

전라남도 여수 해역 해만가리비 (*Argopecten irradians*) 의 성장특성 및 생존율: 양식 품종 다각화 및 양식 가능성 평가

박충국¹, 윤지혜¹, 안윤근²

¹전라남도 해양수산과학원 미래수산연구소, ²전남대학교 양식생물학과

Growth Characteristics and Survival Rate of Bay Scallop (*Argopecten irradians*) in Yeosu Coastal Waters, Jeollanam-do: Evaluation of Aquaculture Species Diversification and Feasibility

Chung-Kug Park¹, Ji-Hye Yun¹ and Yun Keun An²

¹Science Future and Fisheries Research Institute, Jeollanam-do Institute of Ocean and Fisheries, Yeosu 59782, Republic of Korea

²Department of Aquaculture, College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

ABSTRACT

This study compared aquaculture performance of the bay scallop (*Argopecten irradians*) between an inner-bay site and an outer-coastal site in the Yeosu coastal area, Korea. During the study period, seawater temperature ranged from 6.75 to 27.97°C at the inner-bay site and from 12.30 to 25.83°C at the outer-coastal site, with no significant difference between sites ($p > 0.05$). Salinity ranged from 31.14 to 32.70 psu in the inner bay and from 31.91 to 34.01 psu at the outer-coastal site; although salinity tended to be slightly higher at the outer-coastal site, the difference was not significant ($p > 0.05$). The mean daily growth rate (DGR) was higher at the outer-coastal site (8.87% day⁻¹) than at the inner-bay site (7.59% day⁻¹). At the end of the experiment, survival was markedly higher at the outer-coastal site (82.1%) than at the inner-bay site (11.8%), whereas mean biofouling incidence was substantially lower at the outer-coastal site (3.03%) than at the inner-bay site (11.13%). Elevated biofouling in the inner bay was identified as a key limiting factor, potentially contributing to reduced growth and increased mortality through growth retardation, space competition, and competition for food resources. Overall, the outer-coastal area of Yeosu can be classified as a priority candidate site for the introduction and expansion of bay scallop farming (high suitability), whereas the inner bay represents a high-risk area vulnerable to biofouling and environmental stressors (low suitability). These findings provide baseline information for spatial planning and management by differentiating site suitability using survival and biofouling indicators.

Key words: *Argopecten irradians*, aquaculture, suitability, Survival rate, Biofouling rate

서 론

우리나라 패류양식은 지역 및 품목별로 산업 기반이 집중되

어 형성되어 왔으나, 특정 양식종에 대한 생산 편중은 고수온, 저염분, 빈산소 수괴 발생 등 환경 스트레스의 확대와 질병·유해생물 발생, 종묘 수급 불안정 및 가격 변동에 대한 취약성을 증대시키는 요인으로 지적되어 왔다. 특히 최근에는 고수온 및 이상 현상 등의 발생 빈도와 강도 증가가 전 세계적으로 보고되면서 (Oliver *et al.*, 2018), 연안 생태계 및 양식생물의 급성 환경 스트레스 위험이 확대되고 있다는 점에서 생산 구조의 취약성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따라 수산양식 현장에서는 생산 안정성과 소득원 다변화를 위한 양식 품종 다각화가 지속적으로 요구되어 왔으며, 후보 종에 대해서는 대상 해역의 환경조건에서 실제 양식 성과를 근거로 한 적합성 평

Received: February 19, 2026; Revised: May 10, 2026;
Accepted: May 25, 2026

Corresponding author: Yun Keun An

Tel: +82 (61) 659-7166, e-mail: ykan@jnu.ac.kr
1225-3480/24913

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.

가가 우선적으로 수행될 필요가 있다 (Shumway and Parsons, 2006).

전라남도는 우리나라 수산양식에서 패류 생산이 중요한 비중을 차지하는 지역이며, 여수 인접 해역을 포함한 남해 연안은 수하식 양식이 집적된 대표적인 해역으로 알려져 있다. 또한, 전라남도 연안의 패류 양식업은 전통적으로 참굴, 진주담치 중심의 수하식 양식과 바지락, 꼬막류, 가무락 등 소수 품종 위주의 바닥식 양식을 축으로 생산 구조가 형성되어 왔으며, 이는 지역 수산업의 핵심 소득원으로 기능해 왔다. 그러나 최근 연안 환경의 변동성이 증대되고 환경적 스트레스 요인이 복합화됨에 따라, 특정 소수 품종에 편중된 양식 구조는 기상, 해황의 급격한 변화 및 재해성 요인에 매우 취약하다는 한계가 반복적으로 지적되고 있다. 실제로 패류의 성장과 생산성 지표는 장기적인 환경 변동과 해역 특성에 따라 민감하게 달라질 수 있어, 안정적 생산을 위해 환경요인을 고려한 관리 및 생산 기반 평가가 중요하다는 점이 강조된다 (Shim *et al.*, 2021). 한편 남해 연안의 주요 패류양식 해역에서는 양식 활동과 연동된 퇴적물 유기물 축적 및 오염 (organic enrichment) 문제가 보고된 바 있으며 (Choi *et al.*, 2013), 이러한 저질·수질 환경 변화는 내만에서의 성층화 및 용존산소 변동과 결부될 경우 양식생물 생존과 어장 건전성에 잠재적 영향을 줄 수 있다 (Diaz and Rosenberg, 2008).

