

통영-거제해역 수하연 양식 참굴(*Crassostrea gigas*)의 비만도 장기변화와 영향 요인 고찰

심정희* · 이상준¹ · 구준호² · 정래홍

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소, ²국립수산과학원 갯벌연구소

Long-term Change and Factors Affecting the Fatness of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* in Tongyeong-Geoje Bays, Korea

JeongHee Shim*, Sang Jun Lee¹, Jun-Ho Koo² and Rae Hong Jeong

Fisheries Resources and Environment Research Division, East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gangneung 25435, Korea.

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Tongyeong 53085, Korea.

²Tidal Flat Research Center, West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Gunsan 54001, Korea.

The decrease in fatness of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, which consequently results in decrease in the profit of aquaculture industry, has become a source of serious concern in southeast coast of Korea. The ratio of flesh (edible portion) to total oyster weight, commonly called edible portion yield (“suyul” in Korean), have been used as a fatness index for the healthy and valuable state of oyster from the early stage of oyster farming in Korea. More than 360 data sets were collected from early culturing periods (in the 1970s) to the present from approximately 15 published literatures to evaluate the long-term fatness trend of oyster, reared particularly in submerged longline culturing system in Gyeongsangnam-do province. Slight decrease in oyster fatness during the 1970s to 1990s was detected in Tongyeong and Geoje Bays; however, from the 1990s to the present, clear decreasing trends were observed with a decrease of 0.04-0.08% year⁻¹, especially during harvest season. Oyster mass production per unit area almost doubled within a short period in the early 2000s; however, changes in coastal environment factors inhibited the fattening of shellfish from the mid 1990s. These results indicate that the severe competition in feeding and low biological production in water column might be some convincing reasons for the decrease in fatness of oyster from the 1990s, in Tongyeong and Geoje Bays, Korea.

Keywords: Pacific oyster, Fatness, Condition index, Edible portion yield, Tongyeong-Geoje Bay

서론

우리나라 굴 양식의 최초 기록은 조선시대 공납(貢納)으로 제출해야하는 자연산 굴의 부족분을 채우기 위한 보조수단으로 시작한 원시적 송지법에 관한 것으로 세종실록지리지에 기술되어 있다(Bae, 1985). 산업화를 위한 체계적인 굴 양식 활동의 시작은 1923년 경남 가덕도에서 실시된 시험어장이라고 할 수 있다(Bae, 1985). 이후 굴양식 산업은 1960년대까지 투석식, 송지식, 말목식 등 소극적인 양식 방법으로 생산이 이루어지다가 1969년 남해안을 중심으로 수하식 양식방법의 보급으로

대량생산의 기틀이 확립되면서 비약적인 발전을 하였다(NIFS, 2012). 세계식량기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)의 수산양식통계(www.fao.org/fishery)에 의하면 우리나라 참굴 양식 생산량은 1950년 100톤(ton)을 시작으로, 1975년 10만톤을 초과하였으며, 2007년 처음으로 30만톤을 초과한 32만톤을 생산하였다. 2018년 우리나라 양식 굴의 연 생산량은 30만톤이며, 생산금액은 2천억원을 넘었으며, 50년 전 수하식 양식법이 보급되기 시작한 1970년과 비교하면 7-8배 증가한 생산량이다. 이는 전세계 참굴 생산량의 40%, 굴류 생산량의 약 6%를 차지하며, 우리나라 양식 총생

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 660. 8534 Fax: +82. 33. 661. 3923

E-mail address: jshim@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0434>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 434-444, August 2021

Received 2 July 2021; Revised 23 July 2021; Accepted 9 August 2021

저자 직위: 심정희(연구사), 이상준(연구사), 구준호(연구사), 정래홍(연구관)

산량의 13.5%와 생산금액의 약 7%를 각각 차지하여, 우리나라 수산양식산업에 중요한 위치를 차지하고 있다.

