.39	0.77	gM
	N	1.6	18.1	28.7	51.5	7.25	2.73	-0.48	0.78	sM
D	0.7	16.5	47.0	35.8	6.85	2.6	-0.11	0.78	sM	
Pado-ri		Experiment								
		Textures (%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
2013	A	0.0	100	0	0	2.50	0.30			S
2014	J	0.7	71.9	16.5	11.0	4.00	2.43	0.59	2.31	(g)mS
	F	8.4	73.9	12.1	5.6	2.33	2.57	-0.07	1.90	gmS
	M	4.0	66.9	17.8	11.3	3.91	2.83	0.39	2.10	(g)mS
	A	1.9	64.2	21.1	12.8	4.22	2.90	0.45	2.00	(g)mS
	M	4.1	83.8	8.5	3.6	2.26	1.96	-0.12	1.43	(g)mS
	J	1.3	74.8	15.7	8.2	3.39	2.25	0.32	2.38	(g)mS
	J	8.2	61.8	17.5	12.5	3.42	3.61	0.22	1.89	gmS
	A	16.6	74.0	6.4	3.0	1.60	2.30	-0.24	0.85	gmS
	S	3.8	69.4	15.0	11.7	3.36	3.22	0.21	2.12	(g)mS
	O	1.8	64.2	18.4	15.6	4.55	3.11	0.52	1.65	(g)mS
	N	0.2	59.9	23.5	16.4	4.73	2.95	0.60	1.31	(g)mS
D	2.4	60.8	20.6	16.2	4.63	3.24	0.47	1.60	(g)mS	
2015	J	9.7	69.2	12.1	8.9	2.98	3.17	0.05	1.98	gmS
	F	6.7	53.4	19.7	20.3	4.58	4.02	0.26	1.08	gmS
	M	0.4	78.7	12.2	8.7	3.55	2.01	0.73	2.83	mS
	A	0.2	72.5	18.2	9.1	3.45	2.39	0.42	1.65	mS
	M	3.8	38.4	31.0	26.8	5.63	3.46	-0.01	0.79	sZ
	J	0.5	24.9	40.5	34.1	6.45	2.76	-0.09	0.67	sM
	J	0.5	23.1	48.6	27.8	6.25	2.57	0.01	0.79	sM
	A	0.3	15.5	27.5	56.7	7.47	2.48	-0.58	0.92	sM
	S	2.4	29.0	24.9	43.6	6.73	3.47	-0.38	0.67	sM
	O	6.9	44.3	26.5	22.4	7.2	3.56	-0.65	0.67	gM
	N	0.6	41.7	26.3	31.4	5.93	2.7	-0.1	0.86	sM
D	0.4	20.4	43.1	36.1	6.77	2.71	-0.14	0.73	sM	

Table 2. Textures, statistical parameters and sediment type of control and experimental sites in Beopsan-ri in Geunso Bay on the west coast of Korea

