

상향식 수류 장치를 이용한 어린 개체굴의 양성 효과

임현정¹, 황인준², 한종철³, 최진⁴, 손새봄¹, 윤주현⁵, 김행운⁶, 김범주⁷

¹국립수산과학원 동해수산연구소, ²국립수산과학원 중앙내수면연구소, ³국립수산과학원 서해수산연구소, ⁴국립수산과학원 양식관리과, ⁵(주)국토해양환경기술단, ⁶주미래해양, ⁷경기도 해양수산자원연구소

Effect of upwelling system for cultchless juvenile Pacific oyster, *Crassostrea gigas* culture

Hyun Jeong Lim¹, In Joon Hwang², Jong Cheol Han³, Jin Choi⁴, Saebom Sohn¹, Joo Hyeon Yoon⁵, Haeng Woon Kim⁶ and Beom Joo Kim⁷

¹East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gangneung 25435, Korea

²Inland Fisheries Research Institute, NIFS, Gapyeong 12453, Korea

³West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon 22383, Korea

⁴Aquaculture Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

⁵Land Ocean Environment Co., LTD, Suwon 16690, Korea

⁶Mirae Ocean Co., LTD, Anyang 14059, Korea

⁷Geonggido Maritime and Fisheries Resources Research Institute, Yangpyeong 12513, Korea

ABSTRACT

In the present study, we developed the upwelling system for the culturing of cultchless juvenile oyster and evaluated its effect in indoor and outdoor sites. Indoor upwelling system was made by using 1 L transparent plastic imhoff cone to move seawater from bottom to top. Outdoor upwelling system was designed to continuously upward water flow into inside the tank by discharging the seawater from the upper part of the tank to the central drainage pipe. Indoor culture periods were 2 weeks, and outdoor culture periods were 35 days. During the experiments, water temperature, salinity, dissolved oxygen and pH were suitable for oyster culture. We cultured 1-8 mm cultchless juvenile oysters in the upwelling and downwelling system for 2 weeks in indoor. As a result, smaller oysters showed higher specific growth rate, and the weight increase was faster in the upwelling system. Subsequently, 9-32 mm juvenile oysters were cultured outdoors in upwelling system and off-bottom net cage facility for 35 days. As a result, it was found that there was a significantly higher in the total weight increase in the upwelling system. These indicate that the upwelling system is effective for cultchless juvenile oysters because it expands the use of seawater layers to increase food intake opportunities.

Key words: oyster, *Crassostrea gigas*, cultchless, juvenile, upwelling

서론

우리나라의 굴 양식 생산량은 2017년 기준 31 만톤을 상회하며 중국에 이어 세계 제 2위를 차지한다 (FAO, 2019). 굴은 양식방법에 따라 덩이굴 (cultched oysters) 과 개체굴 (cultchless oysters) 의 형태로 생산되는데 우리나라에서는 대부분 덩이굴 생산에 의존하여 양식 산업의 부가가치가 다소 낮은 실정이다. 이러한 생산방법은 양식 생산량이 세계 2위에 달함에도 불구하고 생산 금액 측면에서는 중국, 프랑스, 일본, 미국에 이어 5위에 그치는 현상을 빚어왔다 (FAO, 2019). 이에 우리나라에서도 2000년대 후반부터 개체굴 양식 시도가 이루어져 최근에는 남해안과 서해안에서 서로 다른 양성 방법의

Received: February 17, 2020; Revised: February 28, 2020; Accepted: March 09, 2020

Corresponding author: Hyun Jeong Lim

Tel: +82 (33) 660-8540, e-mail: limhj@korea.kr
1225-3480/24754

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.



Fig. 1. Upwelling system for indoor culture of cultchless juvenile oysters.

로 양식이 행해지고 있다. 즉, 서해안에서는 수평망식 시설을 이용하고 있으며 남해안에서는 다양한 형태의 양성망을 바다에 넣어 양식하고 있다. 개체굴 종자는 주로 실내에서 생산된 인공종자를 사용하고 있다 (Lim *et al.* 2011). 개체굴 종자를 만드는 방법은 과거 바닥이 mesh로 만들어진 수조에서 유생을 사육하는 방법 (Walne and Spencer, 1974) 에서 상향식 수류 시설에서 양성하는 방법으로 발전되어왔다 (Rodhouse and O'Kelly, 1981). 부착기에 도달한 유생을 부착기질에 착저시켜 하나의 개체로 양성하는 이 단계는 판매 크기까지 키워나가는 연속적 과정의 중간 단계로 먹이요구량이 급증하는 시기이다. 따라서 실내에서 배양한 식물플랑크톤을 보다 효율적으로 공급해 줄 필요가 있으며, 이외에 자연 발생한 식물플랑크톤을 이용하여 먹이 공급 비용을 줄여나갈 필요가 있다. 상향식 수류시설을 이용한 개체굴 종자의 양성을 위하여 먹이생물의 효과적 공급과 같은 다양한 기술적 요인들이 많은 연구자들에 의해 조사되어 보고된 바 있다 (Rodhouse *et al.*, 1983; Spencer *et al.*, 1986; Spencer, 1988; Bacher and Baud, 1992; Tobi and Ward, 2019). 그러나 우리나라에서 개체굴 종자의 사육을 위한 상향식 수류 시설의 이용 예는 보고된 바 없다. 이에 본 연구는 국내 개체굴 양식 산업의 활성화를 위한 안정적 종자 공급을 꾀하기 위하여 종자의 성장 단계에 따른 실내용, 야외용 상향식 수류 사육 시설을 개발하여 현장에서 직접 운용해 본 후 종자의 성장에 미치는 효과를 보고한다.