우리나라 굴 양식 방식은 수하식과 바닥식(투석식)으로 양분되나, 면허건수(2018년 기준)는 각각 1,095건과 193건이며, 면허면적은 각각 5,548 ha와 1,627 ha로 수하식 비중이 훨씬 높다. 바닥식 양식은 간만의 차이가 큰 서해안에서 많이 적용하는 방식이며 바닥식 양식의 70%가 전라남도에 위치하고 있다. 경상남도를 포함하는 남해안에는 수하식 양식이 주로 실시되며 (98% 이상), 이는 전국 수하식의 약 62%를 차지하는 비율이다. 경상남도 양식 굴 생산량은 45년 동안(1970-2014년) 약 10배 증가하였으며, 전국 생산량의 64-92% (25년 평균 82.4%)를 차지하였으며, 최근 5년간은 평균 약 90%를 차지하였다.

이처럼 수하식 양식이 보급된 1970년부터 현재까지 굴 양식업은 많은 어려움을 겪으며 성장 발달해왔는데, 그 중에서도 대량폐사와 장기적인 비만도(수율)감소가 어업인에게는 가장 큰 문제일 것으로 생각된다. 1980-1990년대 굴 산업이 폭발적으로 성장하면서, 밀식에 의한 환경악화와 적조발생 등으로 대량폐사, 비만도 감소 등의 문제가 지속되며 현재까지 영향을 미치고 있다(SSFSI, 2017). 적조, 빈산소, 질병발생 등에 의한 대량폐사에 대한 연구는 그 원인과 사례가 많이 소개가 되었고, 최근 들어 수질 개선 등으로 그 발생 빈도가 감소하는 추세이다. 굴의 비만도에 대한 연구는 수하식 양식초기에 성장률과 생산성 평가를 위해 수행된 사례가 있고(Yoo and Yoo, 1973; Kim, 1980) 그 이후에는 양식 환경이나 위생, 종묘생산, 발생 및 생리 등의 연구에서 부수적으로 측정되어(Bae and Han, 1998; Lee et al., 2008), 비만도에 대한 장기변화 및 해역별 특성 등에 대한 연구 결과가 부족한 실정이다. 한편, 굴 양식 현장의 어업인들은 생산성 및 이익과 직결되는 비만도 감소에 관한 고충을 이야기하고 있다[개인적인 토론(personal communication)].

“비만도”는 사전적으로는 “살이 찌서 몸이 뚱뚱한 정도(body mass index, BMI; body fat percentage, BFP)”라 정의되며, 굴을 비롯한 패류 생태학에 적용될 때는 패류의 가식부(육중량)가 얼마나 알찬가를 평가하는 용어로 사용되며 이는 양식 순생산량과 시장 상품성에 직결되는 중요한 인자이다. 굴의 비

만도를 평가하는 방법에는 현장에서 주로 사용하는 수율과 형태/생태학 측면에서 사용하는 연체부지수, 비만지수, condition index (CI) 등이 있다 (Table 1). 수율은 굴의 총중량에 대한 육중량의 비율로 계산하며, 비만지수는 중량법의 단점을 보완하기 위해서 패각의 부피나 길이에 따른 육중량의 무게 비율로 계산하며(Park, 2003), CI는 건조육중량과 패각중량 또는 생육중량과의 비율로 계산한다(Abbe and Albright, 2003; Kim et al., 2013; Lim et al., 2014). 한편, 현장에서 많이 사용되는 용어이지만, 과학적인 의미 전달이 명확하지 못한 수율을 대신하여 연체부지수라 표현하는 경우도 있어(Kim et al., 2012; Lim et al., 2012), 이에 대한 용어 정립이 필요할 것으로 생각된다. Park (2003)은 가막만에서 약 1년 동안(7회) 측정된 굴 수율과 패각의 부피로 측정된 비만지수 사이에 높은 양의 선형상관성($r=0.8485$)을 보였다고 하였다. 이처럼 굴의 비만도를 측정하기 위해 연구목적에 따라 습중량, 건중량, 패각 형태/부피 등의 다양한 인자와 산술식으로 계산하고 있으나, 인자 간 서로 비교 가능하며 그 분포 경향이 크게 다르지 않을 것으로 판단된다. 일반적으로 굴은 수온, 용존산소, 해류, 먹이조건 등의 다양한 환경 요인에 영향을 받으며, 그 결과 성장율, 대사율, 비만도 등의 생체/생리 특성으로 표현된다(Brown and Hartwick, 1988; Choi et al., 1997; Kobayashi et al., 1997; Kang et al., 2000; Park and Choi, 2002). 특히, 이때패류의 비만도는 먹이생물의 양과 질에 의해 일차적으로 조절되며, 관련 연구결과는 다수 보고된 바 있다(Brown and Hartwick, 1988; Choi et al., 1997; Bae and Han, 1998; Jeong et al., 1999; Oh et al., 2002; Park et al., 2013).