Beopsan-ri		Control								
		Textures (%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
2013	A	15.9	84.1	0	0	0.43	1.24			gS
2014	J	1.6	72.7	21.0	4.7	3.62	1.47	0.25	2.46	(g)mS
	F	1.2	70.9	21.7	6.2	3.55	2.01	0.14	2.57	(g)mS
	M	0.0	61.4	30.0	8.5	3.99	2.13	0.35	2.10	zS
	A	6.1	73.3	16.5	4.1	2.48	2.36	-0.28	1.49	gmS
	M	3.8	75.8	16.4	4.1	2.98	1.67	0.05	1.58	(g)mS
	J	0.6	70.2	23.1	6.2	3.80	1.52	0.42	2.54	(g)mS
	J	0.5	75.6	18.9	5.0	3.52	1.58	0.24	2.42	(g)mS
	A	8.6	69.0	16.5	5.9	2.85	2.60	-0.16	2.71	gmS
	S	7.8	73.9	13.6	4.7	2.51	2.40	-0.23	1.79	gmS
	O	14.9	72.7	9.8	2.6	1.56	2.32	-0.03	0.79	gmS
	N	31.8	59.6	6.2	2.4	0.49	2.41	0.35	1.06	msG
	D	6.6	73.0	14.9	5.4	2.82	2.46	-0.14	2.37	gmS
2015	J	0.0	48.6	31.6	19.8	5.37	2.95	0.44	1.13	sM
	F	0.0	56.5	31.0	12.6	3.60	3.26	0.06	1.62	zS
	M	1.7	38.3	39.3	20.8	5.67	2.81	0.30	0.90	sM
	A	2.5	59.7	26.5	11.3	3.17	2.76	0.33	1.23	sM
	M	2.6	35.3	38.3	23.8	5.80	3.24	0.26	0.95	sM
	J	2.5	31.6	28.5	37.5	6.33	3.23	0.12	0.61	sM
	J	6.8	18.9	46.2	28.1	6.03	3.45	-0.06	1.09	gM
	A	1.4	20.4	37.3	40.9	6.70	2.62	-0.21	0.69	sM
	S	9.5	51.8	22.3	16.4	3.63	3.7	0.12	0.67	gmS
	O	2.4	37.1	36.6	23.9	5.67	2.97	-0.06	0.82	sM
	N	33.7	56.1	8.2	2.0	0.37	2.62	0.55	1.67	msG
	D	17.8	34.6	35.0	12.6	3.4	3.92	-0.1	0.86	gM
Beopsan-ri		Experiment								
		Textures (%)				Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
2013	A	0	62.3	26.6	11.1	4.20	2.30			zS
2014	J	0.7	83.2	13.0	3.1	2.34	1.69	0.40	1.22	(g)mS
	F	1.9	67.2	24.3	6.7	3.30	2.33	0.05	1.70	(g)mS
	M	0.0	61.2	29.7	9.1	4.12	1.97	0.46	2.05	zS
	A	1.5	67.7	24.0	6.9	3.33	2.36	0.13	1.50	(g)mS
	M	15.9	84.1	0.0	0.0	0.43	1.24	-0.33	0.89	gS
	J	7.1	92.9	0.0	0.0	0.84	1.11	-0.31	1.10	gS
	J	5.3	94.7	0.0	0.0	0.93	1.10	-0.22	1.20	gS
	A	3.8	81.6	11.2	3.4	1.92	1.96	0.24	1.12	(g)mS
	S	4.8	76.1	14.3	4.8	2.32	2.30	0.15	1.39	(g)mS
	O	8.1	79.7	9.4	2.8	1.60	2.12	0.15	0.93	gmS
	N	4.6	84.3	8.3	2.8	1.86	1.85	0.17	1.13	(g)mS
	D	5.5	78.8	12.6	3.2	2.03	2.03	0.16	1.16	gmS
2015	J	1.8	56.0	25.9	16.3	4.25	3.41	0.26	1.17	mS
	F	3.2	79.2	8.1	9.6	3.30	2.60	0.33	2.88	mS
	M	0.2	30.0	47.4	22.5	5.98	2.52	0.25	0.77	sM
	A	0.4	68.1	22.7	8.7	3.15	2.64	0.47	1.23	mS
	M	1.6	31.1	47.1	20.3	5.38	3.04	0.09	1.04	sM
	J	0.3	25.7	55.8	18.2	5.73	2.30	0.28	0.93	sM
	J	7.1	21.1	51.5	20.3	4.87	3.49	-0.08	1.10	gM
	A	0.4	39.1	38.7	21.9	5.65	3.72	-0.03	0.67	sM
	S	3.9	26.2	30.0	39.8	6.2	3.05	-0.33	0.7	sM
	O	0.0	26.2	30.6	43.2	6.62	2.64	-0.39	0.63	sM
	N	8.3	76.4	8.8	6.4	1.6	2.55	0.4	2.3	gmS
	D	2.9	38.6	42.0	16.5	4.72	3.1	0.08	1.01	sM

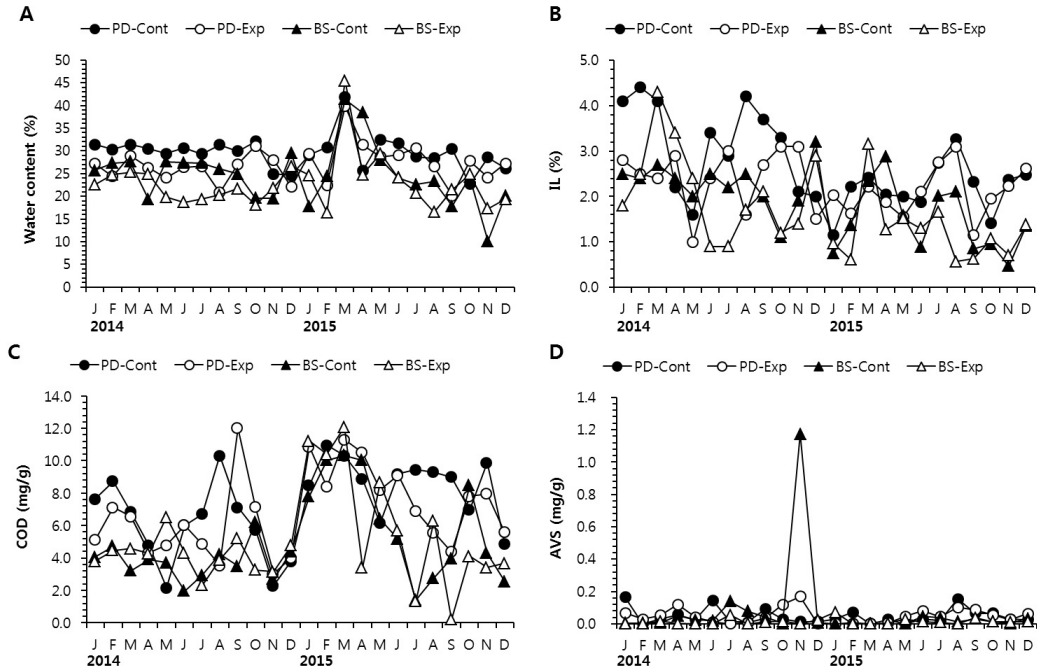


Fig. 2. Inter-annual changes of the water content (WC), ignition loss (IL), chemical oxygen demand (COD), acid volatile sulfide (AVS) in sediment of Pado-ri and Beopsan-ri in Geunso Bay on the west coast of Korea.