이러한 관점에서 해만가리비 (*Argopecten irradians*)는 상대적으로 빠른 성장과 높은 상품성으로 인해 대체 및 신규 양식 품종으로 주목받아 왔으며, 여러 국가에서 산업적으로 이용되어 왔다 (Shumway and Parsons, 2006; FAO, 2023). 국내에서도 동해 일부 해역을 중심으로 해만가리비 양식 적용 가능성을 검토한 연구가 보고되어, 지역적 환경조건 하에서의 양식 성과에 대한 기초자료가 축적되고 있다 (Kim *et al.*, 2016). 다만 가리비류는 수온, 먹이생물 및 수질 환경 변화에 민감하며, 특히 고수온기에는 대사율 증가와 에너지 수지 악화, 저산소 동반 가능성 등으로 성장 저하 및 폐사가 발생할 수 있어 양식 성과가 해역별·계절적 특성에 따라 크게 달라질 수 있다 (Shumway and Parsons, 2006). 따라서 신규 어장에 대상종을 도입하여 산업적으로 적용하기 위해서는 종 자체의 생물학적 잠재력뿐 아니라, 해당 해역에서의 성장 특성 및 생존율 변동을 정량적으로 제시하는 현장 기반 평가가 필요하다 (Shumway and Parsons, 2006; Diaz and Rosenberg, 2008).

전라남도 여수 해역은 해안선이 복잡하고 만 (bay) 구조가 발달하여, 상대적으로 폐쇄성이 큰 내만권과 외해의 영향을 더 직접적으로 받는 외만권이 공존한다. 일반적으로 내만권은 수괴 체류시간 증가와 성층 강화에 의해 저층의 용존산소가 고갈되기 쉬우며, 해양 저산소증 (coastal hypoxia)은 전 지

구적으로도 주요 환경 문제로 보고되어 왔다 (Diaz and Rosenberg, 2008). 반면 외만권은 해수교환이 비교적 원활하여 수질 및 용존산소의 급격한 악화 위험이 상대적으로 완화될 수 있으나, 파랑·유속 등 물리적 교란이 양식 구조물 안정성과 생물 성장에 다른 방식으로 작용할 가능성이 있다. 이러한 해양 공간적 이질성은 동일한 양식 방식이라 하더라도 지점별 성장, 생존율 등 양식성과를 달리할 수 있으므로 (Oliver *et al.*, 2018; Shumway and Parsons, 2006), 여수 해역에서 내만과 연안을 포괄하는 지점에서 시험양성을 통해 해만가리비의 양식 적합성을 분석하고 평가할 필요가 있다.

본 연구는 여수 해역에서 수하식 채롱 방식으로 양성한 해만가리비 치패의 성장 특성을 정량화하고 조사 정점 간 성장 및 생존율 차이를 비교하고자 한다. 또한 양성과정에서의 성과를 토대로 여수 해역에서 해만가리비의 양식 가능성과 품종 다각화 관점의 적용 가능성을 평가하여, 향후 전라남도 여수 연안에서 해만가리비 양식 적용 여부 판단에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 시험어장

본 연구의 조사지역은 수하식 패류양식이 활발한 전라남도 여수 해역으로 선정하였다. 시험어장은 해역 특성에 따라 내만권과 외해권으로 구분하여 선정하였으며, 해만가리비 양식 시험은 내만권의 여수시 돌산을 상중도 인근 해역과 외해권의 여수시 삼산면 거문도 인근 해역 등 2개 정점에서 수행하였다 (Fig. 1).

2. 환경요인 조사

시험어장의 환경 특성을 파악하기 위하여 수온 (water temperature, °C) 과 염분 (salinity, psu) 을 2018년 1월부터 12월까지 월 1회 현장에서 측정하였다. 수온 및 염분은 다항목 수질측정기 (YSI-556MPS; YSI Incorporated, USA)를 이용하여 조사 정점에서 직접 측정하였다.

3. 종자 확보 및 중간양성

해만가리비 인공종자는 경상남도 거제 소재 종자생산 양식 어장에서 구입하였다. 시험어장 이식 전 2018년 5-6월에 중간양성을 실시하였으며, 부착망에 부착된 각고 약 5-10 mm 개체를 선별하여 5단 채롱 (lantern net)에 수용하였다. 중간양성 밀도는 채롱 1칸당 약 200 개체로 하였다. 중간양성 채롱은 연승 수하식으로 설치하였고, 수하연은 길이 100 m의 1줄을 사용하였다. 시설 과정에서 태풍 및 강풍에 의한 유실을 방지하기 위해 부자 및 로프를 보강하였다. 외해권 정점의 경