본 논문은 비만도를 측정하는 인자 중 가장 자료가 많고 오랜 기간 사용되어온 수율을 이용하여, 경상남도 통영과 거제를 중심으로 수하연방식으로 생산된 양식 굴의 비만도에 대한 장기적인 경향을 평가하고 그 변동 요인을 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

양식 굴 생산량과 면적 등에 대한 통계는 국가통계포털(KO-

Table 1. Technical terms and equations for describing oyster *Crassostrea gigas* fatness

Term	Equation	Source
Condition index	$[(\text{dry tissue weight})/(\text{whole wet weight-dry shell weight})] \times 100$	Abbe and Albright (2003)
	$(\text{dry tissue weight}/\text{dry shell weight}) \times 100$	Kim et al. (2013) Lim et al. (2014)
	$(\text{dry tissue weight}/\text{internal cavity volume}) \times 100$	Lawrence and Scott (1982)
Suyul	(Edible portion weight/total weight) × 100	(common name in Korean)
Edible portion yield		Park (2003)
Soft-part index (fatness)	(flesh portion weight/total weight) × 100	Kim et al. (2012) Lim et al. (2012)
Coefficient of fatness	$[\text{Edible portion weight}/(\text{shell height} \times \text{shell length} \times \text{shell width})] \times 1000$	Park (2003)

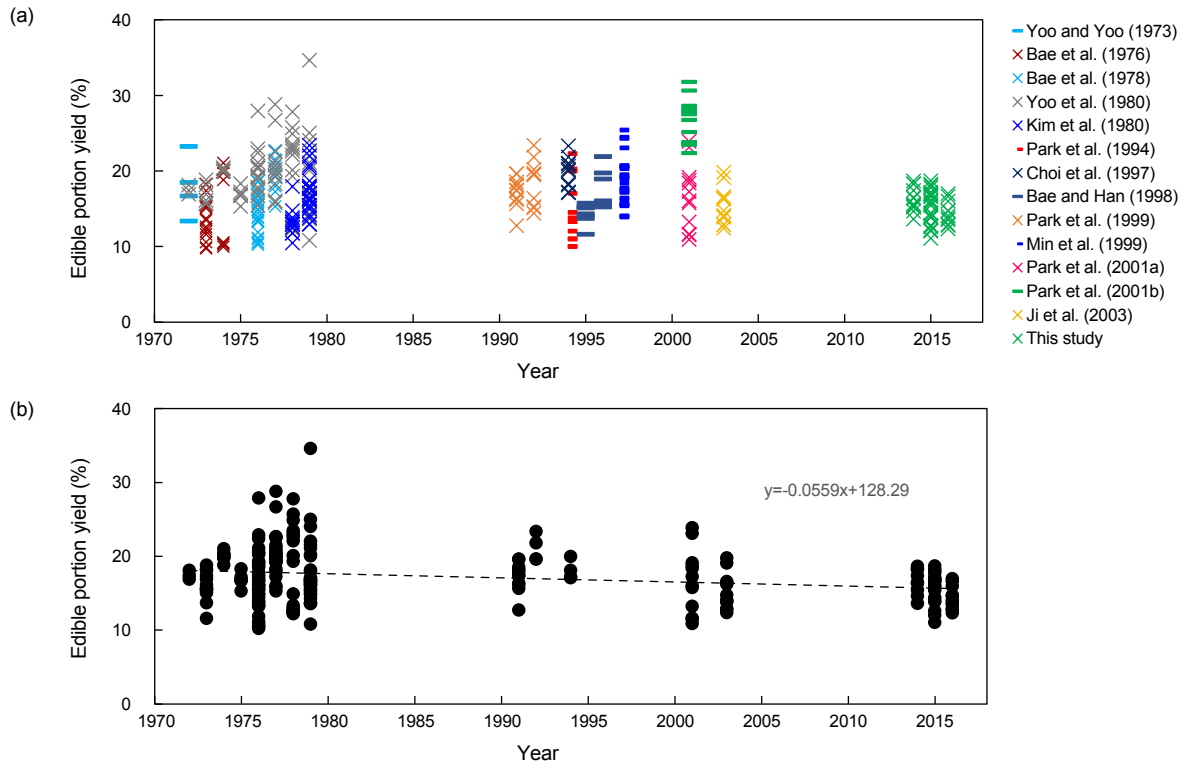


Fig. 1. Temporal distributions of edible portion yield of pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured by submerged longline method around Gyeongsangnam-do, southeastern coast of Korea (a) and specially cultured at Tongyeong and Geoje Bays, expressed “x” at (a) (b).

