

조석의 침투류에 의한 패류 유생의 착저 (着底) 효과에 관한 기초적 연구

백상호, 박광재, 박영제, 전제천, 조기채, 김이운

국립수산과학원 서해수산연구소

Fundamental Study about Bottom-Clinging Rate in Free Floating Larva by Infiltration Flow in Tidal

Sang Ho Back, Kwang Jae Park, Young Je Park, Jun Je Cheon, Kee Chae Cho and Yi Un Kim

West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

ABSTRACT

It is a research that free floating larva of *Ruditapes philippinarum* in compliance with infiltration flow of tidal accumulation and bottom-clinging system in high density also, It is a precondition this for the continuous augmentation of *Ruditapes philippinarum* resources. So in flow field of tidal the free floating larva produced the infiltration water tank that can possibly bottom-clinging and experiment the water tank which uses free floating larva, It evaluates that the acceleration effect of free floating larva by infiltration in objective. As a result, 1) The experiment on free floating larva's bottom sediment grain diameter came to be high recording as bottom-clinging rate at the static water field and even biologically it selects bottom-clinging substrate it will be able to confirm. 2) About occurrence of infiltration flow field is in case of that: the drift of a current 10cm/s, bottom sediment grain 1.21mm infiltration flow 0.3cm/s increase of 3~5 times was confirmed. 3) From free floating larva of *Ruditapes philippinarum* the choice of bottom sediment grain diameter depends in the biological factor and form the flow field the bottom-clinging acceleration effect was controled over physical stable condition. 4) In case of density of *Ruditapes philippinarum* free floating larva of sea area, bottom sediment grain diameter, flow condition which are very cleanly in the research that possibly could conjecture the free floating larva's bottom-clinging rate.

Key words: free floating larva, infiltration flow, bottom-clinging, flow field, static water field, bottom sediment grain diameter, bottom-clinging rate.

서론

우리나라 서해안은 잘 발달된 리아스식 해안과 큰 조석차에 의한 대규모의 갯벌 및 먹이 생물이 풍부한 천혜의 어장환경을 지니고 있다. 그러나 최근, 서해안 최대의 패류생산지였던 새만금 지역과 시화 갯벌, 화옹 갯벌 등의 대규모 간척, 매립 사업으로 수많은 갯벌과 해안선이 상실되고 있다. 또한 인공 방조제 설치에 의한 주변 갯벌 저질 변동과 지구 온난화에 따른

환경요인 및 기상 등의 복합적인 원인에 의해 갯벌에 서식하는 생물들의 대량 폐사로 이어지고 있다. 특히, 경기도 바지락의 경우, 2004년부터 매년 봄철인 3-4월에 대량 폐사가 발생하고 있어 어업인의 손실에 따른 폐사 원인 규명 요구가 빈번해지고 있다.

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 진변새 목 (Eulamellibranchia) 백합과 (Family Veneridae) 에 속하는 종으로 한국과 일본, 중국 연안뿐만 아니라 미국 북서부 연안에서도 다량 서식하는 것으로 확인 되었다 (Loosanoff and Davis, 1963; Anderson, 1982).

한편 일본의 경우, 바지락의 전국 생산량은 1966년의 15.7만 톤을 최고로 2000년에는 3.5만 톤까지 감소하였다. 일본 환경청의 조사에 의하면, 일본의 갯벌은 1945년부터 1991년까지 46년 동안, 갯벌 전체의 약 43%에 해당하는 41,230 ha

Received May 24, 2009; Revised Jun 06, 2009; Accepted Jul 20, 2009

Corresponding author: Sang Ho Back

Tel: +82 (32) 745-0592 e-mail: backho2@nfrdi.go.kr

1225-3480/25203

가 매립되었다고 보고되었다. 1992년부터 1994년에 실시된 조사 (浜口昌巳 等, 1995) 에서는, 양식장 전체의 환경특성, 자원상태와 그 활용 실태, 착저기 유생의 착저 (着底) 시기가 바지락의 성장에 중요한 인자로 보고되었다. 특히 바지락 유생이 특정한 해역에 왜 고밀도로 집적되는가는 아직 명확히 규명되어 있지 않고 있다 (鳥羽光晴, 1992). 최근, 바지락 자원의 전국적인 감소 경향에 따른 생산 유지 안정을 위해 새로운 갯벌의 조성 및 치폐의 이식 방법, 어장환경의 개선, 어장조성에 의한 어장의 확대 등 치폐의 발생 촉진이나 서식 환경의 향상을 목표로 여러 가지 방안이 강구되고 있다.