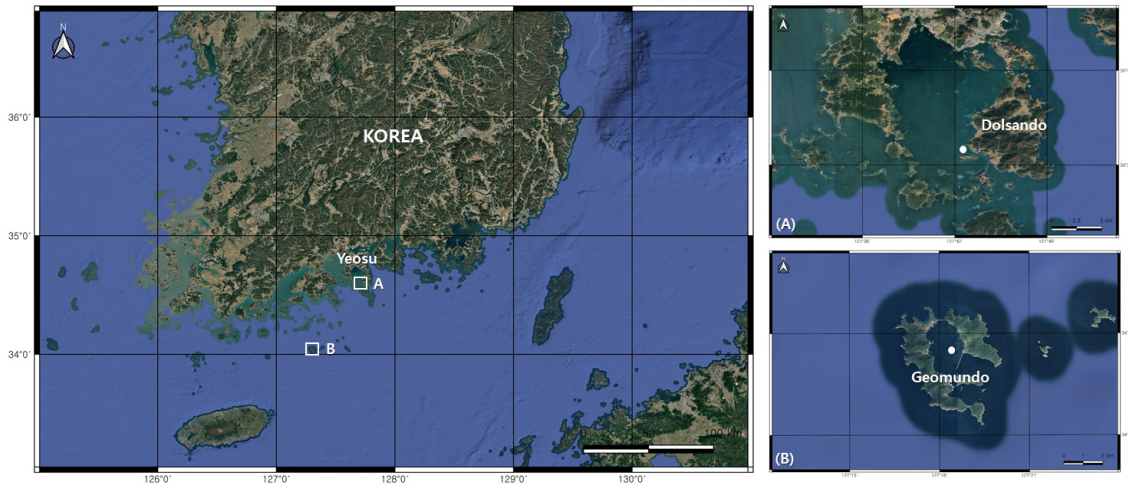


Fig. 1. Map of the study area showing harvesting sites for cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer coastal (B) areas.



Fig. 2. Experimental cultivation procedures of bay scallop (*Argopecten irradians*): (a) seed sorting, (b) cultivation procedure, (c) early growth stage, and (d) adult scallops.

우 해상가두리 양식어장 주변 해역에 시설하였으며, 채롱의 수하 깊이는 연승 수하식 시설의 수심 조건과 동일하게 유지하였다.

4. 시험양성 및 관리

중간양성 후 각고 약 20.0 mm 내외의 치패를 선별하여 12 단 채롱에 수용한 뒤, 각 시험어장으로 이송하여 본양성을 수행하였다 (Fig. 2). 본양성 밀도는 채롱 1칸당 20 개체로 하였다. 양성 기간 중 부니 및 부착생물에 따른 폐사 가능성을 저감하기 위하여 채롱별 망갈이를 1회 실시하였다.

5. 성장 및 생존율 조사

시험어장별 성장 및 생존 특성을 평가하기 위하여 2018년 7월부터 12월까지 월 1회 시료를 채취하였다. 성장도 분석을 위해 매 조사 시 생존 개체 중 무작위로 30 개체를 채집하여 실험실로 운반한 후, 각고 (shell height, SH) 를 Vernier calipers를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였고, 전중량 (total weight, TW), 육중량 (meat weight, MW) 을 전자저울 (CAS, MW-2H) 을 사용하여 0.01 g 측정하였다. 측정된 값을 이용하여 아래 식에 따라 절대성장률 (absolute growth rate, AGR), 일간성장률 (daily growth rate, DGR), 생존율 (survival rate, SR) 은 아래 식을 이용해 산출하였다.

$$\text{Absolute growth rate (AGR; \%)} = (Le - Li) / Li \times 100$$

$$\text{Daily growth rate (DGR, \% / day)} = (Le - Li) / (T - t) \times 100$$

$$\text{Survival rate (SR, \%)} = (Ni - Ne) / Ni \times 100$$

Le: 최종 평균 각고, Li: 최초 평균 각고, T-t: 사육 일수, Ne: 최초생존마리수 Ni: 최종생존마리수

6. 부착생물 조사

수하식 양성 과정에서의 부착생물 발생 양상을 파악하기 위하여, 채롱 외부에 채롱 그물코보다 작은 망목 약 1.0 mm의 외피망을 제작하여 씌운 처리구를 설정하고 본양성 시작부터 종료까지 조사하였다. 외피망을 적용하지 않은 대조구와 외피망을 적용한 처리구를 비교하였다. 시료 개체별로 패각 표면의 부착생물을 Scraper로 제거한 후, 해수로 가볍게 세척하여 해만가리비의 중량을 측정하였다. 제거한 부착생물은 별도로 수거하여 부착생물 중량을 측정하였으며, 중량은 전자저울을

여수 해역에서 해만가리비의 성장특성 및 양식 가능성 평가

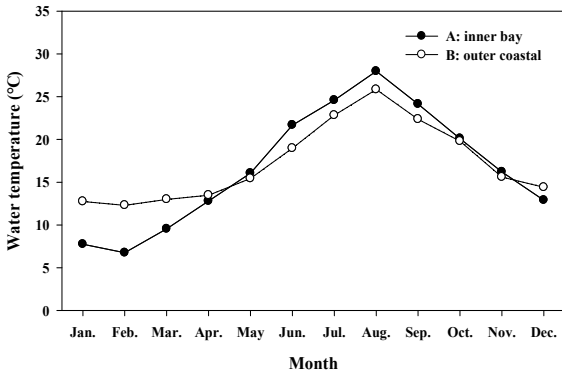


Fig. 3. Monthly variations in water temperature in the inner bay (A) and outer coastal area (B).

이용하여 0.1 g 단위까지 측정하였다. 패각 표면의 부착생물 비율(%)은 아래 계산식을 이용하여 산정하였다.

$$\text{Biofouling ratio(\%)} = W_f / W_s \times 100$$

W_f : 부착생물 중량 (g), W_s : 부착생물 제거 후 해만가리비 전 중량 (g)

7. 통계분석

통계분석은 Python (version 3.14.0) 을 사용하였으며, 주요 통계 처리는 SciPy 및 statsmodels 패키지를 사용하였다.