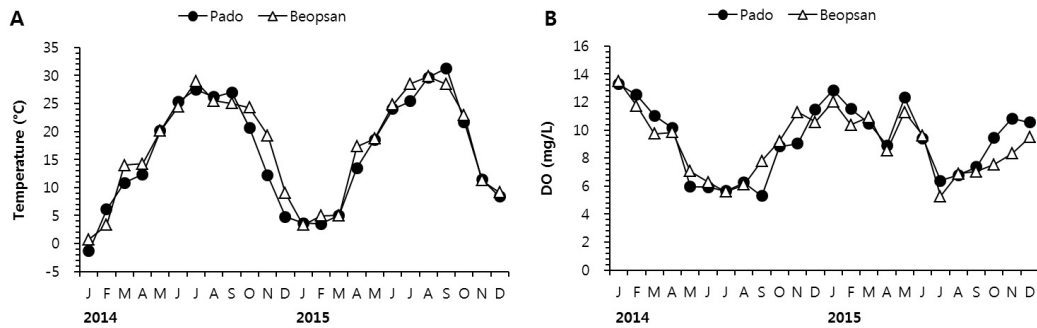


Fig. 3. Inter-annual variations of the water temperature and dissolved oxygen (DO) in Pado-ri and Beopsan-ri in Geunso Bay on the west coast of Korea.

최저치는 2015년 11월에 법산리 대조구 (10.1%) 에서 나타났다 (Fig. 2A).

강열감량 (IL) 은 파도리와 법산리에서 0.5-4.4%로, 모래살포에 따른 변화 및 계절적 변화의 뚜렷한 패턴은 보이지 않았다. IL의 최고값은 2014년 2월에 파도리 대조구 (4.4%) 에서, 최저값은 2015년 11월에 법산리 대조구 (0.5%) 에서 나타났다 (Fig. 2B).

화학적산소요구량 (COD) 또한 파도리와 법산리에서 0.2-12.0 mg/g로, 모래살포 및 계절적 변화에 따른 특징이 관찰되지 않았다. 최고 COD는 2014년 9월에 파도리 시험구 (12.0 mg/g) 에서, 최저 COD는 2015년 9월 법산리 시험구

(0.2 mg/g) 에서 각각 관찰되었다 (Fig. 2C).

산취발성황화물 (AVS) 은 2014년 11월에 법산리 대조구에서 1.2 mg/g을 기록한 것을 제외하고, 파도리와 법산리 모두 0.0-0.2 mg/g였다 (Fig. 2D).

3) 수질

근소만 종패발생장 수역에서 파도리와 법산리의 수온변화는 Fig. 3A와 같았다. 연중 최저수온은 2014년 1월 파도리와 법산에서 각각 -1.36°C와 0.75°C를 기록하였고, 최고수온은 9월에 파도리와 법산에서 각각 26.95°C와 25.03°C 였다. 이와

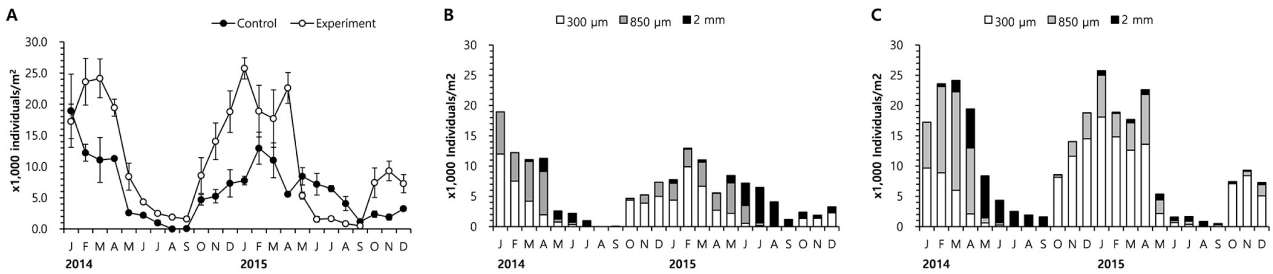


Fig. 4. Inter-annual density variation of the Manila clam spat (less than 5 mm shell length (SL)) in Pado-ri. **A:** inter-annual density variation of total number of the clam spat, **B:** inter-annual density variation of the clam spat with their size distribution in control site, **C:** inter-annual density variation of the clam spat with their size distribution in experimental site.

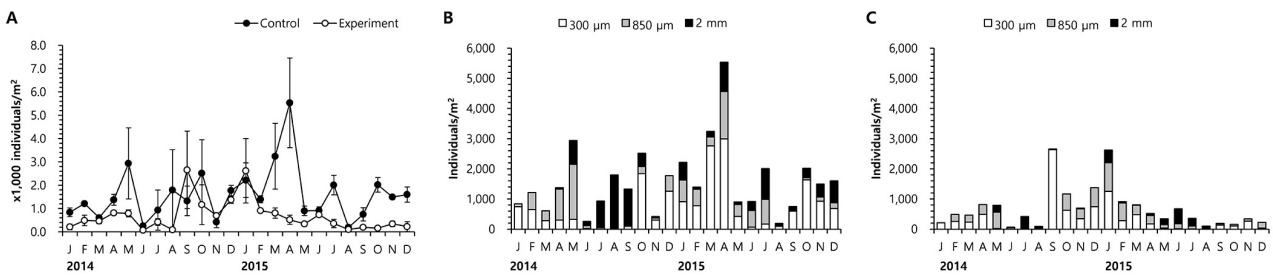


Fig. 5. Inter-annual density variation of the Manila clam spat (less than 5 mm shell length (SL)) in Beopsan-ri. **A:** inter-annual density variation of total number of the clam spat, **B:** inter-annual density variation of the clam spat with their size distribution in control site, **C:** inter-annual density variation of the clam spat with their size distribution in experimental site.