본 연구는 바지락 부유 유생에 주목하여, 부유 유생의 고밀도 집적 및 착저를 촉진하기 위한 기구를 밝히는 것이 바지락 자원의 유지 및 증대를 위한 전제조건이라고 생각하여 조석의 침투류에 의한 유생의 착저 효과에 관한 기초적 연구 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 서해 (안산) 조석의 특징

조석에 의한 해역의 유동장은 바지락 부유유생이 착저에 관여하는 가장 중요한 요인 중 하나이다. 그러므로 조석의 주기적 특징을 규명하기 위해, 우리나라의 대규모 바지락 생산 지역인 서해 (안산) 의 조위관측소 (국립 해양조사원) 에서 조사한 조석 자료를 이용하여 조석에 대한 특징을 주기별로 분석하였다. 특히 이 지역은 바지락 유생이 착저후에도 대규모 폐사가 빈번히 발생하고 있으며, 폐사원인을 조석에너지의 영향에 의한 가설에서 접근하였다. 분석 방법은 파워스펙트럼 해석에 의한 2006, 2007년의 조석 주기적 특징과 대량폐사가 발생하였던 2006년 봄철 (4월) 과 폐사량이 적었던 2007년 4월의 월간 조석 주기에 대하여 스펙트럼에 의해 분석 비교하였다.

2. 조석에 의한 바지락 유생의 착저 개념

바지락의 난은 약 60 μm 크기로 산란한 뒤, 수중에서 수정하고, 달륜자 (trochophore) 유생, 피면자 (veliger) 유생 (D형-100-130 μm), 초기 각정기 (early umbone) 유생 (130 - 160 μm), 각정기 (umbone) 유생 (180-250 μm) 을 거친다. 바지락 유생의 부유 생활은 2 - 3주일 경과 후, 빠른 것은 200 μm 전후가 되면 변태하여 패각을 형성하는 것으로 알려져 있다 (深山義文 等, 1990). 또한, 부화 직후 달륜자 유생의 단계에서는, 유영 행동이 연속적이므로 쌍각류의 조개유생은 수면 가까이에 많이 분포하지만, 피면자 유생이 되면서 유영이 연속적이지 못하므로 유생은 유영에 의한 상승과 하강을 되풀이 하면서 연직방향으로 넓게 분포하게 된다 (鳥羽光晴, 1987). 또한 착저기가 가까워지면 착저 기질의 탐사 행동을 하면서 저면부근을 유영하게 된다 (西沢正 等, 1995). 지금까지

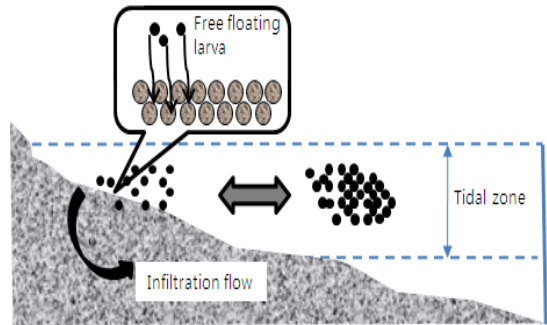


Fig. 1. Infiltration flow of conceptual diagram.

지 실내 실험에 의하면, 많은 부유 유생에 있어서 저질을 선택하여 착저하는 것으로 관찰되었으며, 바지락 부유 유생의 경우에는 입경 1-2 mm 정도의 조사 (粗砂) 에서 착저율이 증가하는 것으로 보고되었고, 개체 크기보다 큰 조사 (粗砂) 에서 착저하는 것으로 알려졌다 (沿岸漁場整備開發事業編, 1997). 또, 쌍각류의 조개는 산란 후 몇 주일 정도의 부유 유생기에 광범위하게 분포하며, 치폐의 발생이 양호한 해역에 있어서 부유 유생이 착저하는 개체수는 1 m²당 몇 십만 개체씩 고농도로 착저하는 것으로 보고되고 있다 (佐藤勝弘 等, 1998). 이 고농도의 집적 및 착저의 원인에 대해서 생물적인 선택성뿐만 아니라 다른 어떤 작용이 있다고 생각되어, 본 연구에서는 조위변동의 영향에 의해 발생하는 해안지하침투류 (이하 침투류) 에 착안하였다 (Fig. 1). 침투류의 유동 구조의 형성에 대해서는 주로 조석의 간만이 반복적으로 활동하면서 발생하며, 만조시 표면에 해수가 공급되어 저층으로 침투하고, 침투한 해수는 썰물과 함께 바다로 유출하게 된다 (岩垣雄一, 1956). 또 침투류는 저질입경이 거친 모래에서 잘 발생한다. 이것은 치폐가 고농도로 집적하는 해역의 저질입경이 거친 것과 일치한다. 따라서 “착저기의 부유 유생은 조석의 간만과 함께 반복적 발생하는 침투류의 영향을 받고, 침투류가 발달되는 입경이 비교적 거친 지반의 표면에 고밀도로 집적한다”는 가설을 세웠다.