두 집단 간 평균 차이 검정은 자료의 구조에 따라 two-sample t-test 또는 paired t-test를 적용하였다. 등분산성이 충족되지 않는 경우 Welch 보정 t-검정을 사용하였으며, 유의성은 유의수준 $P < 0.05$ 수준에서 평균 값의 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 수온 및 염분

조사지역의 월별 수온 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 여수 내만의 수온은 2월 6.75°C로 최저, 8월 27.97°C로 최고를 보였으며, 연평균 수온은 16.71 ± 7.02 °C였다. 여수 외해 해역은 2월 12.30°C로 최저, 8월 25.83°C로 최고를 나타냈고, 연평균 수온은 17.23 ± 4.59 °C로 내만에 비해 계절 변화 폭이 완만하였다. 해역별로는 겨울철 (1-2월) 에는 외해 해역이 내만보다 높았고, 5월부터 11월에는 내만이 외해 해역보다 높게 나타나는 경향을 보였으나, 월별 평균 수온의 해역 간 차이는 유의하지 않았다 ($p > 0.05$).

월별 염분 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 여수 내만의 염분은 9월 31.14 psu로 최저를 보인 뒤 12월 32.70 psu로 회복되었으며, 연평균 염분은 32.62 ± 0.74 psu였다. 여수 외해

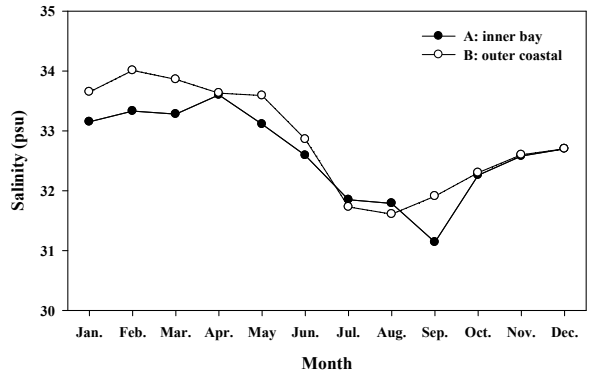


Fig. 4. Monthly variations in salinity in the inner bay (A) and outer coastal area (B).

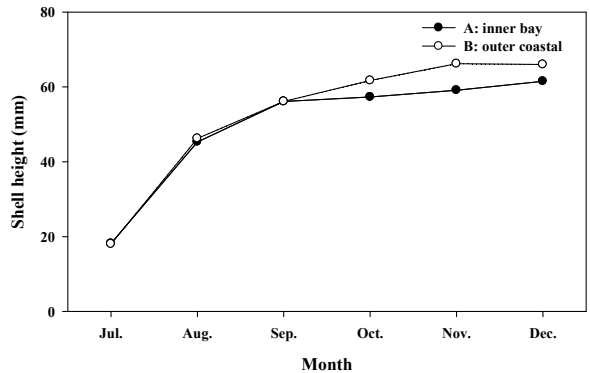


Fig. 5. Changes in shell height (mm) of cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer coastal area (B) during the study period.

해역은 2월 34.01 psu로 최고, 9월 31.91 psu로 최저를 나타냈고, 연평균 염분은 32.87 ± 0.86 psu였다. 전반적으로 외해 해역의 염분이 내만보다 높았으나, 월평균 염분의 해역 간 차이는 유의하지 않았다 ($p > 0.05$).

2. 성장 변화

1) 월별 성장 변화

조사기간 동안 해만가리비의 성장 특성을 파악하기 위해 각고를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 5에 제시하였다. 전체 조사기간 동안 두 해역 모두 각고가 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 시험 종료 시점에 각고는 내만해역에서 평균 49.58 ± 16.38 mm, 외해 해역에서 평균 52.38 ± 18.42 mm로 외해 해역이 전반적으로 더 큰 값을 나타냈다. 조사 초기 (7-9월) 에는 두 해역 간 성장 수준이 유사하여 차이가 뚜렷하지 않았으나, 가을 이후 (10-12월) 에는 외해 해역에서 내만해역에 비해 유의하게 높은 각고가 관찰되었다 ($p < 0.05$).

조사해역별 해만가리비의 전중량은 Fig. 6에 나타내었다.

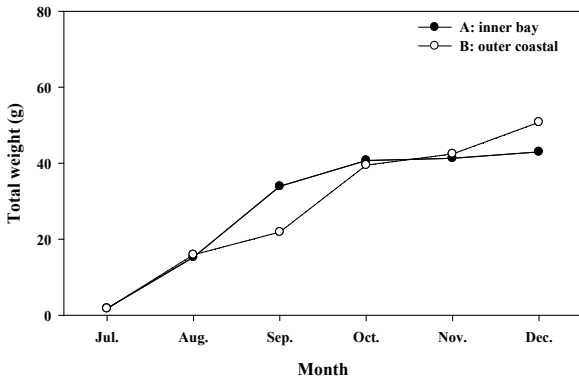


Fig. 6. Changes in total weight (g) of cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer coastal area (B) during the study period.

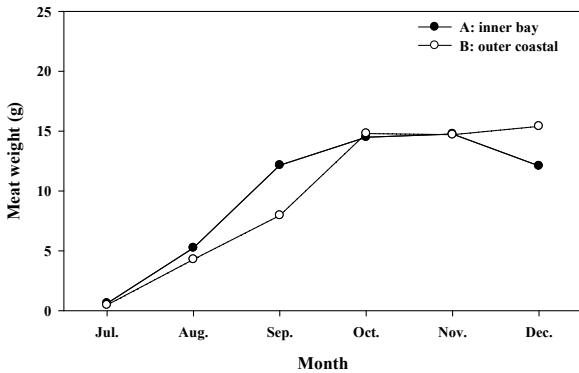


Fig. 7. Changes in meat weight (g) of cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer coastal area (B) during the study period.