재료 및 방법

1. 중간육성용 개체굴의 생산

중간육성용 개체굴 종자는 국립수산물과학원 남동해수산연구소에서 생산한 2-10 mm 크기의 굴을 사용하였다. 개체굴 채

묘를 위한 부착기질은 300 μm 내외의 굴 패각 분말을 이용하였다.

2. 실내 사육을 통한 상향식 수류와 하향식 수류의 효율 비교

개체굴 종자의 실내 사육은 국립수산물과학원 서해수산연구소 패류 사육실에서 진행하였다. 종자의 크기는 2 mm 내외 (이하 “소형 그룹”으로 서술), 5 mm 내외 (이하 “중형 그룹”) 및 10 mm 내외 (이하 “대형 그룹”) 로 선별하였으며 사육기간은 2주 동안이었다. 하향식 수류를 이용한 실내 사육은 1.5 × 1.5 × 0.4 m FRP 사각수조 내에 바닥면이 200 μm 물리가아제로 제작된 지름 65 cm의 원형 플라스틱 수조를 설치하여 실시하였고 상향식 수류를 이용한 실내 사육은 일정한 수압을 가진 사육수가 아래에서 위쪽으로 용승하는 치패 수조 (1L 투명 플라스틱 imhoff cone) 를 제작하여 실시하였다 (Fig. 1).

양성을 위한 먹이생물은 *Isochrysis sp.*, *Nannochloropsis oceanica* 및 *Tetraselmis suecica*를 혼합하여 25 × 10⁴ cells/mL/day의 농도로 공급하였다.

3. 야외 사육을 통한 상향식 수류 시설과 수평망식 시설의 양성 효과 비교

5 mm 이상으로 자란 치패를 야외의 상향식 수류 시설로 옮겨 사육하며 중간육성 과정 없이 수평망식 시설에서 바로 양성한 치패와 성장 및 형태를 비교하였다. 양성기간은 35일이었으며, 장소는 인천시 옹진군 영흥면 용담리에 소재한 축제식 바다낚시터와 태안군 태안군 이원면 관리의 이원방조제 앞 수평망식 양식 시설을 활용하였다. 상향식 수류 시설은 갑판부, 폰톤 (pontoon) frame, 사육조 및 배수 파이프의 구조로 설계하였으며, 각 구성부의 크기 및 특징은 다음과 같았다. 즉, 3 × 3 m의 갑판부 내부에는 부력을 위하여 사방으로 플라스틱 폰