3. 이론적 배경

바지락의 부유 유생 (각장: S, 밀도: ρ) 이 저질 (입경: d) 에 착저 뒤의 안전성에 대하여 검사하기 위하여 부유유생 및 저질형상이 구형에 근사하다고 가정 하였다 (Fig. 2). 수평 방향에서 정상류 (평균 유속: Ū), 저질 (공극율: β) 에서 수평 방향의 침투류 (단위 면적당 침투유량: q) 가 작용할 경우, 부유 유생의 이동 한계에 있어서의 힘의 평형 조건은 부유 유생과 저질의 접점 주변의 회전 모멘트 (moment) 에 대하여 검토하면 식 (1)과 같다.

$$P_T = (W + P_p - P_L) \tan \theta \quad (1)$$

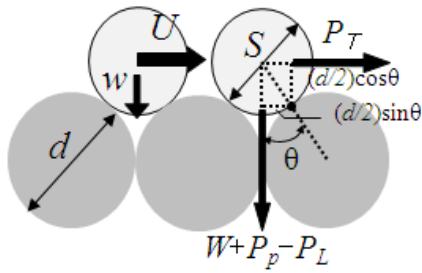


Fig. 2. The power which acts on sand in free floating larva.

여기에, P_T 는 부유 유생에 작용하는 수평방향의 힘으로 부유 유생이 움직이는 순간에서의 최대정지 마찰력이며, 단위면적 당의 최대정지 마찰력 (최대전단응력) 을 τb , 저면마찰 계수를 f 로 하면,

$$P_T = K\tau_b \pi \left(\frac{S}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4} K S^2 f \rho U^2 \quad (2)$$

여기에, 저면마찰 계수 f 는 평균 유속공식에 의해 Manning의 조도 계수 (n), 직경 (R)을 바탕으로 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = n^2 g / R^{1/3} \quad (3)$$

여기서, W 는 부유 유생의 수중 중량, P_p 는 침투류에 따른 부유 유생에 작용하는 유체력, θ 는 부유 유생의 정지 마찰각으로 다음의 식으로 정식화할 수 있다.

$$W = (\rho_s - \rho) g \left\{ \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \right\} \quad (4)$$

$$P_p = \frac{1}{2} C_p \rho \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \left(\frac{q}{\varepsilon}\right)^2 \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{\sqrt{S(2d+S)}} \right) \quad (6)$$

C_p 는 침투류에 따르는 저항력을 평가하는 계수이며, 각장을 대표 길이로 하는 Reynolds (Re) 수가 대체로 1 이하가 되는 것으로 $Re < 1$ 의 임의형상의 3차원 물체에 적용 가능한 Stokes ($C_p = 24/Re$) 식으로 나타낼 수 있다. 이 식을 (2)에 대입하면, 아래와 같이 부유 유생의 안정 지표 (λp) 로 정의할 수 있다.

$$\lambda_p = \frac{2}{3K} = \frac{(V^*)^2 \sqrt{S(2d+S)}}{\left\{ \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho}\right) g S + \frac{3}{4} C_p w^2 \right\} d} \quad (7)$$

여기에, $w (= q/\varepsilon)$ 는 침투 유속, $V^* (= (\tau b/\rho)1/2)$ 는 마찰 속도이며, 안정 지표 (λp)는 마찰 속도를 대표 유속으로 한 Reynolds수 ($Re^* = V^*S/\nu$, ν : 동점성계수)에 의존한다. 안정 지표 (λp)는 부유 유생의 안정성을 나타내고, 값이 클수록 불안정하다는 것을 나타낸다. 한편, P_L 은 수평유속에 의해 발생하는 상향의 값 (+)이지만, 다른 값과 비교하면 작기 때문에 무시할 수 있다. 또 Shields수는 무차원화 된 저면 마찰 응력을 나타내는 수이며, 파에 의해 저질을 이동시키는 힘 (저면 전단력) 과 저질입자의 자중 (自重)에 의한 저항력의 비를 나타내며, (7) 식의 $(V^*)^2 / \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho}\right) g S$ 부분을 나타낸다.