조사 초기 (7-8월)에는 두 해역에서 유사한 증가 양상을 보였으나, 성장 후반기에는 외해 해역에서 더 큰 전중량이 관찰되었다. 9-10월에는 내만해역이 일시적으로 높았으나, 11월부터는 외해 해역이 내만해역을 상회하였고, 12월에는 외해 (50.81 g)에서 내만 (43.01 g)보다 높게 나타나 시험 종료 시점 기준 외해 해역의 성장 우세가 뚜렷하였다. 한편 전체 기간 평균 전중량은 내만 29.35 ± 18.60 g, 외해 28.72 ± 16.95 g로 유사하였다 ($p > 0.05$).

해만가리비의 육중량은 조사 초기에는 내만해역이 다소 높은 경향을 보였으나, 성장 후반기에는 외해 해역에서 더 큰 값이 관찰되어 외해 우세가 나타났다 (Fig.7). 7-9월에는 내만이 외해보다 높았고, 10-11월에는 두 해역의 육중량이 유사한 수준으로 나타내었다. 이후 12월에는 외해 (15.40 g)가 내만 (12.09 g)보다 높은 값을 나타내어 실험종료 시점 기준 외해 해역에서 가식부 증체가 더 우세한 양상을 보였다. 한편 전체 기간 평균 육중량은 내만 9.89 ± 6.34 g, 외해 9.61 ± 5.70

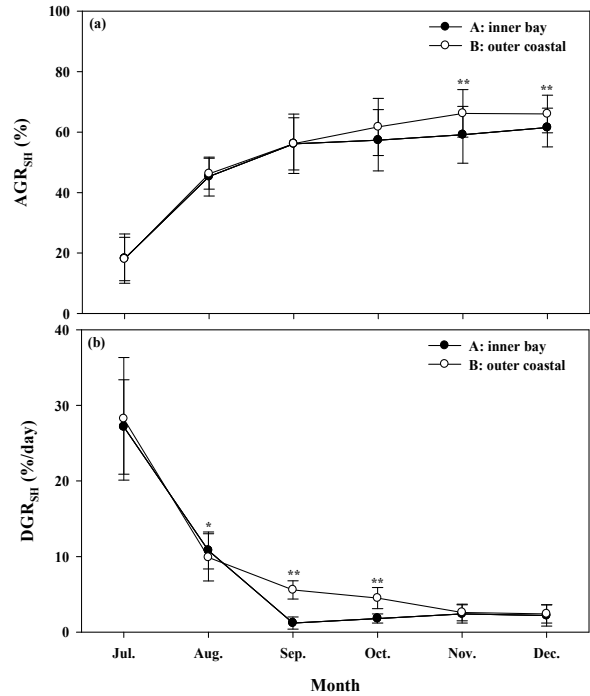


Fig. 8. Changes in absolute growth rate (AGR; %) and daily growth rate (DGR; %/day) of cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer coastal area (B) during the study period. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

g로 해역 간 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.05$).

2) 성장특성

절대성장률 (absolute growth rate, AGG) 분석 결과는 Fig. 8a에 제시하였다. 조사기간 동안 AGR (%)은 두 해역 모두 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 전체 평균은 외해 52.38%, 내만 49.58%로 외해 해역에서 다소 높게 나타났다. 조사 초기에는 해역 간 차이가 크지 않았으나, 가을 이후 수온이 하강하는 시기에는 외해 해역에서 상대적으로 높은 수준이 유지되어 해역 간 격차가 확대되는 양상이 확인되었다 ($p < 0.05$).

일간성장률 (daily growth rate, DGR) 비교 결과는 Fig. 8b에 나타내었다. DGR (% day⁻¹)은 두 해역 모두 7-8월에 높은 값을 보인 후 수온 하강 시기로 갈수록 급격히 감소하여 낮은 수준으로 안정화되는 계절적 변동을 나타냈다. 해역 간 비교에서는 7-8월에 유사한 수준을 보였으나, 9-10월에는 외해 해역의 DGR이 내만해역보다 뚜렷하게 높아 성장 속도에서 외해 우세가 가장 명확하게 나타났다 ($p < 0.05$). 이후 11-12월에는 두 해역 모두 낮은 DGR 범위에서 유사한 수준을 보여 격차가 감소하였다. 전체 기간 평균 DGR은 외해

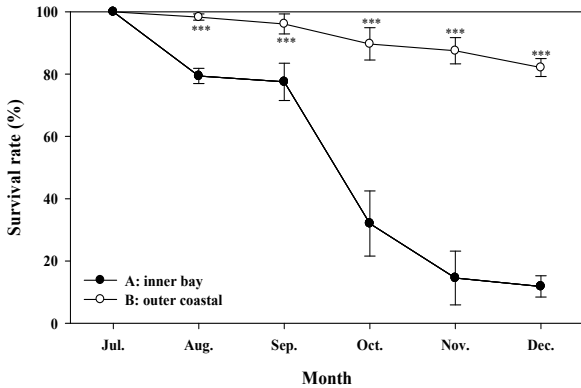


Fig. 9. Changes in survival rate (%) of cultured *Argopecten irradians* in the inner bay (A) and outer sea area (B) during the study period. Different letters indicate significant differences ($p < 0.001$).

8.87%/day, 내만 7.59% day⁻¹로 외해 해역에서 높게 나타났다.