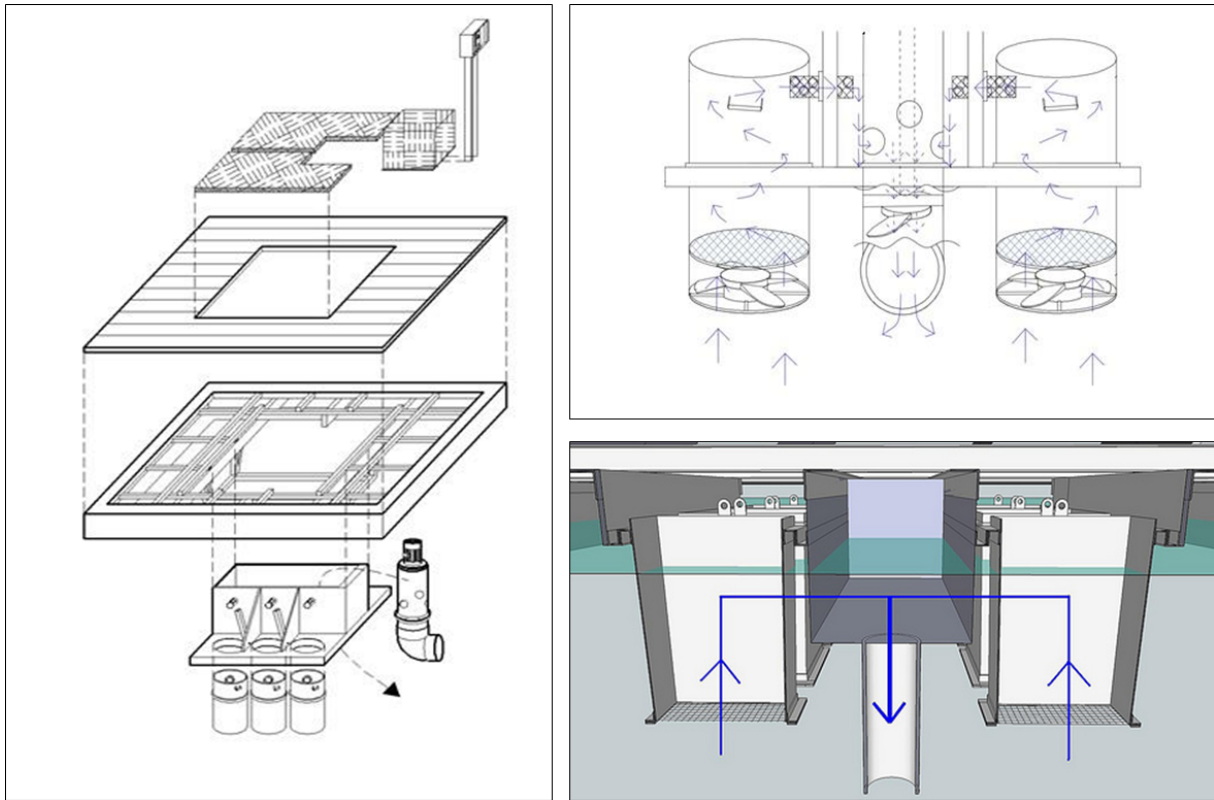


Fig. 2. Schematic design of floated upwelling system (FLUPSY) for outdoor culture of cultchless juvenile oysters. Arrow lines indicate the flow of water.

문을 설치하였다. 갑판부 중심부 측에는 탈부착 가능한 mesh 를 바닥면으로 제작한 직경 40 cm × 높이 80 cm의 원형 사육수조를 3개씩 2열로 총 6개 설치하였다. 각 사육 수조는 내측에 배수 펌프가 시설된 중앙의 배수 파이프와 연결하여 사육수가 배출되도록 하였고, 이러한 구조를 통하여 사육수조에는 지속적으로 상향식 수류가 형성되도록 설계하였다 (Fig. 2). 수평망식 양식시설은 Lim *et al.* (2011) 에서 이용한 시설과 동일하였다. 상향식 수류 시설을 이용하여 치패를 양성한 효과는 패각의 성장과 중량 변화 측면에서 검토하였다. 성장은 1주일 간격으로 50 개체의 각고와 전중량을 측정하여 조사하였다. 측정된 결과를 토대로 Specific Growth Rate를 계산하여 크기와 양성 방법에 따른 성장의 차이를 판단하였다. Specific Growth Rate는 아래의 식으로 구하였다.

$$S.G.R. = (\ln X_2 - \ln X_1) / (t_2 - t_1) \times 100$$

여기서 X_2 와 X_1 은 t_2 와 t_1 시기의 각고 크기 (mm) 혹은 전중량 (g) 을 나타내며, t_2 와 t_1 은 양성일수를 나타낸다.

4. 양식 환경 모니터링

실험이 진행되는 동안 1주일 간격으로 현장에서 수온, 염분, pH, 용존산소를 YSI 6000 microprobe system (Yellow Spring, YSI Life Science, OH, USA) 로 측정하였다.

5. 통계 분석

결과의 통계처리는 SPSS Version 20.0 (SPSS Inc., Chicago IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균 간의 유의성 ($P < 0.05$) 을 검정하였다. 이후 Two-way ANOVA-test를 통해 크기와 양성 방법에 따른 성장의 상호관계를 분석하였다.

결 과

1. 사육 환경

실내 사육기간 동안의 수온은 25-27°C, 염분은 28-30 psu, 용존산소는 8-10 mg/L, pH는 7.8-8.2였으며, 야외 실험을 진행하는 기간의 수온은 15-25°C, 28-30 psu, 용존산소는 8-10 mg/L, pH는 7.8-8.2로 굴 양성에 적합한 환경으로 유지되었다.

상향식 수류 장치를 이용한 어린 개체굴의 양성 효과

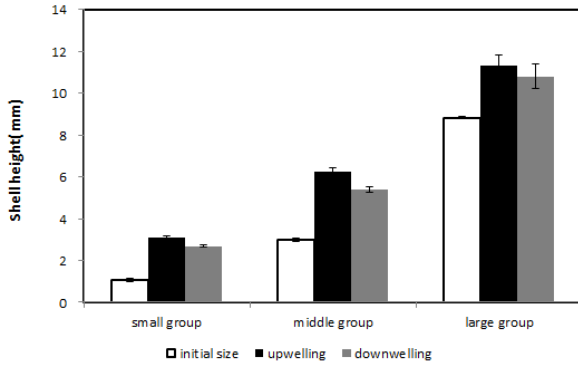


Fig. 3. Changes on shell height of cultchless juvenile oysters cultured indoor for 2 weeks.

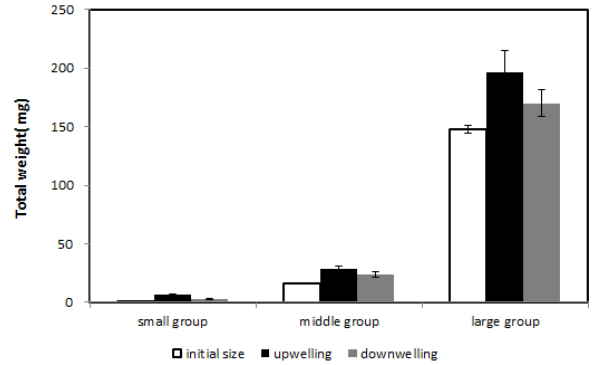


Fig. 5. Changes on total weight of cultchless juvenile oysters cultured indoor for 2 weeks.