본 연구에서는, 수평유속이나 침투류 등의 유동장에 있어서, 부유 유생이 착저 직후의 물리적인 안정성을 목표로 검토하고, 안정성 지표의 적용성에 대하여 검토하였다. 또한 부유 유생의 생물적인 저질입경의 선택성에 대해서는, 정수장에 있어서의 부유 유생의 저질입경에 따른 착저율 (Ω_{b0} , 단위 시간 내의 해수 중에 부유하고 있는 유생이 착저한 비율)로 평가하고, 유동장에 있어서의 착저율 (Ω_b)은 Ω_{b0} 와 안정 지표 (λp)의 함수 $\alpha (\lambda p)$ 로서 식 (8)과 같이 표현할 수 있다고 가정하였고, 부유 유생에 의한 수조실험을 통해 각 계수를 정식화하였다.

$$\Omega_b = \Omega_{b0} \alpha (\lambda p) \quad (8)$$

이와 같이, 함수 $\alpha (\lambda p)$ 는 Ω_{b0} 로 기준화된 Ω_b 가 되고, 본 연구에서는 착저 효과 $\alpha (= \Omega_b/\Omega_{b0})$ 로 정의하였다.

4. 바지락 유생

실험에 이용한 부유 유생은 지바현 수산 연구센터 (千葉県水産研究センター-富津研究所)의 유생을 사용하였다. 해수는 1 μm 으로 정밀 여과 후, 자외선살균 처리하여 수온 19°C로 조절하였다. 유생은 80 × 30 × 25 cm의 투명염화비닐 수조에 3-5 개체/ml가 되게 하였다. 먹이 생물은 *Chaetoceros caicitrans* (日清マリンテック株式会社)를 사용하고, 먹이량은 40,000-60,000 cells/ml를 주었다 (山本正昭, 1997). 또, 유생의 성장도를 조사하기 위해 rose bengal ($C_{20}H_{2}Cl_4I_4Na_2O_5$)로 염색 후, 5% 포르말린으로 고정해 유생의 각장을 측정하였다. 각장을 측정한 후, 유생의 성장도를 확인하기 위해서 식 (9)에 대입하여 성장도를 조사하였다 (鳥羽光晴, 1987).

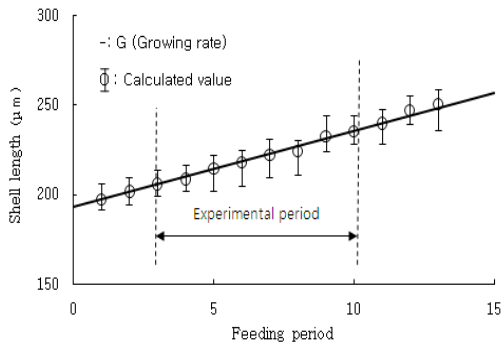


Fig. 3. Average shell length of larva.

$$G = 0.377 \times T^{-2.96} \quad (9)$$

G: 성장율 ($\mu\text{m}/\text{일}$), T: 수온 ($^{\circ}\text{C}$)

Fig. 3은 유생의 각장 측정 결과와 식 (9) 를 비교한 것이다. 그 결과, 측정한 각장의 크기와 (9) 식에 의해 계산한 값의 유생성장 속도가 추정 값과 거의 일치하였으며, 정상적인 성장을 하고 있는 것을 확인 하였다. 또 본 실험에서는 저질 (사질) 대 용으로서 5 단계의 인공 저질 (glass beads) 을 사용하였다. 5종류의 인공 저질에 대한 각각의 중앙입경은 0.21 mm, 0.55 mm, 0.77 mm, 1.21 mm, 2.15 mm로 하였다.

5. 실험 방법

1) 정수장에 있어서의 착저 특성실험

부유 유생의 정수장에서의 착저 특성을 조사하기 위하여 수심이 10, 20, 40 cm의 수조를 설계하고, 해수를 1 μm 로 여과한 후, 자외선살균 처리하여 수온 19 $^{\circ}\text{C}$ 로 조절하였다. 그리고 부유 유생은 1 liter에 10-15 개체 정도의 밀도로 조절하였다. 착저한 유생은 채취한 후, rose bengal ($\text{C}_{20}\text{H}_2\text{Cl}_4\text{I}_4\text{Na}_2\text{O}_5$) 로 염색 후, 5% 포르말린으로 고정하여 계수를 하였다.