3. 생존율 변화

해만가리비의 해역별 생존율은 Fig. 9과 같이 나타났다. 조사기간 동안 내만권과 외해권에 양성한 해만가리비의 생존율을 비교한 결과, 외해 해역이 실험기간 중 전반적으로 가장 우수한 생존 결과를 나타냈다. 7월에는 해역 간 유의한 차이가 없었으나 ($p > 0.05$), 8월부터 12월까지 매월 외해 해역의 생존율이 내만해역보다 유의하게 높게 유지되었다 ($p < 0.001$). 특히 시간 경과에 따라 두 해역 간 격차는 확대되었는데, 내만 해역은 조사 후반기로 갈수록 생존율이 급격히 감소하여 12월에 11.8%까지 저하된 반면, 외해 해역은 전 기간 안정적으로 높은 생존율을 유지하여 실험 종료시점에도 82.1%로 기록하였다. 이러한 결과는 외해 해역이 본 실험에서 해만가리비의 생존에 보다 유리한 서식·양성 조건을 제공할 수 있음을 직접적으로 나타내는 결과라 할 수 있다.

4. 부착생물

해만가리비의 시험양성 결과 내만과 외해에서 사육한 해만가리비의 패각 표면에 부착생물 비율은 Table 1과 같이 나타났다. 내만역의 부착생물 비율은 8월 조사에서 6.99%에서 12월에 16.53%로 증가하였으며, 조사기간 평균은 $11.13 \pm 4.94\%$ 로 나타났다. 반면 외해역은 8월에서 11월까지 시험기간 동안 0.63-1.67% 범위의 낮은 수준을 유지하였으나, 12월에는 10.9%로 급격히 증가하였다. 외해역의 조사기간 평균 부착생물 비율은 $3.03 \pm 4.42\%$ 였다. 전반적으로 시험양성 결과 해만가리비의 경우 외해역의 부착생물 비율은 내만역에 비해 현저히 낮아, 외해 양성 환경이 부착생물 발생 억제 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

고 찰

본 연구는 여수 내만과 외해 해역에서 양성한 해만가리비 (*A. irradians*) 의 성장 및 생존을 비교하고, 여수 내만과 외해 해역에서 양성한 해만가리비의 성장 및 생존 성과를 비교하고, 현장 적용 가능성을 중심으로 해역 적합성을 검토하였다. 수온과 염분은 계절 변동 양상에서 차이는 관찰되었으나 월평균 기준으로 해역 간 유의차는 확인되지 않았으며, 반면 성장과 생존은 외해 해역이 내만에 비해 우수하였다. 조사기간 동안 외해역의 실험구에서 지속적으로 생존율이 내만보다 유의하게 높았고, 내만역에서는 후반기에 생존율이 급격히 저하하여 12월에 11.8%까지 감소하였다. 수온은 패류의 대사, 여과섭식 및 성장에 직접적인 영향을 미치는 핵심 요인으로, 적정 범위 내에서는 성장과 생리활동을 촉진하나 급격한 변동 또는 스트레스 범위에서는 성장 둔화와 생존 저하로 이어질 수 있다 (Shumway, 1996). 본 연구에서 내만은 외해에 비해 계절 변동 폭이 큰 경향을 보였다.

해만가리비의 성장률에서도 특정 구간에서 외해역 실험구에서 높은 성장률을 확인할 수 있었으며, 해수유동 및 환경조

Table 1. Monthly variation in the biofouling ratio (%) on the shell surface of the bay scallop (*Argopecten irradians*)

Month	Total weight (g)		Biofouling biomass (g)		Biofouling ratio (%)	
	Inner bay	Outer coastal	Inner bay	Outer coastal	Inner bay	Outer coastal
Aug.	14.30	15.80	1.00	0.10	6.99	0.63
Sep.	31.70	21.70	2.20	0.20	6.94	0.92
Oct.	37.40	39.10	3.30	0.40	8.82	1.02
Nov.	35.50	41.80	5.80	0.70	16.34	1.67
Dec.	36.90	45.80	6.10	5.00	16.53	10.92
Mean ± SD	31.16 ± 9.69	32.84 ± 13.25	3.68 ± 2.23	1.28 ± 2.09	11.13 ± 4.91	3.03 ± 4.42

건 등과 먹이생물에서 오는 스트레스 요인의 누적에 의해 조절되었을 가능성을 보여준다. 패류 양식에서 먹이 고갈 및 해수교환 조건은 양식 성과를 좌우하는 주요 변수로 보고되며, 수리환경이 제한될수록 먹이 이용 가능성과 생리적 부담이 달라질 수 있다 (Cranford, 2019). 패류의 삼투조절 및 생리상태에 염분은 많은 영향을 주며, 장기간의 저염분 노출은 섭식을 감소, 대사 변화 및 질병 감수성 증가와 연관될 수 있다 (Shumway, 1996). 본 연구에서는 9월에 내만에서 조사기간 중 염분이 낮아지는 양상이 나타났으나, 월평균 염분의 해역간 큰 유의차는 보이지 않았다. 하지만 내만해역의 여름철 집중 강우, 담수 유입, 부유물질 증가 등에 따라 수온이 높은 시기에 단기간 해역의 교란현상이 발생하였을 가능성이 높다. 따라서 내만에서 관찰된 생존율의 급락은 수온이 높은 여름철에 여러 외부환경 변화 요인 등이 동반되었을 가능성이 있다.