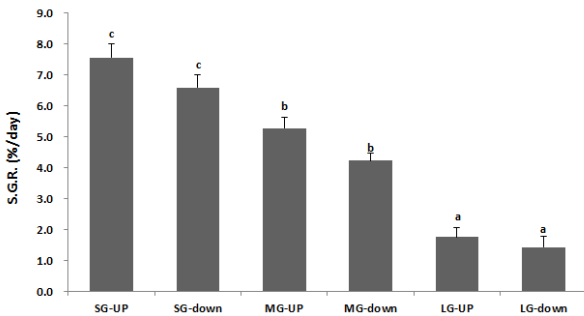


Fig. 4. Specific growth rate of shell height of cultchless juvenile oysters cultured indoor for 2 weeks. SG-UP means small size group cultured in upwelling system. SG-down means small size group cultured in downwelling system. MG-UP means middle size group cultured in upwelling system. MG-down means middle size group cultured in downwelling system. LG-UP means large size group cultured in upwelling system. LG-down means large size group cultured in downwelling system.

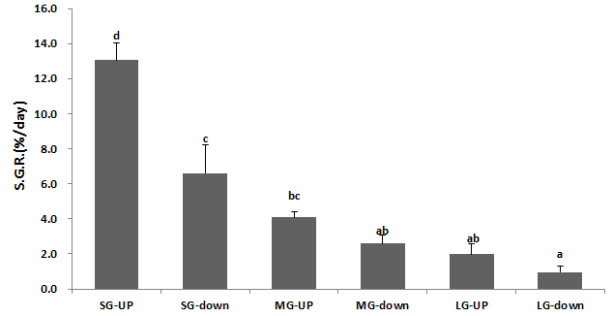


Fig. 6. Specific growth rate of total weight of cultchless juvenile oysters cultured indoor for 2 weeks.

2. 실내 사육을 통한 상향식 수류와 하향식 수류의 효율 비교

사육 방법에 따른 성장 차이는 각고와 전중량을 기준으로 조사하였다. 각고의 경우, 소형 그룹 (1 mm 내외) 은 2주 양성 후 상향식 수류 시스템에서 3.1 mm 내외로 성장하였고, 하향식 수류 시스템에서는 2.7 mm 내외로 성장하였다. 중형 그룹 (3 mm 내외) 은 상향식 수류에서 6.3 mm, 하향식 수류에서 5.2 mm로 성장하였으며, 대형 그룹 (8 mm 내외) 은 상향식 수류에서 11.3 mm, 하향식 수류에서 10.8 mm로 성장하였다 (Fig. 3). 이 결과를 토대로 각고의 일간 성장률을 분석하여 본 결과, 크기별 차이에 따른 일간 성장률은 차이가 있었으나 수류의 방향에 따라서는 차이가 없었다 (Fig. 4).

전중량은 소형 그룹 (1 mg 내외) 은 상향식 수류 시설에서 6.3 mg 정도로 성장하였고, 하향식 수류 시설에서는 2.7 mg 내외로 성장하였다. 중형 그룹 (16 mg 내외) 은 상향식 수류 시설에서 29 mg 내외로, 하향식 수류 시설에서 23.7 mg 내외

로 성장하였고, 대형 그룹 (148 mg 내외) 은 상향식 수류 시설에서 196.7 mg으로, 하향식 수류 시설에서 170 mg으로 성장하였다 (Fig. 5). 이 결과를 토대로 일간성장률의 유의차를 검정해 본 결과, 무게가 적을수록 일간성장률이 높았으며, 하향식 수류 시설보다 상향식 수류 시설에서 양성한 것이 일간성장률이 높았다 (Fig. 6).

실내 사육 실험이 끝난 후 어린 굴의 각고와 무게의 일간 성장률을 Table 1에 나타내었다. 사육기간 동안 각고의 일간성장률은 최초 크기 ($P < 0.021$) 및 사육 방법 ($P < 0.001$) 에 영향을 받았다. 수류 방향에 관계없이 소형 그룹이 가장 일간 성장률이 높았다 ($P < 0.05$). 무게의 일간성장률 또한 최초 크기 ($P < 0.001$) 및 사육 방법 ($P < 0.001$) 에 영향을 받았다. 소형 그룹을 상향식 수류 수조에서 키울 때 가장 높은 값을 나타내었으며 ($P < 0.05$), 대형 그룹을 하향식 수류 수조에서 키울 때 가장 낮은 값을 나타내었지만 ($P < 0.05$) 상향식 수류 수조에서 키운 것과 유의차가 없었으며, 중형 그룹을 하향식 수류 수조에서 키운 것보다도 유의차가 없었다 ($P > 0.05$).