2) 유동장에서의 착저 특성실험

침투류가 발생 가능한 수조 (수로 길이: 150 cm, 수로 폭: 15 cm, 수심: 10 cm) 를 제작하여 입경이 다른 인공 저질을 2 cm 정도 조성하여 펌프로 강제적으로 해수를 흡인 후 다시 수조로 환류하는 수조를 제작하였다. 그리고 각 구역의 유속에 따라 침투류의 발생을 유발 하였다. 또, 주류의 유속 (10, 20, 30 cm/s의 3 단계), 침투 유속 (0.01, 0.04, 0.1, 0.3 cm/s의 4 단계) 을 변화시키고, 12 가지의 유동 조건에 대한 착저 특성을 조사하였다. 각 유동 조건의 지속 시간은 12시간으로 하였으며, 실험 종료 후 착저한 유생은 채취한 후, Rose bengal 로 염색 후, 5% 포르말린으로 고정하여 계수를 하였다.

결 과

1. 서해안 (안산) 의 조석에 대한 스펙트럼 해석

Fig. 4는 조석에너지에 대한 2006 및 2007년의 결과이며, 세로축은 조석에너지의 크기를 가로축은 시간을 나타내고 있

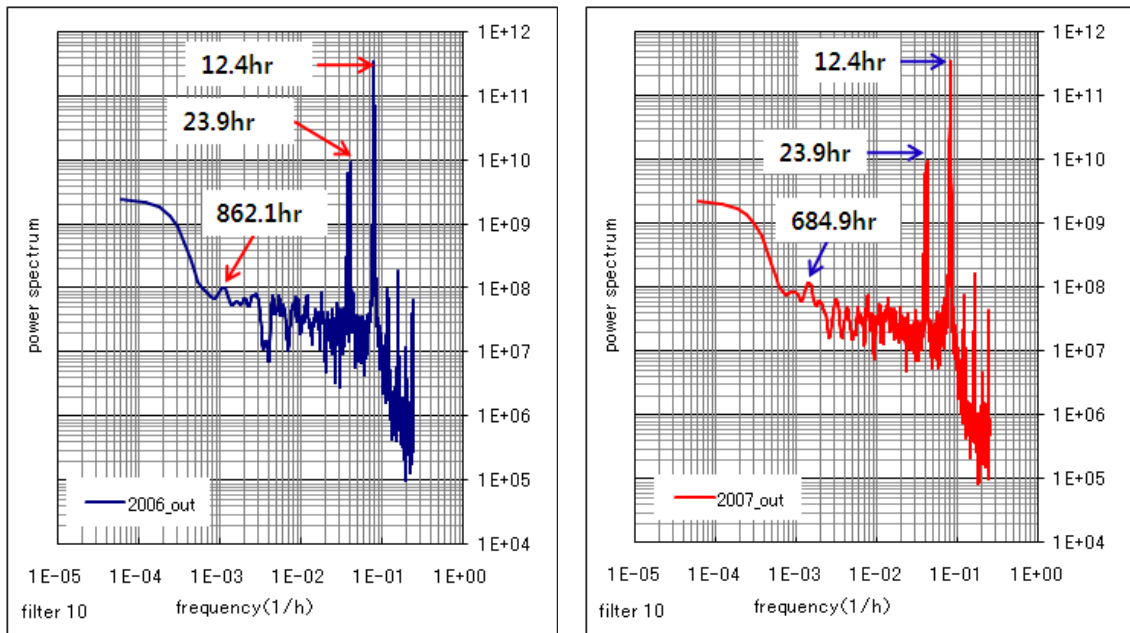


Fig. 4. Spectrum interpretation of tidal energy (left: 2006; right: 2007).

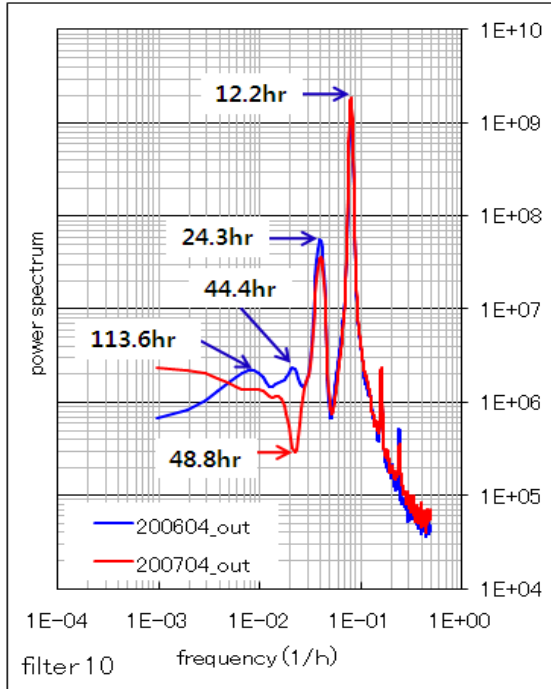


Fig. 5. Spectrum interpretation of tidal energy. (2006-4, 2007-4).