같은 수온변화 패턴은 2015년에도 동일하게 관찰되었으나, 2015년 1-2월의 수온은 2014년보다 높은 3.33-4.97°C, 여름철 수온은 9월에 28.45-31.28°C로 측정되었다.

용존산소 (DO) 는 겨울에 높고 여름에 낮은 전형적인 계절적 경향을 나타내었다 (Fig. 3B). 2014년 1월 파도리와 법산리에서 각각 13.27 mg/L, 13.48 mg/L로 가장 높았고, 점점 감소하여 2014년 7월에 각각 5.66 mg/L, 5.61 mg/L로 최저 값을 기록한 후 10월부터 다시 증가하였다.

염분과 pH는 연구기간 동안 파도리와 법산리에서 큰 변화없이 각각 27.4-34.0 psu, 7.6-8.9 를 기록하였다 (data not shown).

2. 바지락 서식밀도 변화

1) 치패 서식밀도

태안군 파도리와 법산리에 모래살포 및 경운으로 종패발생장을 조성한 후 새로 가입되는 치패 (각장 5 mm 이하) 의 연중 변화는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. 파도리 대조구에서는 2014년 1월에 18,951.0 ± 5,874.7 inds./m²로 가장 높은 치패 서식밀도가 관찰된 후, 점차 감소하여 8월에는 치패가 관찰되지 않았다 (Fig. 4A). 10월에는 4,685.3 ± 845.9 inds./m²으로 새로 가입되는 치패가 관찰된 후 점점 증가하여 2015년 2월에 12,955.0 ± 2,560.8 inds./m²으로 최고 밀도를 나타낸 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 시기별 치패의 크기조성은

10월부터 이듬해 4월까지 300-850 µm, 850-2,000 µm 크기가 주로 관찰되었고, 4월부터 7월까지 2-5 mm 크기의 치패가 관찰되었다 (Fig. 4B).

모래를 살포한 파도리 시험구의 경우, 치패의 서식밀도는 2014년 2-4월에 19,440.6 ± 1,361.4 inds./m²에서 24,149.2 ± 3,109.7 inds./m²로 대조구에 비해 1.7-2.2배 많은 치패가 가입되었다. 이후, 2014년 5월부터는 서식밀도가 급격히 감소하였다가, 대조구와 유사하게 2014년 10월부터 새로운 치패의 가입이 관찰되었다. 2014년 10월부터 2015년 4월까지 새로 가입한 치패의 서식밀도는 8,547.1 ± 2,853.8 inds./m²에서 25,750.0 ± 1,708.7 inds./m²으로 대조구에 비해 1.5-4.0배 높았다 (Fig. 4A). 시험구에 가입된 치패의 크기별 구성 변화는 대조구와 비슷한 경향으로, 새로 가입한 치패가 관찰되는 10월부터 이듬해 3-4월까지 300-850 µm, 850-2,000 µm 크기가 우세하였고, 4-7월까지 이 치패들이 2-5 mm 크기로 성장하였다 (Fig. 4C).

법산리 대조구의 치패 서식밀도는 400-5,000 inds./m²로 파도리에 비해 5-20배 낮은 수준을 보였다 (Fig. 5A). 대조구의 치패 크기별 비율은 파도리와 비슷하게 10월에서 이듬해 4월까지 300-850 µm, 850-2,000 µm 크기가 우세하고, 4월부터 7월까지 2-5 mm 크기의 치패 구성비율이 증가하였지만, 월별 치패량은 심한 변화를 나타내었다 (Fig. 5B).

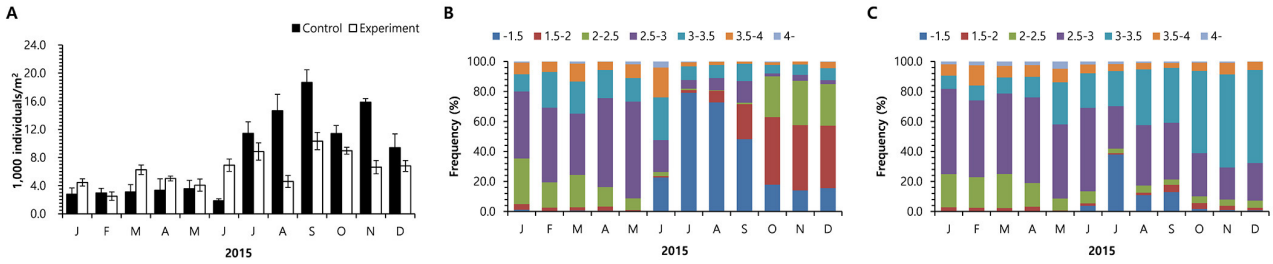


Fig. 6. Annual density variation of the adult clam (over 10 mm shell length (SL)) in Pado-ri. **A:** annual density variation of total number of the adult clams, **B:** annual changes of the size frequency of the adult clams in control site, **C:** annual changes of the size frequency of the adult clams in experimental site.