3. 야외 사육을 통한 상향식 수류 시설과 수평망식 시설의 양성 효과 비교

Table 1. Significance analysis of cultchless juvenile oyster growth cultured in indoor

Size and Culture System	SGR of Shell Height	SGR of Total Weight
SG-UP	7.6 ± 0.45 ^c	13.1 ± 0.98 ^d
SG-DOWN	6.6 ± 0.43 ^c	6.6 ± 1.65 ^c
MG-UP	5.3 ± 0.36 ^b	4.1 ± 0.35 ^{bc}
MG-DOWN	4.2 ± 0.24 ^b	2.6 ± 0.47 ^{ab}
LG-UP	1.8 ± 0.29 ^a	2.0 ± 0.59 ^{ab}
LG-DOWN	1.4 ± 0.35 ^a	1.0 ± 0.32 ^a

Two-way ANOVA (<i>P</i> value)		
Size at the Beginning	<i>P</i> < 0.021	<i>P</i> < 0.001
Culture Method	<i>P</i> < 0.001	<i>P</i> < 0.001
Size at the Beginning × Culture Method	<i>P</i> < 0.574	<i>P</i> < 0.015

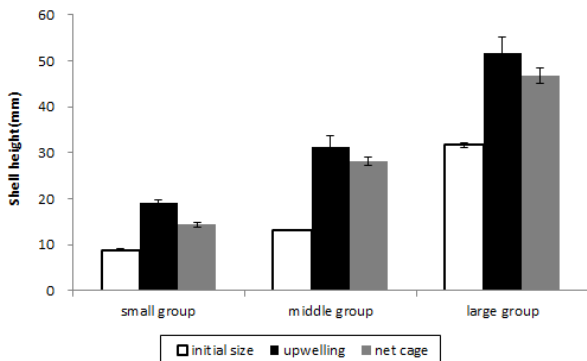


Fig. 7. Changes on shell height of cultchless juvenile oysters cultured outdoor for 35 days.

실내에서 자란 어린 굴을 야외의 상향식 수류 수조와 조간대에 설치된 수평망식 양식 시설에서 5주간 양성한 결과는 Fig. 7, 8과 같다.

각고의 경우, 소형 그룹 (9 mm 내외) 은 양식 5주 후 상향식 수류 수조에서 19 mm 내외로, 수평망식 시설에서 14 mm 내외로 성장하였고, 중형 그룹 (13 mm 내외) 은 상향식 수류 수조에서 31 mm 내외로, 수평망식 시설에서 28 mm 내외로 성장하였다. 대형 그룹 (32mm 내외) 은 상향식 수류 수조에서 52 mm 내외로, 수평망식 시설에서 47 mm 내외로 성장하였다 (Fig. 7). 크기별, 양식 방법별 일간 성장률을 유의차 분석해 본 결과, 소형 그룹, 중형 그룹을 상향식 수류 수조에서 키운 것과 중형 그룹을 수평망식 시설에서 키운 것이 일간성장률이 높았으며, 대형 그룹을 상향식 수조와 수평망식 시설에서 키운 것과 소형 그룹을 수평망식 시설에서 키운 것이 일간성장률이 낮았다 (Fig. 8)

전중량은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 소형 그룹 (2.4 mg

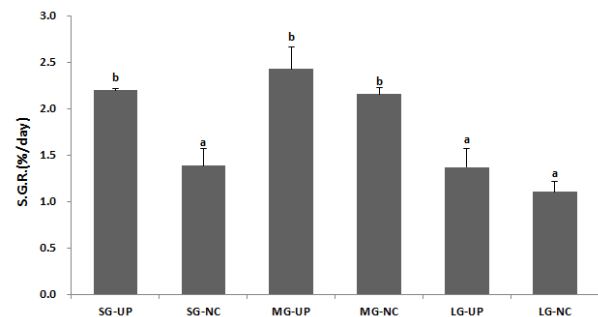


Fig. 8. Specific growth rate of shell height of cultchless juvenile oysters cultured outdoor for 35 days.

내외) 은 상향식 수류 수조에서 2.6. mg으로 자랐고 수평망식 시설에서 2.41 mg으로 자라 중량의 증가가 매우 적었다. 중형 그룹 (1.9 g 내외) 은 상향식 수류 수조에서 3.5 g 내외로, 수평망식 시설에서 2.3 g 내외로 자랐으며, 대형 그룹 (6.1 g 내외) 은 상향식 수류 시설에서 8.5 g 내외로, 수평망식 시설에서 7.0 g 내외로 자랐다. 이 결과를 토대로 크기별, 양식 방법별 일간 증중률을 유의차 분석해 본 결과, 상향식 수류 수조에서 키운 중형 그룹이 가장 증중률이 높았으며 다음은 상향식 수류 수조에서 키운 대형 그룹이 증중률이 높았다. 가장 증중률이 낮은 그룹은 수평망식 시설에서 키운 소형 그룹이었다 (Fig. 10).