다. 여기서 2006년의 경우는 장주기에서는 862.1hr (35.9일)가 에너지의 변동이 약간 보였으나 단주기의 일주조인 23.9hr에 비하여 약 2 배 정도 작았고 반일주조인 12.4 hr에 비하여 3.5 배 정도 작았다. 이 결과는 서해안의 경우 외해에서 유입하는 조석에너지의 경우 장주기보다는 단주기에 의해 크게 지배되는 것을 알 수 있다. 2007년의 경우도 2006년에 비하여 큰 특징은 찾아볼 수 없었다. 다만, 장주기의 경우 조석에너지가 684.9 hr (28.5일)에서 변동을 보였으며 2006년에 비하여 주기가 짧아진 것을 알 수 있다. 단주기에서는 2006년과 동일한 결과를 나타내었다. 이러한 1년에 걸친 조석주기에 대한 해석을 하여 년간 조석의 특징을 규명하였지만, 바지락 부유유생의 착저후의 대량 폐사와 관련성을 찾아보기는 미흡하였다. 그래서 대량 폐사가 발생하였던 2006년 4월 및 폐사율이 적었던 2007년 4월의 조석에너지의 주기적 변동을 계산하였다 (Fig. 5).

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 단주기에서는 2006년과 2007년에는 조석 에너지의 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 장주기의 경우, 2006년은 초기 에너지는 작았으나 점점 크게 증가하여 113.6 hr (4.7일)과 44.4 hr (1.8일)에 에너지의 증가가 발생하였다. 이 조석에너지의 증가는 저질 변동의 원인이 되며 이렇게 연속적인 조석에너지의 증가는 바지락의 착저유생에 많은 스트레스나 표층에 노출되는 원인을 제공하여 2006년 4월의 경우 대량폐사로 이어진 것으로 시사 된다. 한편, 2007

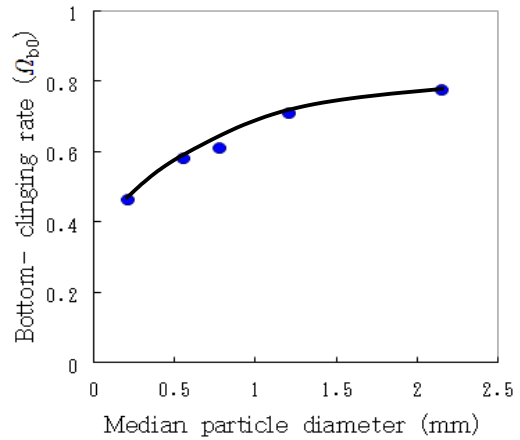


Fig. 6. Variation in bottom-clinging rate by bottom sediment grain diameter.

년 4월의 경우는 장주기의 에너지가 감소하면서 일주조 (24.3 hr)와 반일주조 (12.2 hr)의 조석 영향을 받아서 바지락 유생이 안정적으로 정착할 수 있는 계기가 되었다고 시사되어진다.

2. 정수장에서 착저 특성실험의 결과

Fig. 4는 실험 기간 (12시간) 동안 정수장에 있어서의 저질입경에 의한 착저율 (Ω_{b0})의 변화를 나타내고 있다.

실험 범위 내에서의 저질입경에 대한 중앙입경이 커질수록 유생의 착저율도 증가하는 경향을 보였으며, 중앙입경 2.15 mm의 경우 착저율이 0.8로서 최대를 나타냈다. 이것은 바지락 유생이 생물적인 선택성에 의해 저질 중앙입경이 클수록 착저하기 쉽기 때문이라고 시사된다.