SIS, 2021)의 자료와 과거 문헌자료를 활용하였다. 해양수질환경자료는 해양환경측정망 자료 중 통영(정점4)과 거제(정점1)의 결과를 활용하였다(MEIS, 2021) (Table 2). 2014-2016년 통영과 거제 양식장에서 시기별로 굴을 수층별(1 m, 3 m, 5 m)로 30-50개체씩 채집하여, 개체별 중량과 가식부의 중량을 측정하고, 그 외 각고, 각장 등의 생체 특질도 측정하였다. 각 양식장의 굴 채집해역에서 CTD (SBE 19 plus model; Sea-Bird Scientific, Bellevue, WA, USA)로 수온, 염분 등의 수층 분포를 관측하고, 표층과 저층수를 채집하여 MOMAF (2013)에 근거하여 영양염류, 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD), 엽록소-a 등을 분석하였다.

결 과

1970년부터 최근까지 양식 굴 비만도 변화

경상남도 전체해역에서 70년대부터 최근까지 학술 문헌에 발표된 수하식 양식 굴의 수율 자료를 수하시기나 수층 구분 없이 연도별로 나타내었다(Fig. 1a). 굴 수율을 측정하고 발표한 문헌은 우리나라 굴양식 역사에 비해 매우 적었으며, 그나마도 수하식 양식의 해역별 생산성 등을 평가하는 연구가 1970년대에 집중 실시되었으며 굴 산업의 성숙기 이후부터는 비만도에

대한 직접적인 연구보다 폐사 등의 원인구명, 생리적 특성, 인공종묘 생산 또는 유전학 등의 연구에 보조 자료 수준으로 보고되었다. Fig. 1a에 도시된 수율 자료에는 통영과 거제해역에서 측정된 자료가 대부분이며, 그 외 지역으로는 1972년 남해군과 고성군, 1995-1996년 고성만, 1997년 진해만 그리고 2001년 남해군과 고흥군의 자료가 있었다(Yoo and Yoo, 1973; Bae and Han, 1998; Min et al., 1999; Park et al., 2001b). Yoo and Yoo (1973)는 1972년 10월 남해군과 고성군에서 산지별 특성을 파악하기 위해 측정한 수율이며, 이는 수하식 양식 초창기의 중요한 연구기록이다. 한편 2001년 남해군과 고흥군에서 측정된 수율이 평균 28%로 매우 높았는데, 이는 그해 8-10월에 발생한 폐사 원인 구명을 위해 치폐의 수율을 측정하여 높았던 것으로 파악된다(Park et al., 2001b). 경상남도 수하식 양식 굴의 비만도에 대한 장기 경향을 살피기 위해, 해역 별 환경 차이에 따른 영향을 최소화하고 과거자료와의 비교를 통한 자료의 연속성을 확보하기 위해, 예로부터 대표적인 굴 생산지로 유명한 통영과 거제만에 대해 선별하여 장기 경향을 살펴보고자 한다(Fig. 1b).

Han (2005)은 굴 생산량 변화를 바탕으로 수하식 굴 양식업의 발전 단계를 다섯 개로 구분하였다: 1960-1969년 도입단계, 1970-1979년 확대·보급단계, 1980-1989년 성숙단계, 1990-

1999년 정체기단계, 2000-2004년 고품질 지향단계. 2004년 이후부터 최근의 시기도 개체굴 양식 도입 등의 양식 기술 다변화가 활발하므로 고품질 지향단계에 포함하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서 인용된 자료들을 Han (2005) 이 구분한 굴 양식 발전 단계에 근거하여 다음과 같이 구분하여 서술하고자 한다: 1) 1970-1989년(확대 및 성숙 시기), 2) 1990-2004년(정체 및 고품질 지향 시기), 3) 2005-2015년[고품질 지향 시기(계속)].