본 연구에서 해역 간 차이를 가장 뚜렷하게 보여주는 요인은 부착생물 비율이었다. 내만에서 부착생물 비율은 8월 6.99%에서 12월 16.53%로 증가하여 조사기간 평균 $11.13 \pm 4.94\%$ 로 나타났고, 외해는 8-11월까지 0.63-1.67%의 낮은 수준을 유지하다 12월에 10.9%로 급증하여 평균 $3.03 \pm 4.42\%$ 였다. 부착생물은 패류 양식에서 성장과 생존을 저해하는 대표적 요인으로 알려져 있으며, 패각 표면의 부착은 개폐 활동과 여과섭식 효율을 저하시킬 뿐 아니라 시설 및 개체 주변의 유기물 축적을 통해 국지적 환경 악화를 유발할 수 있다 (Claereboudt *et al.*, 1994; Fitridge *et al.*, 2012; Sievers *et al.*, 2013). 또한 패류 양식에서 부착생물은 수확, 선별, 관리 비용을 증가시키고 생산성 저하의 직접 원인이 될 수 있어 관리 전략 수립에서 핵심 변수로 다뤄진다 (Forrest *et al.*, 2009; Sievers *et al.*, 2013). 이러한 양식 운영에 따른 관점에서 검토하여 볼 경우, 내만에서 상대적으로 높은 부착생물 압력이 지속된 것은 성장 후반기 내만의 성장 둔화 및 생존율 급락을 설명하는 주요 요인 중 하나로 판단된다 (Claereboudt *et al.*, 1994; Fitridge *et al.*, 2012). 한편 외해에서는 12월에 부착생물 비율이 급증했음에도 생존율은 82.1%로 높은 수준을 유지하였다. 이는 외해 개체군이 8-11월 동안 부착생물과의 공간경쟁, 먹이경쟁 등에서 이점을 유지하여 충분한 성장과 에너지 축적을 이루어 스트레스 내성이 상대적으로 높았을 가능성을 시사한다 (Forrest *et al.*, 2009; Fitridge *et al.*, 2012). 하지만 Sievers *et al.* (2013)의 연구에서는 부착생물의 종조성, 부착 위치, 생물량 및 그리고 동반 환경 (산소공급량, 먹이원 등)이 달라질 경우 동일한 부착율이 높다고 하더라도 생리적 부담은 감소할 수도 있다고 보고하였다. 따라서 향후 연구에서는 양식 가능여부를 판단하기 위해서는 부착생물 비율과 함께 부착생물 종조성과 부착생물량 지표를 객관적으로 선정하여 부착생물 증가 시점과 생존율

변동의 상관관계를 정량적으로 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

해만가리비의 시험양성 중 내만에서 관찰된 생존율이 급락한 이유는 단일 요인이라고 보기 보다는 복합 요인과 지속적으로 생물에 누적된 효과일 가능성이 크다. 일반적으로 연안 내만은 해수교환이 제한적이고 유속이 낮아 부착생물 정착이 용이하며, 유기물 축적 및 빈산소, 고수온 발생 위험이 상대적으로 높을 수 있다 (Forrest *et al.*, 2009; Fitridge *et al.*, 2012). 이러한 조건은 부착생물 증가와 동시에 양식 개체의 스트레스를 증폭시키는 방향으로 작용할 수 있으며, 결과적으로 성장 저하와 폐사 증가로 연결될 수 있다 (Claereboudt *et al.*, 1994; Sievers *et al.*, 2013).

수산양식학적 측면에서 본 연구 결과는 외해 해역이 해만가리비 양식에 내만보다 유리한 후보지일 가능성을 보여주며, 내만 양식의 경우 부착생물 관리가 생산가능성 및 생산비용 증가라는 점이 Forrest *et al.* (2009)와 Fitridge *et al.* (2012)의 연구에서와 같이 중요한 판단 요인으로 나타났다. 전남 여수해역에서 해만가리비를 양성할 경우 내만에서 부착생물 비율이 8월 이후 지속적으로 증가한 점을 고려하면, 성장 후반기 (9-12월)에는 세척, 망 교체, 양성밀도 조절 등 적극적 관리가 요구되며, 시설 배치 또한 수류가 확보되는 지점을 우선 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다 (Sievers *et al.*, 2013). 아울러 외해역 양식 과정에서도 12월에 부착생물 비율이 급증한 점은 부착생물로 인한 상품성 하락 및 비용 증가 등 리스크가 증가할 수 있음을 의미하므로, 본 양성시기 조절 등을 통해 부착생물 피해를 최소화 하는 것이 효과적일 수 있다 (Fitridge *et al.*, 2012).

본 연구는 동일한 조사 기간 동안 여수 내만과 외해에서 해만가리비의 성장과 생존이 뚜렷하게 차이를 보이는 결과를 도출하였다. 특히 외해역의 실험구에서는 시험 종료 시점에 생존율이 82.1%로 유지된 반면 내만은 11.8%까지 급락하여, 두 해역의 생산성 격차가 생존율에서 결정적으로 나타났다. 성장 측면에서도 외해역은 일간성장을 등에서 내만해역 보다 높은 결과를 나타내었다. 이러한 차이는 내만해역에서 부착생물 비율은 평균 11.13%로 외해보다 약 4배 높았고, 이는 여과섭식 효율 저하, 공간경쟁에 따른 에너지 소비 변화 등으로 이어져 성장 저하와 생존율 악화를 누적적으로 유발했을 가능성이 크다 (Forrest *et al.*, 2009; Sievers *et al.*, 2013). 즉, 본 연구 결과는 외해역이 상대적으로 낮은 부착생물 부담과 함께 높은 생존율 및 성장 우위를 동시에 확보한 해역으로서, 해만가리비 양식 입지로 더 적합함을 뒷받침한다.