3. 착저 효과 (α), 착저 촉진효과

침투류 (0-0.3 cm/s)에 따른 착저 효과 (α)와 저질입경에 의한 관계를 Fig. 5-7에 나타내었다. 주류유속에 따른 착저 효과에 대해서는 유속이 빨라질수록 착저 효과는 낮아졌으며, 주류유속이 가장 적었던 10 cm/s에서 높은 착저 효과를 얻을 수 있었다. 저질입경에 따른 착저 효과에 대해서는, 저질입경이 클수록 착저 효과는 높았으며, 중앙입경이 1.21 mm의 경우가 높은 착저 효과를 얻었다. 침투류에 따른 착저 효과에 대해서는 침투 유속 (0.3cm/s)이 빠를수록 착저 효과는 높았다. 그리고 가장 높은 착저 효과는 주류유속이 10 cm/s, 저질입경 1.21 mm, 침투류는 0.3 cm/s, 이때의 착저 효과 (α)는 26.4-28.5이었다.

침투류에 의한 착저 효과는 주류유속, 저질입경, 실험시간을 동일조건에서 침투류가 없을 때의 착저 효과와 침투류가 있는 경우의 착저 효과를 비교하여 착저 촉진효과로서 산출하였다.

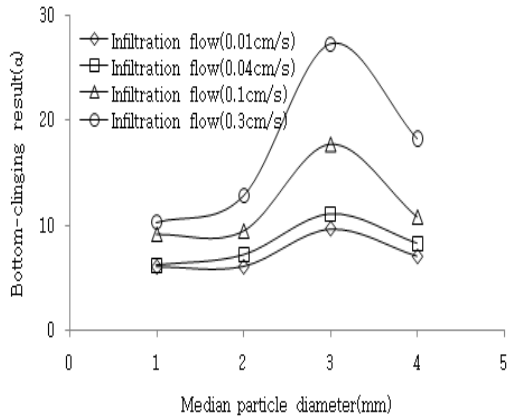


Fig. 7. Bottom-clinging result by median particle diameter (Current speed was 10 cm/s).

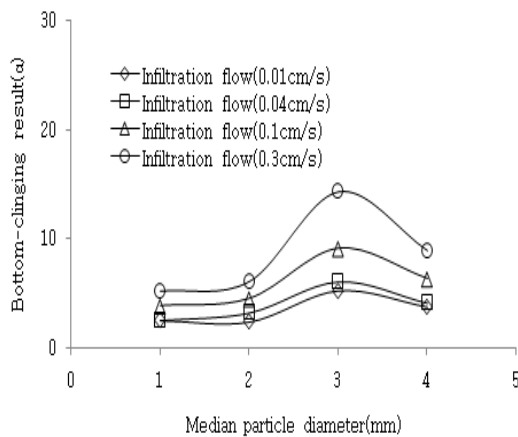


Fig. 8. Bottom-clinging result by median particle diameter (Current speed 20 was cm/s).

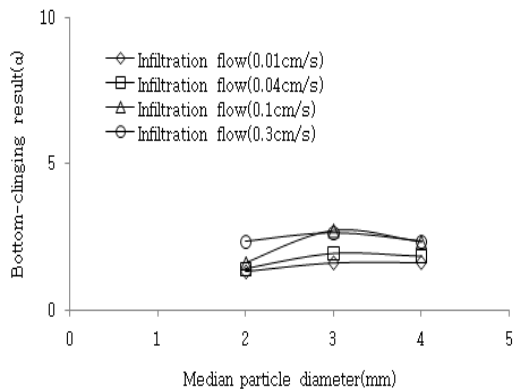


Fig. 9. Bottom-clinging result by median particle diameter (Current speed was 30 cm/s).

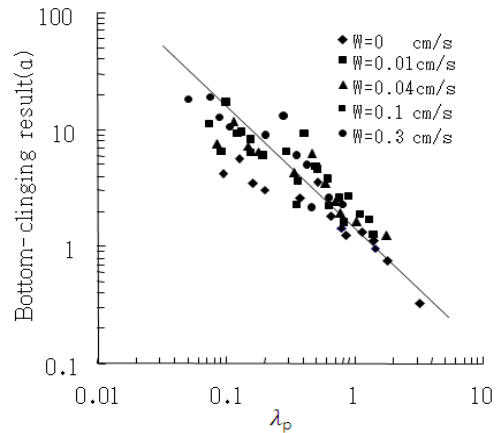


Fig. 10. Relation of bottom-clinging result (α) and λp .

그 결과, 침투류에 의한 가장 높은 착저 촉진효과를 얻을 수 있었던 것은 침투 유속이 0.3 cm/s의 경우와 착저 촉진효과는 3.1-5.1을 얻었다.