1970년대 굴 수율 범위는 10.2-34.6%, 평균은 17.8%였으며, 4-5월에 평균 20% 이상으로 가장 높았으며, 6-8월에 14-15%로 낮았다(Bae et al., 1976; Bae et al., 1978; Kim et al., 1980; Yoo et al., 1980). 굴 생산과 소비가 활발한 12월을 기준으로 비교하면, 77년과 79년이 20% 이상으로 높았으며, 78년이 13.4%로 가장 낮았으며, 72-79년 동안의 12월 평균수율로 계산한 1970년대 평균은 17.9%이었다. 다음으로 1월을 기준으로 비교하면, 78년이 22.5%로 가장 높았고, 79년이 14.6%로 낮았으며, 73-79년 동안 1월 평균수율의 평균은 약 18.3%이었다. 이처럼 수율이 높았던 시기(77년 12월-78년 1월)와 낮은 시기(78년 12월-79년 1월)에 약 7-8%의 큰 차이를 나타내었다.

1990년대 굴 수율값은 Park et al. (1999)과 Choi et al. (1997)에서 발췌한 것으로 Park et al. (1999)는 1991년 2월부터 1992년 4월까지 매 월 수율을 측정하였으나, Choi et al. (1997)은 1994년 1월-4월 수율만 있었다. 통영시 인평어장에서 참굴의 산란기인 8월에 수율이 12.9%로 가장 낮았고, 다음해 4월에 24.1%로 가장 높았다고 보고하였다(Park et al., 1999). Choi et al. (1997)은 한산-거제만에서 1-4월 조사에서 3월의 수율이 비교적 높은 것으로 보고하였으며, 낮은 부영양도와 밀식으로 자란만과 진주만에 비해 수율이 낮았다고 평가하였다. 그리고 Park et al. (2001a)와 Ji et al. (2003)은 거제만에서 2001년과 2003년 1월부터 12월까지 수율을 측정하였다. 이에 의하면 2001년은 4-5월에 23%이상으로 높았고, 8-10월에 약 11%로 낮았으며, 2003년은 5-6월에 19%이상으로 높았고, 8-10월에 약 12.5%로 낮았다. 한편 2001년과 2003년을 비교하면, 2001년은 성숙기와 산란기의 수율 차이가 매우 크게(약 13%) 나타났으나 이에 비해 2003년은 그 차이가 7.4%로 크지 않았다. 굴 생산과 소비가 활발한 1월을 기준으로 비교하면, 1992년이 19.6%로 높았고, 2003년이 16.4%로 낮았으며, 1992년, 1994년, 2001년 그리고 2003년의 1월 수율 평균은 약 17.96%이었다.

2014년-2016년에 통영과 거제양식장에서 측정한 수율은 2-6

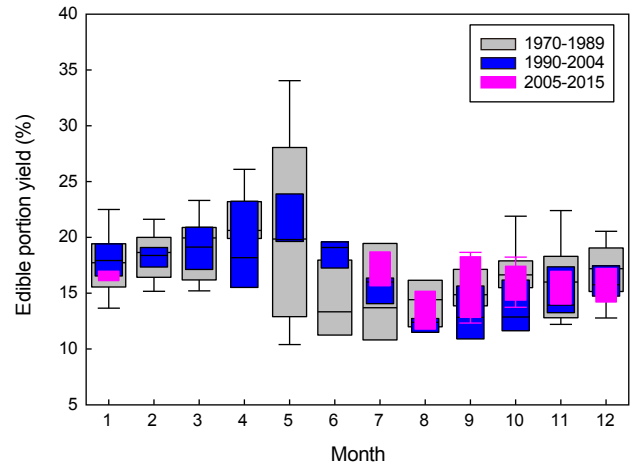


Fig. 2. Monthly mean variations of edible portion yield of Pacific oyster *Crassostrea gigas* reared at Tongyeong and Geoje Bays categorized by years of 1970-1989, 1990-2004 and 2005-2015.

월 자료는 없지만, 산란기인 8-9월에 낮고 산란기 직전과 1월에 상대적으로 높았다. 2015년과 2016년의 1월 수율은 유사하였고, 평균은 16.6%이었다.