5주간의 야외사육 실험 후 어린 굴의 각고와 무게의 일간 성장률을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 사육기간 동안 각고의 일간성장률은 최초크기 (*P* < 0.001) 및 양식 방법 (*P* < 0.003) 에 영향을 받았다. 중형 크기를 상향식 수류시설에서 키운 그룹이 성장이 가장 빨랐으며, 대형 크기를 상향식 수류

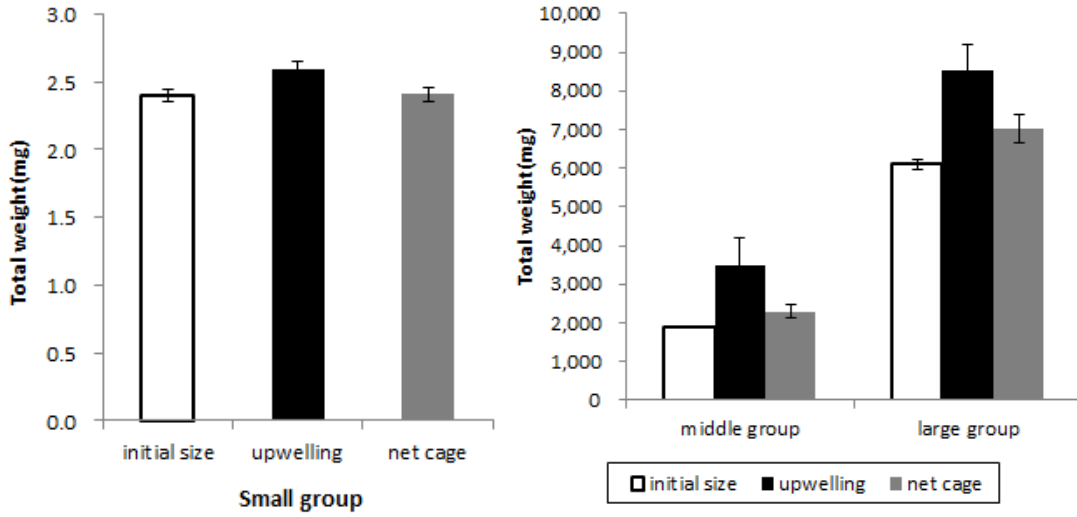


Fig. 9. Changes on total weight of cultchless juvenile oysters cultured outdoor for 35 days. Left; small size group, Right; middle and large size group.

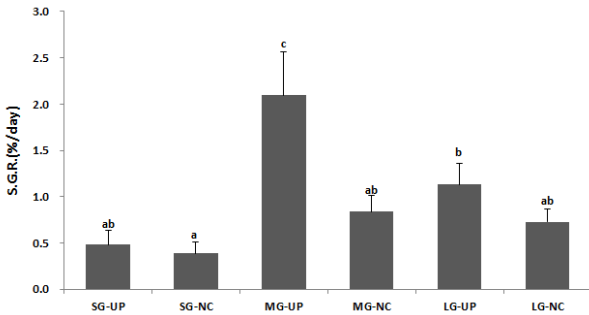


Fig. 10. Specific growth rate of total weight of cultchless juvenile oysters cultured outdoor for 35 days.

로 키운 그룹이 다음으로 성장이 빨랐고, 대형 크기와 중형 크기를 수평망식에서 키운 그룹, 소형크기를 상향식 수류에서 키운 그룹의 일간 성장률이 비슷하였으며, 소형 크기를 수평망식에서 키운 그룹이 성장이 가장 느렸다 ($P < 0.05$).

무게의 일간 증중률 또한 최초크기 ($P < 0.002$) 및 양성 방법 ($P < 0.001$) 에 영향을 받았다. 중형 그룹과 소형 그룹을 상향식 수류 수조에서 키울 때와 중형 그룹을 수평망식에서 키울 때 가장 높은 값을 나타내었으며 ($P < 0.05$), 소형 그룹과 대형 그룹을 수평망식에서 키울 때와 대형 그룹을 상향식 수류 수조에서 키울 때 증중률이 낮았다.

고 찰

개체굴 생산은 양식 굴의 부가가치를 높이는 방법이 될 수 있다. 이에 본 실험은 개체굴 생산 기술을 확립하기 위한 일환으로 부착 기질에 착저한 어린 굴의 폐사율이 급증하는 시기의

생존율과 성장도를 향상시키기 위하여 중간육성 사육시설을 개발하여 그 효과를 검증하였다.

조개류를 양식할 때 해수의 흐름은 먹이의 이용 가능성을 결정하는 중요한 요인이다 (Hickman *et al.*, 1999). 개체굴 인공중자를 생산하기 위해서는 부착기에 달한 유생을 미세 부착 기질에 잘 부착할 수 있도록 하여야 하며 부착 이후에도 고르게 성장할 수 있도록 관리해 주어야 한다. 지금까지 국내에서는 이러한 초기 종자 단계에 하향식 수류장치에서 채묘하고 사육해왔다. 하향식 수류 시설은 부착기에 달한 유생을 굴이나 가리비의 빈 패각에 부착시키는 방법으로 덩이굴을 만드는 방법으로 적합하며 개체굴을 생산하기 위한 방법으로는 적합하지 않다. 즉 먹이생물의 부유시간이 짧아 부착기질에 부착한 이후 밀도가 높은 부분에 부착한 개체는 폐사가 쉽게 진행되는 경향이 있다. 폐사 개체의 발생은 세균, 곰팡이, 원생동물의 발생 및 수질의 악화를 가속화시켜 치패의 대량폐사로 이어지게 된다. 먹이생물 또한 일정 시간이 지나면 바닥에 가라앉아 부착기질에 붙은 종자에게 먹이로 공급되기 어려우므로 상향식 수류를 만들어 먹이생물이 가라앉지 않도록 해줄 필요가 있다.