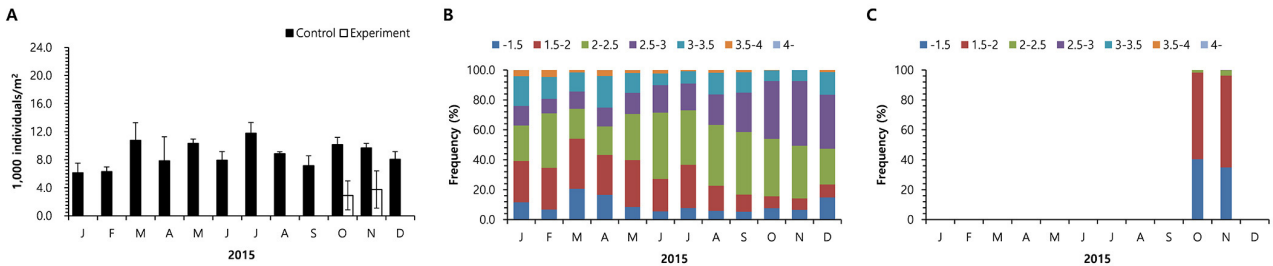


Fig. 7. Annual density variation of the adult clam (over 10 mm shell length (SL)) in Beopsan-ri. **A:** annual density variation of total number of the adult clams, **B:** annual changes of the size frequency of the adult clams in control site, **C:** annual changes of the size frequency of the adult clams in experimental site.

모래를 살포한 법산리 시험구에서는 대조구에 비해 더 적은 양의 치패가 가입되었다 (Fig. 5A, 5C). 법산리 시험구에서는 2014년 1월에서 4월까지 209.8 ± 121.1 inds./m²에서 815.9 ± 101.6 inds./m²으로 대조구에 비해 치패 서식밀도가 1.3-4.0배 낮은 결과를 보였다. 2014년에 새로 치패가 가입한 10월부터 이듬해 4월까지도 서식밀도가 699.3 ± 69.9 inds./m²에서 $2,657.3 \pm 1,664.2$ inds./m²의 수준으로 대조구에 비해 0.5-4.0배 낮은 밀도를 보였다. 연중 치패의 크기별 구성 변화는 파도리의 시험구와 대조구, 법산리의 대조구와 비슷하게 나타났다.

2) 성패 서식밀도

모래살포 및 경운을 통한 자연 종패발생장 조성 후, 각종 10 mm 이상 성패의 연중 서식밀도 변화는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다. 파도리의 경우, Fig. 6A와 같이 2015년 1월부터 6월까지의 대조구에서 $1,842 \pm 276$ inds./m²에서 $3,542 \pm 1,204$ inds./m²으로 유지되다가 7월 이후 급격히 증가하여 12월까지 $9,383 \pm 1,973$ inds./m²에서 $18,675 \pm 10,333$ inds./m²의 높은 밀도를 보였다. 파도리 시험구의 경우에는 2015년 1월에서 6월까지의 대조구보다 높은 $2,500 \pm 594$ inds./m²에서 $6,908 \pm 882$ inds./m²의 밀도를 보였으나, 7월부터 12월까지의 $4,592 \pm 853$ inds./m²에서 $10,333 \pm 1,228$ inds./m²

로 대조구에 비해 오히려 서식밀도가 낮았다. 이처럼 7월 이후 대조구에서 성패 서식밀도가 높게 나타난 것은 시험구에 비해 각종 20 mm 이하 크기의 바지락이 대량 가입되었기 때문이다 (Fig. 6B, 6C). 바지락의 시중 판매 크기인 각종 30 mm 이상의 성패는 파도리 대조구가 연중 $558-2,450$ inds./m²였으며, 시험구의 경우에는 $650-5,483$ inds./m²로 대조구에 비해 연중 0.7-6.0배 높은 밀도를 유지하였다.

법산리의 대조구와 시험구에서 각종 10 mm 이상 성패의 연중 서식밀도는 Fig. 7A와 같다. 대조구에서는 연중 $6,138 \pm 1,367$ inds./m²에서 $11,775 \pm 1,527$ inds./m²로 조사되었고, 시험구에서는 2015년 10월과 11월에 각각 $2,908 \pm 2,057$ inds./m², $3,750 \pm 2,652$ inds./m² 외에 성패가 관찰되지 않았다. 법산리 대조구에서는 서식 개체의 양 (Fig. 7A) 과 크기별 구성 비율 (Fig. 7B) 이 파도리와 달리 연중 일정한 수준을 유지하는 경향이 있었고, 2015년 하반기로 갈수록 각종 20-30 mm 크기의 비율이 증가하였다. 반면, 법산리 시험구에서는 2015년 10월과 11월에만 각종 20 mm 이하 크기의 바지락이 관찰되고, 그 외의 연구기간에는 관찰되지 않았다.