4. 착저율의 추정

착저 특성실험에서 얻은 결과를 이용하여 여러 조건에서의 착저 효과 (α) 와 안정 지표 (λp) 의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 착저 효과 (α) 는 주류 유속, 침투 유속, 저질입경에 있어서 안정 지표 (λp) 에 반비례하였다. 즉, 주류 유속이나 침투 유속이 존재하는 유동장에 있어서 부유 유생의 착저 효과 (α) 는 물리적인 안정성에 강하게 의존한다는 것이 시사되었다.

또한, 착저 효과 (α) 의 1에 대응하는 안정 지표 (λp) 1로 이동 한계조건과 거의 일치하는 것을 보였다. 유동장에 있어서 부유 유생의 착저율은 부유 유생이 물리적으로 저질이 안정되었을 경우, 정수장의 착저율보다 증가하는 것이 확인되었다.

요 약

본 연구에서 바지락 부유 유생은 저질입경이 클수록 착저율 (Ω_b) 이 높았으며, 생물적으로도 저질을 선택하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또 침투류의 발생에 의한 유동장에 있어서는 유속이 10 cm/s, 저질 중앙입경 1.211 mm, 침투 유속 0.3 cm/s일 경우, 3.1-5.1 배의 부유 유생 착저 효과 ($\alpha = \Omega_b/\Omega_{b0}$) 가 증가되는 것을 확인하였다. 부유 유생에 있어서 저질입경의 선택성은 생물적인 요인에 의존하고, 유동장에 있어서 착저 촉진 효과는 물리적인 안정 조건에 지배되어 있었다. 그리고 이번 새롭게 도입한 안정 지표 (λp) 에 의해 통일적으로 평가할 수 있는 것을 확인하였다. 유생의 안정 지표 (λp) 에 의하면, 유속이 작용했을 경우의 부유 유생은 저질

입경에 영향을 받지 않고 거의 일정 값을 가지며, 초기 이동 한계유속 및 전면 이동 한계유속에 대응하는 λp 값은 각각 0.14, 1.06 이었고, 새롭게 제안한 안정 지표 (λp) 의 타당성이 검증되었다. 따라서 본 연구 결과에 의해 어떤 해역의 바지락 부유 유생의 부유 밀도, 저질 입경, 유동 조건이 명확할 때, 바지락 부유 유생의 착저율을 추측할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문의 일부는 일본 수산공학회 구두발표한 내용이 일부 포함 되었다.

REFERENCES

Anderson, G.J. (1982) Comments on the settlement of Manila clam spats (*Tapes philippinarum*) at Filucy Bay, Washington, USA. *Journal of Shellfish Research*, **2**(1): 114-116.

Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. (1963) Rearing of bivalve mollusks. *Advances Marine Biology*, **1**: 1-136.

浜口昌巳、薄浩則、石岡宏子 (1995) 아사리 着底漁場의 특성과 그

의 評價手法의 開發、南西海区水産研究所資源増殖部介類増殖研究室 **53-63**.

鳥羽光晴 (1992) 아사리 幼生의 成長速度와 水温의 關係、千葉水試研報, **50**: 17-20.

深山義文、鳥羽光晴 (1990) 아사리 種苗生産試驗- III 아사리 浮遊幼生에 對する 8種類의 微小藻의 餌量價值、千葉水試研報, **48**: 93-96.

鳥羽光晴 (1987) 아사리 種苗生産試驗、千葉水試研報, **41-48**.

西沢正、日向野純也、田口浩一、伊藤覚 (1995) 三河湾에 於ける 아사리 稚貝의 分布量과 底質および 流れ와 의 關係、水産工学論文集, **32**(2): 137-143.

沿岸漁場整備開發事業編 (1997) 아사리 増殖場造成 計畫 増殖場造成 計畫 指針 히라메. 아사리 編、社団法人 全國沿岸漁業振興 開發協會, **123-186**.

内山雄介 (2001) 砂浜 海岸帶 水層에 於ける 潮位 變動에 伴う 循環流의 形成 機構、土木 学会 論文集, No.670/II-54, **37-48**.

佐藤勝弘、野口雄二、長谷川 (1998) 透水層 埋設 海浜에 於ける 長周期波에 由る 浸透流 計算、海岸工学論文集, **45**: 631-635.

岩垣雄一 (1956) 限界 掃流力에 關する 基礎的 研究、土木 学会 論文集, **41**: 1-38.

山本正昭 (1997) 아사리 漁場의 物理 環境、水産工学論文集, **33**(3): 193-199.

국립수산과학원 (연도) 경기도 연안의 바지락 폐사 원인 조사. **16 p.** 국립수산과학원 서해수산연구소.