실내에서 생산된 개체굴 종자를 바다 양성에 적합한 1 cm 내외로 양성하는 데에는 먹이 공급을 위한 식물플랑크톤의 대량배양이 요구되며 수질 관리가 어렵다는 문제점 등이 발생하여 실내 사육을 지속하기 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 해외의 굴 종자 배양장에서는 1980년대부터 해수를 끌어올려 상향식 수류를 만들어 주는 사육 시설을 이용하는 기술이 상용화되기 시작하였다 (Rodhouse and O'Kelly, 1981; Ray *et al.*, 2015; Manzi *et al.*, 1984; Spencer *et al.*, 1986; Spencer, 1988). Bacher and Baud

Table 2. Significance analysis of cultchless juvenile oyster growth cultured in outdoor

Size and Culture System	SGR of Shell Height	SGR of Total Weight
SG-UP	2.2 ± 0.02 ^b	0.5 ± 0.16 ^{ab}
SG-NC	1.4 ± 0.18 ^a	0.4 ± 0.13 ^a
MG-UP	2.4 ± 0.24 ^b	2.1 ± 0.47 ^c
MG-NC	2.2 ± 0.07 ^b	0.8 ± 0.17 ^{ab}
LG-UP	1.4 ± 0.21 ^a	1.1 ± 0.22 ^b
LG-NC	1.1 ± 0.11 ^a	0.7 ± 0.14 ^{ab}
Two-way ANOVA (P value)		
Size at the Beginning	P < 0.002	P < 0.001
Culture Method	P < 0.001	P < 0.003
Size at the Beginning × Culture Method	P < 0.16	P < 0.046

(1992) 는 상향식 수류 시스템의 개발 초기에 어린 굴을 고밀도로 양성하기 위한 최적 조건을 실험한 바 있다. 이에 따르면 어린 굴의 밀도는 120,000 개체/m², 해수의 흐름은 1 L/d/oyster, 먹이생물의 농도는 0.5 × 10⁹ cells/L가 적당하며, 수온이 5°C 이하로 내려가는 겨울철을 제외한 모든 계절에 상향식 수류 시설을 이용한 어린 굴의 양성은 매우 효과적임을 보고하였다. 상향식 수류 사육시설의 주된 장점은 고밀도 양식을 통한 노동력 및 생산 경비의 절감, 빠른 성장 등이라고 보고되어 있다 (Rodhouse *et al.*, 1983; Spencer *et al.*, 1986). 특히 상향식 수류의 사육시설은 하향식 수류 시설이나 raceway 형태의 수평 수류의 사육 시설보다 해수의 이용 층을 넓게 함으로써 패류의 먹이 이용성을 높이는 장점을 가진다 (O'Meley, 1992; Hickman *et al.*, 1999). 본 연구에서는 부착기에 달한 유생이 50% 이상으로 관찰될 때 부착기 수조의 바닥에 300 μm 내외의 깨끗한 굴 패각 분말을 넣어 유생이 부착할 때까지 하향식 수류를 유지하여 유생을 채묘하고 부착기질에 부착한 이후에는 해외의 사례를 참조하여 상향식 수류에서 관리하기 위한 장치를 개발하였다. 개발된 상향식 수류 시설과 기존의 하향식 수류 시설을 실내에 설치하여 1, 3, 8 mm 내외의 어린 굴을 2주간 사육한 결과, 크기가 작은 굴일수록 일간 성장률이 높았으며, 상향식 수류 시설에서 중량의 증가가 빠른 것으로 조사되었다 (Fig. 6). 이는 어릴수록 일간 성장률이 높다고 보고한 선행연구자들의 결과와 일치한다 (Quayle, 1969, Collet *et al.*, 1999). 이후 9, 13, 32 mm 내외의 어린 굴을 대상으로 야외에서 상향식 수류 시설과 수평망식 양식 시설에서 35일간 양성 실험을 실시한 결과, 중간 크기인 13 mm 내외의 굴을 상향식 수류 시설에서 키운 것이 전 중량 증가에 있어 가장 우수하였다. 또한 최초 크기와 양성 방법에 따라 성장에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 (Table 2). 성장의 차이는 각고와 전중량의 일간 성장률로 비

교하였는데, 중간 양성이 시작된 실내 양성 때와 10 mm 내외로 자라 야외에서 양성한 때 모두 각고의 일간 성장률은 상향식 수류 시설이나 하향식 수류 시설, 혹은 수평망식 양식 시설에서 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다 (Fig. 4, 8). 그러나 전중량의 증가는 상향식 수류 시설에서 유의하게 차이가 있는 것으로 조사되었다 (Fig. 6, 10). 이는 상향식 수류 시설에서 어린 굴을 양성할 때 패각의 성장보다는 육질부가 증가된다는 것을 나타내는데, 상향식 수류와의 마찰로 인하여 패각의 가장자리가 둥글게 다듬어지는 효과를 가지기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 상향식 수류로 인하여 condition index의 향상 효과를 가질 수 있었는데, 이는 상향식 수류 시설이 성장도 균질하게 해주고 condition index도 향상시켜준다는 기존의 연구 결과와도 일치한다 (Spencer 1988; Bacher and Baud, 1992). Meseck 등 (2012) 은 뉴욕의 작은 만에 상향식 수류 시설 (Floated Upwelling System; FLUPSY) 을 설치하여 어린 굴을 양성하며 효과를 분석한 결과, 시설 주변의 영양염 농도가 만 안의 다른 지역보다 높지 않았으나 C:N 비율이 변화되어 식물성플랑크톤 생산성의 지표인 클로로필-a 농도가 다른 지역보다 높았다고 보고한 바 있다. 이같은 현상은 야외에서 상향식 수류 시설을 이용하여 굴을 양성할 때 중량의 증가가 빨랐던 원인 중 하나인 것으로 여겨진다.