고 찰

1. 모래살포에 따른 바지락 서식환경 변화

바지락 치패는 일반적으로 저질의 입자 크기가 다양하고 퇴적물의 분급이 불량한 곳에서 정착하는 것으로 보고되어 있다 (Park *et al.*, 2013, Park *et al.*, 2018). 본 연구는 갯벌에 모래를 살포하고 경운을 실시하여 저질에 변화를 주었을 때 바지락의 치패 착저량이 증가하고 생존에 유리한 환경이 제공되는지를 알아보려고 시도되었다. 충남 근소만 내 파도리와 법산리 갯벌어장에 모래를 살포함으로써 저질의 입도조성이 일시적으로 조립화되었지만 살포 후 약 1년 정도만 효과가 유지되었고 이듬해 4월을 기점으로 니질 (M)의 함량이 증가하여 다시 세립화되는 양상을 보였다. Yoon *et al.* (2012; 2014)은 인위적으로 조성한 저질의 경우 모래살포 직후에 저질이 극조립사로 급격하게 변하지만 약 8개월 후에는 계절적 요인에 의해 재세립화가 진행된다고 보고한 바 있다. Park *et al.* (2018)도 서해안 19개 정점의 4월과 8월 퇴적물 조성을 조사하였을 때, 동일 지역임에도 불구하고 조사 지점에 따라 저질 특성이 다를 것을 보고하였다. 반면, 경기도와 충남 태안의 바지락 자연 종패 발생장에 대한 일부 보고에서는 저질특성의 계절 변화가 뚜렷하게 관찰되지 않았다 (Park *et al.*, 2010; 2013a; Kim *et al.*, 2017). 이와 같은 점을 고려해 볼 때 굵은모래 등을 투입하여 인위적으로 저질 특성을 조립질로 변화시켰을 때에는 그 효과가 1년 내외로 길지 않기 때문에 필 퇴적으로 문힌 모래를 표층으로 노출시킬 수 있는 효과적인 경운 등 사후관리가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

바지락의 서식에 영향을 줄 수 있는 퇴적물의 오염도 판단을 위해 일반 항목을 분석한 결과, 본 연구에서는 강열감량 (IL)을 제외한 함수율 (WC), 화학적 산소요구량 (COD), 산취발성 황화물 (AVS)의 경우 계절적인 변화 특성은 관찰할 수 없었다. COD와 AVS의 경우에는 Choi *et al.* (2019)이 근소만 파도리와 법산리에서 보고한 범위 (COD 4-8 mg/g-dry wt, AVS 0.00-0.090 mg/g) 보다는 넓은 범위의 변동폭을 보였다. 또한 Choi *et al.* (2014)이 충남 근소만 정산포 바지락 어장에서 조사한 저질 특성과는 큰 차이를 보이지 않았다.

2. 바지락 치패 및 성패 서식밀도

본 연구에서는 파도리 지역에서 850 μm 이하의 바지락 치패 출현량을 조사한 결과, 모래를 살포한 시험구의 치패 서식밀도가 대조구에 비해 1.5-4.9배 높게 관찰됨으로써 모래살포가 바지락 치패의 가입량 증대에 효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 관련 Cigarría and Fernández (2000)는 착저 기질의 입자가 클수록 치패의 착저 공간 확보 및 저질의 안정성 증가, 포식자 감소, 세립질의 부유로 인한 사망률의 감소 등 치패의 생존에 유리한 효과가 나타난다고 보고한 바 있다. 또한 Shigeaki (1992)는 4 ϕ -1 ϕ 의 저질에 바지락 치패를 살포하여 이동 및 착저 양상을 연구한 결과, 저질의 평균입도가

클수록 바지락 치패가 더 많이 가입하였고 따라서 치패가 착저에 유리한 저질을 선택할 수 있다고 보고하였다. 국내의 연구에서도 굴 패각을 이용하여 저질을 개선해 주었을 때, 바지락의 성장 및 생존이 높아지는 사례 (Park *et al.*, 2011)가 보고된 바 있으며, Kim *et al.* (2017)은 충남 태안군 의항리와 파도리 바지락 어장에서 저질 입도가 크고 바지락 서식밀도가 낮은 의항리에서 더 많은 치패의 가입을 보고한 바 있다. 다양한 선행연구들을 종합해 보면, 본 연구의 태안 근소만 파도리의 모래살포구에서 치패 가입량과 서식밀도가 증가한 현상은 저질의 조립화로 치패의 착저에 유리한 환경이 잘 조성되고 착저 이후 생존 기회도 증가하였기 때문으로 판단된다.

한편 본 연구에서 법산리는 파도리와 달리 모래를 살포했음에도 불구하고 시험구의 바지락 치패 발생률이 현저하게 낮은 것으로 조사되었다 (Fig. 3 및 Fig. 4). 평균입도는 대조구 3.74 ϕ , 시험구 3.43 ϕ 로 대조구가 더 조립하였고, 분급도는 대조구 2.60 ϕ , 시험구 2.38 ϕ 로 대조구의 분급도가 더 불량하였다. Back *et al.* (2009)은 바지락 부유유생의 착저율이 저질 입도에 따라 달라진다고 했으며, Tezuka *et al.* (2013)은 저질을 구성하는 입자의 크기가 세립사 (fine sand)인 3-4 ϕ 보다 작으면 치패가 착저에 실패할 가능성이 있다고 보고한 바 있다. 갯벌에 착저한 어린 치패의 생존에 영향을 줄 수 있는 요인은 저질의 입도나 지화학적 특성 외에도 포식, 먹이 경쟁, 노출시간, 지온 등 다양하므로 더 많은 연구가 필요할 것이다.