따라서 여수 해역에서 해만가리비를 양식가능 성을 검토하여 볼 경우, 양식 적지의 적합성을 요인별 통합해 등급화한 연구 (Radiarta *et al.*, 2008; Marconi *et al.*, 2013)를 기준

으로 볼 경우 외해역은 우선적인 도입 가능한 확대 후보지 (High suitability) 로 평가되며, 내만은 동일 조건에서 대량 폐사 위험과 부착생물 관리 부담이 큰 고위험 해역 (Low suitability) 으로 구분된다. 본 연구결과는 해역 선택이 해만 가리비 양식 생산성을 좌우하는 핵심 의사결정 요인임을 실증적으로 제시하였으며, 특히 부착생물 발생 수준이 해역 간 양식 성과 차이를 설명하는 주요 요인으로 작용할 가능성을 제시함으로써, 향후 해만가리비 양성장 입지 선정과 부착생물 피해감소 중심의 관리전략 수립이 우선적으로 고려되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 여수 해역에서 해만가리비의 양식 성과를 내만과 외해로 구분하여 비교·평가하였다. 조사기간 동안 수온은 내만 6.75-27.97°C, 외해 12.30-25.83°C 범위였고, 해역 간 유의차가 없었다 ($p > 0.05$). 염분은 내만 31.14-32.70 psu, 외해 31.91-34.01 psu로 외해가 다소 높았으나 유의차는 없었다 ($p > 0.05$). 일간성장률 (DGR) 은 외해역 실험구에서 평균 8.87% day⁻¹, 내만 실험구 7.59% day⁻¹에 비해 높게 나타났다. 조사 결과 외해는 생존율이 실험 종료시점에 82.1%로 높고 부착생물 발생률은 3.03%로 낮아 안정적인 성장과 생산이 가능했으나, 내만은 생존율 11.8%로 매우 낮고 부착생물 발생률은 11.13%로 높아 성장 정체와 폐사가 두드러졌다. 특히 내만에서의 높은 생물부착은 성장저하, 공간경쟁, 먹이생물 경쟁 등을 통해 성장률 감소와 생존율 증가에 핵심적으로 기여하는 제한요인으로 확인되었다. 이러한 결과를 종합하면 여수 외해는 향후 양식 도입 및 확대가 가능한 우선 후보지 (High suitability) 인 반면, 내만은 생물부착 및 환경 요인에 취약한 고위험 해역 (Low suitability) 으로 분류될 수 있다. 종합적으로, 본 연구는 생존 및 부착 지표를 기반으로 입지 적합도를 구분함으로써, 해만가리비 양식의 공간적 확대 전략 및 관리 의사결정에 필요한 기초자료를 제공한다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 “연구·교습어장 사업”으로 전라남도해양수산과학원에서 수행하였으며, 연구 과정에서 도움을 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

Choi, M., Kim, H. C., Hwang, D. W., Lee, I. S., Kim, Y. S., Kim, Y. J. and Choi, H. G. (2013) Organic enrichment and pollution in surface sediments from

shellfish farming in Yeosu Bay and Gangjin Bay, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **46**: 424-436.

Claereboudt, M. R., Bureau, D., Côté, J., and Himmelman, J. H. (1994) Fouling organisms and their effect on mussel culture: a review. *Aquaculture*, **122**: 227-241.

Cranford, P. J. (2019) Evaluating the effects of shellfish aquaculture on food depletion in coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*, **76**: 211-224.

Diaz, R.J. and Rosenberg, R. (2008) Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, **321**: 926-929.

FAO (2023) FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., and de Nys, R. (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, **28**: 649-669.

Forrest, B.M., Keeley, N.B., Hopkins, G.A., Webb, S.C., & Clement, D.M. 2009. Bivalve aquaculture and biofouling: management implications and ecosystem interactions. *Aquaculture*, **297**: 1-15.

Kim, Y.D., Lee, J., Park, M.S., Park, Y.C., Kim, Y. S. and Yoo, H. I. (2016) A study on *Argopecten irradians* aquaculture in the North East Sea regions. *The Korean Journal of Malacology*, **32**: 279-287.

Marconi, M., Le Moullac, G., Quillien, V., and Fabioux, C. (2013). Temperature and levels affect the energy metabolism and the immune response of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **166**: 101-109.

Oliver, E.C.J. et al. (2018) Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, **9**: 1324.

Radiarta, I. N., Saitoh, S. I. and Miyazono, A. (2008) GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture*, **284**: 127-135.

Shim, J., Lee, S.J., Koo, J. H. and Jung, R. H. (2021) Long-term change and factors affecting the fatness of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Tongyeong-Geoje Bays, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **54**: 434-444.

Shumway, S. E. (1996) Natural environmental factors. In: Kennedy, V.S., Newell, R.I.E., & Eble, A.F. (eds.), *The Eastern Oyster: Crassostrea virginica*. Maryland Sea Grant, College Park, Maryland, pp. 467-513.

Shumway, S. E. and Parsons, G. J. (2006) *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture* (2nd ed.). Elsevier, Amsterdam.

Sievers, M., Fitridge, I., and Dempster, T. (2013) Biofouling of marine aquaculture nets: A review of causes and consequences. *Reviews in Aquaculture*, **5**: 214-226.