Spencer (1988) 은 야외 상향식 수류시설에서 어린 개체굴을 키울 때 먹이섭취율과 성장을 향상시키기 위하여 해수에 N, P, Si를 첨가해주고 해수 흐름의 속도를 조절하였다. 그 결과 먹이 섭취는 상향식 수류 시설을 통과하는 부유물질의 20%를 여과하는 속도에서 최대 먹이 흡수가 일어나는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 적절한 해수의 flow rate를 찾는 실험을 진행하지 않았으나 Rodhouse and O'Kelly (1981) 는 flow rate가 낮을수록 부유물질의 여과율이 높아 먹이생물도 많이 섭취하였으나 오히려 성장은 느리다고 보고한 바 있다. 따라서

상향식 수류 시설의 효과를 향상시키기 위해서는 성장 단계와 양성 밀도, 수온 등에 따라 적절한 flow rate를 찾기 위한 실험이 필요하다고 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원 수산시험연구소 “동해 특산품 종 양식기술 개발 (R2020009)” 의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bacher C. and JP Baud. (1992) Intensive rearing of juvenile oysters *Crassostrea gigas* in an upwelling system: optimization of biological production. *Aquatic Living Resources*, **5**: 89-98.
- Collet B, Boudry P, Thebault A, Heurtebise S, Morand B and A. Gerard. (1999) Relationship between pre- and post-metamorphic growth in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, **175**: 3-4, 215-226.
- Duncan DB. (1955) Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- FAO. (2019) Fishery and aquaculture statistics, aquaculture production 2017. FAO Fishery Information, Data and Statistics Unit, Rome.
- Hickman RW, Illingworth J, Forman JJ and TH Kendrick. (1999) A pump-pot nursery system for rearing juvenile New Zealand dredge oysters *Tiostrea lutaria*. *Aquaculture Research*, **30**: 673-680.
- Lim HJ, Lee TS, Cho PG, Back SH, Byun SG and EH Choi. (2011) The production efficiency of cupped oyster *Crassostrea gigas* spat according to cultch and growth comparing diploid and triploid oysters in off-bottom culture for tidal flat utilization. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **44**(3): 259-266.
- Manzi JJ, Hadley NH, Battey C, Haggerty R, Hamilton R and M Carter. (1984) Culture of the northern hard clam, *Mercenaria mercenaria* (Linne), in a commercial-scale, upflow, nursery system. *Journal of Shellfish Research*, **4**(2): 119-124.
- Meseck SL, Li Y, Dixon MS, Rivara K, Wikfors GH and G Luther III. (2012) Effects of a commercial, suspended eastern oyster nursery upon nutrient and sediment chemistry in a temperate, coastal embayment. *Aquaculture Environment Interactions*, **3**: 65-79.
- O'Meley C. (1992) A lecture in aquaculture: nursery systems for oyster spat. *Austasia Aquaculture*, **6**: 45-47.
- Quayle DB. (1969) Pacific oyster culture in British Columbia. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*. **169**: 192pp.
- Ray NE, Li J, Kangas PC and DE Terlizzi. (2015) Water quality upstream and downstream of a commercial oyster aquaculture facility in Chesapeake Bay, USA. *Aquacultural Engineering*, **68**: 35-42.
- Rodhouse, P.G. and M. O'Kelly. (1981) Flow requirements of the oysters *Ostrea edulis* L. and *Crassostrea gigas* Thumb. in an upwelling column system of culture. *Aquaculture*, **22**: 1-10.
- Rodhouse, P.G., Roden, C. and ME Somerville-Jacklin. (1983) Nutritional value of micro-algal mass cultures to the oyster, *Ostrea edulis* L. *Aquaculture*, **32**: 11-18.
- Spencer BE. (1988) Growth and filtration of juvenile oysters in experimental outdoor pumped upwelling systems. *Aquaculture*, **75**: 139-158.
- Spencer BE, Akester MJ and I Mayer. (1986) Growth and survival of seed oysters in outdoor pumped upwelling systems supplied with fertilized sea water. *Aquaculture*, **55**: 3, 173-189.
- Tobi H. and D. Ward. (2019) Nursery and growth-out strategy optimization in bay scallop *Argopecten irradians*. *Aquaculture*, **81**: 130-139.
- Walne PR and BE Spencer. (1974) Experiments on the growth and food conversion efficiency of the spat of *Ostrea edulis* L. in a recirculation system. *ICES Journal of Marine Science*, **35**: 303-318.