퇴적물의 입자특성과 어린 조개의 착저에 관련된 선행연구 결과를 중심으로 법산리 시험구에서 나타난 결과를 고찰해 보면, 모래살포에도 불구하고 저질 평균 입도의 조립화 효과가 미흡했던 점, 그 상태에서 필이 지속적으로 퇴적되어 세립화가 기증되고 치패의 착저 및 안정적 정착에 불리한 환경이 조성된 점 때문에 치패 서식밀도가 대조구에 비해 현저히 낮게 나타난 것으로 판단된다. 따라서, 치패발생에 적합한 환경조성을 위해 모래살포를 시도할 경우에는 모래살포 효과의 지속기간에 직접 영향을 줄 수 있는 원래의 저질상태와 필의 퇴적을 등을 미리 충분히 검토할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 갯벌에 인위적인 종패 발생장 조성으로 바지락 자원 증대효과의 지속 여부를 알아보기 위해 2013년 8월에 태안군 근소만 해역 2개소 (파도리, 법산리)에 각각 모래살포와 경운으로 조성한 자연 종패발생장을 조사하였다. 종패발생장 조성 효과를 구명하기 위해 2014년 1월부터 2015년 12월까지 2년간 모래살포구와 대조구에 서식 (가입)하는 바지락 치패 (각장 5 mm 이하)와 성패 (각장 10 mm 이상)의 서식

밀도 및 서식환경 (퇴적물) 의 변화를 조사하였다. 그 결과, 파도리 (간출시간 평균 2-4시간) 의 경우, 10월부터 이듬해 4월 까지 치패의 가입이 모래살포구에서 최대 $25,750 \pm 1,708$ inds./m² (Jan. 2015)으로 대조구에 비해 1.5-4.9배 많았다. 반면 법산리 (간출시간 4-6 시간) 의 경우에는 치패의 연중 가입 패턴이 불규칙하였고, 서식밀도는 대부분 3,000 inds./m² 전후로 모래살포의 영향을 받지 않았다. 특히 모래살포 후 2년 차인 2015년 월별 성패의 서식밀도는 파도리의 저질 내 모래질이 급격히 변화하는 7월부터 각장 20 mm 이하 크기의 바지락이 대조구에서 급격하게 가입하였다. 연구결과를 종합해 보면, 종패발생장에서 인위적인 모래살포로 나타나는 치패 발생량의 증대효과는 퇴적에 의한 니질화로 단기간에 감소할 우려가 있으며, 착저한 치패의 생존율을 높이기 위해서는 갯벌의 간출 시간, 퇴적 또는 침식에 의한 저질환경의 변화 정도 등을 미리 충분히 검토하여 종패발생장을 조성할 필요성이 있음을 시사해 준다고 할 수 있다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 수산시험연구소 ‘갯벌 패류양식 생산성 향상 연구 (R2019008)’ 의 지원으로 수행되었습니다. 이 논문을 심사해 주신 심사위원님들과, 현장실험 및 조사에 협조해 주신 태안군 관계자 및 어업인들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Back, S.H., Park, K.J., Park, Y.J., Cheon, J.J., Cho, K.C. and Kim, Y.U. (2009) Fundamental Study about Bottom-Clinging Rate in Free Floating Larva by Infiltration Flow in Tidal. *Korean J. Malacol.*, **25**(2): 97-103. [in Korean with English abstract]
- Baek, M.J., Lee, Y.J., Choi, K.S., Lee, W.C., Park, H.J., Kwak, J.H., and Kang, C.K. (2014) Physiological disturbance of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, by altered environmental conditions in a tidal flat on the west coast of Korea. *Mar. Poll. Bull.*, **78**: 137-145.
- Choi, J.K., Ryu, J.H., Woo, H.J. and Eom, J.A. (2011) A study on the flushing characteristics in Geunso bay using hydro-hypsographic analysis. *J. Wetlands Res.*, **13**(1): 45-52.
- Choi, Y.S., Jeon, S.R., Choi, Y.H., and Cho Y.S. (2019) The environmental characteristics and factors on the cultured clam (*Ruditapes philippinarum*) at Gomso and Geunso bay of in the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **35**(1): 33-44. [in Korean with English abstract]
- Choi, Y.S., Song, J.H., Yoon, S.P., Chung, S.O., An, K.H. and Park, K.J. (2014) The Environmental Characteristics and Factors on the Cultured manila clam (*Ruditapes philippinarum*) at Hwangdo and Jeongsanpo of Taeon in the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **30**(2): 117-126. [in Korean with English abstract]
- Cigarría, J. and Fernández, J.M. (2000) Management of Manila clam beds I. Influence of seed size, type of substratum and protection on initial mortality. *Aquaculture.*, **182**: 173-182.
- Folk, R.L. (1968) Petrology of sedimentary rock, pp.170. Hemphill Publishing Co., Austin TX, U.S.A.
- Gouletquer, P., Robert, R., and Trut, G. (1999) Manila Clam *Tapes philippinarum* culture: Sediment-clam interactions. *Aquat. Living Resour.*, **12**(1): 45-56.
- Kang, K.H., Chang, J.Y., and Kim, Y.H. (2000) Growth comparison of short neck clam, *Tapes philippinarum* between the two culturing areas. *Korean J. Malacol.*, **16**(1-2): 49-54. [in Korean with English abstract]
- Kim, C.W. and Kho, K.H. (2004) Effects of Water Temperature and Salinity on Dietary Feeding of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Korean J. Environ. Biol.*, **22**(1): 28-34. [in Korean with English abstract]
- Kim, D.S. and Kim, K.H. (2010) Phosphorus Speciation and Bioavailability in Intertidal Sediments of Keunso Bay, Yellow Sea During Summer and Winter. *Ocean Polar Res.*, **32**(3): 177-186. [in Korean with English abstract]
- Kim, K.H. and Kim, D.S. (2008) Seasonal and Spatial Variations of Nutrient Fluxes in the Intertidal Flat of Keunso Bay, the Yellow Sea. *Ocean Polar Res.*, **30**(3): 225-238. [in Korean with English abstract]
- Kim, S.L., Kwon, S.H., Lee, H.G., and Yu, O.H. (2017) Effects of environmental and biological conditions on the recruitment and growth of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* on the west coast of Korea. *Ocean Sci. J.*, **52**(1): 91-101.
- Korean Statistical Information Service(KOSIS). (2015) <http://kosis.kr/>
- Min, K.S., Lee, S.J., Kim, B.H., and Park, K.Y. (2004) Tolerance against water temperature and growth of *Ruditapes philippinarum* spats in different substrates. *Korean J. Malacol.*, **20**(2): 121-124. [in Korean with English abstract]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2010) Marine environmental test method. 495pp [in Korean]
- Ministry of Fisheries (MOF). (2015) 2015 Maritime Key Statistics. pp.80, 86.
- Mitsuharu, T. (2004) The decline of Manila clam stock in Tokyo Bay. *Bull. Fish. Res. Agen. Supplement.*, **1**: 13-18.
- 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. *J. Korean Fish. Soc.*, **32**(3): 303-309. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Choi, Y.S., Heo, S., Kang, H.W., Han, H.S., and O, H.C. (2010) Report on the sediment types,

- environmental parameters, density and biometry of Manila clam *Ruditapes philippinarum* in Gyeonggi Bay off the west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**(4): 267-273. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Yoon, S.P., Song, J.H., Han, H.S. and O, H.C. (2011) Improvement of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*) Habitat Condition by Adding Crushed Oyster (*Crassostrea gigas*) Shells to the Substratum. *Korean J. Malacol.*, **27**(4): 291-297. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Yang, H.S., Jeung, H.D. and Choi, K.S. (2013a) 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. *Korean J. Malacol.*, **29**: 147-154. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Song, J.H., Choi, Y.S. and An, K.H. (2013b) Changes in density and culture conditions of the Manila Clam *Ruditapes philippinarum* on the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.* **29**(3): 207-216. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Kim, S.K., Kang, D.Y. and Song, J.H. (2015) Oil spill of Hebei spirit and Change of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.* **31**(3): 213-220. [in Korean with English abstract]
- Park, K.J., Heo, S., Lee, J.H., Oh, H.N. and Ryu, S.O. (2018) Characteristics of Seed occurrence and Inhabited environments of Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* beds in the West coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **34**(1): 17-29. [in Korean with English abstract]
- Shigeaki, Y. (1992) Selective Settlement of Japanese Littleneck Larvae and Their Distribution in Mikawa Bay. *Fisheries Engineering*, **29**(1): 55-59.
- Shin, Y.K., Kim, Y., Chung, E.Y. and Hur, S.B. (2000) Temperature and Salinity Tolerance of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. Korean Fish. Soc.*, **33**(3): 213-218. [in Korean with English abstract]
- Tezuka, N., Kanematsu, M., Asami, K., Sakiyama, K., Hamaguchi, M. and Usuki, H. (2013) Effect of salinity and substrate grain size on larval settlement of the asari clam (Manila clam, *Ruditapes philippinarum*). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **439**: 108-112.
- Thompson, D.S. (1995) Substrate additive studies for the development of hardshell clam habitat in waters of Puget Sound in Washington State: An analysis of effects on recruitment, growth, and survival of the Manila clam, *Tapes philippinarum*, and on the species diversity and abundance of existing benthic organisms. *Estuaries*, **18**(1A): 91-107.7
- Yoon, S.P., Song, J.H., Choi, Y.S., Park, K.J., Chung, S.O., and Han, H.K. (2014) The impact of sand addition to an intertidal area for the development of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* habitat on benthic community structure (the case of Ojjeom tidal flat in Gonam-myeon, Taean-gun). *Korean J. Malacol.*, **30**(3): 259-271. [in Korean with English abstract]
- Yoon, S.P., Song, J.H., Kim, Y.J. and An, K.H. (2012) The Impact of Sand Addition to An Intertidal Area for the Development of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* Habitat on Benthic Community Structure. *J. Korean Soc. Oceanograp.*, **4**: 270-282. [in Korean with English abstract]