굴 양식은 일반적으로 8-9월 산란기를 거친 이후 가을-겨울에 성숙기에 도달하고 겨울-초봄에 완숙기/수확기인 일반적인 양식 주기를 가진다(NIFS, 2012). 따라서 굴의 비만도도 이러한 성장주기/양식주기에 따라 산란 이후에는 급감하고, 치패시기와 수확시기에는 상대적으로 비만도가 높은 것이 일반적이다. 앞서 언급한 3개 양식산업 발전단계에 대해 각각 월별 수율 범위와 평균 등을 박스그림으로 도시하였다(Fig. 2). 1970-1989년 수율의 월 평균은 앞서 언급하였듯이 4월에 가장 높았으나, 수율의 최대치는 5월에 나타났으며 5월에는 최고치와 최저치의 차이가 가장 큰 달이었다. 이같이 5월은 수확의 마지막 달이면서 치패를 수하하는 시기로, 그 해의 상황에 따라 5월에 마지막 수확을 했을 수도 있고 또는 양성을 시작했을 수도 있기 때문에 최대치와 최소치의 차이가 컸던 것으로 파악된다. 1970-1989년에 비해 1990-2004년대는 1-3월 사이의 수율은 비슷하였고, 5-7월은 오히려 높았던 반면 8월부터 12월 동안의 수율은 현저히 낮은 것으로 나타났다. 5월부터 9월은 치패시기와 성장기 그리고 산란기로서 시기에 따라 조금씩 다르고, 성장기의 경우 수율변화가 급격하여 그러한 편차는 크다고 할 수 있지만, 10월부터는 본격적인 발달기와 수확기이므로, 이 시기의 수율이

Table 2. Information on collected data for analyzing long-term change of oyster *Crassostrea gigas* fatness in Korea

Data species	Span of time	Source
Edible portion yield of Pacific oyster	1970-2015	15 literatures in Fig.1 & this study
Statistics for oyster aquaculture	1970-2015	KOSIS (2021)
Environment parameters at Tongyeong and Geoje	1997-2015	MEIS (2021)

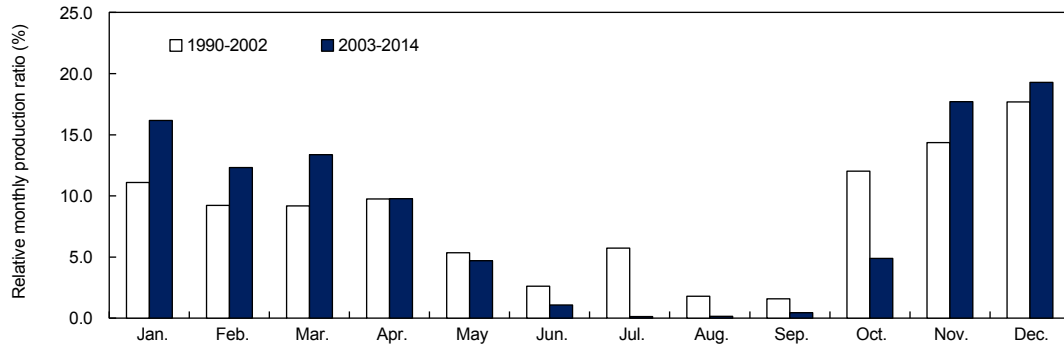


Fig. 3. Relative monthly production of pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Gyeongsangnam-do province, categorized by years of 1990-2002 and 2003-2014.

낮은 것은 굴의 상품가치 하락으로 이어져 어민들의 수익 감소와 직결된다. 한편 2005-2015년대의 경우는 대부분의 시기에 1970-1989년대보다 수율이 낮았으며, 1990-2004년대에 비해서도 12월과 1월 수율이 낮았고, 특히 1월 수율은 1970년대 수율의 2-3분위에 속하는 범위였으며, 1990-2004년대 평균보다 약 10% 감소하였다. 이처럼 1970-1989년대에서 1990-2004년대를 거쳐 2010년로 갈수록 굴의 주 수확 시기인 겨울의 수율이 점점 더 감소한 것으로 나타났다.

통계청에서 제공한 월별 생산량(1990-2014년) 변화를 살펴보면, 양식 굴의 주된 생산시기는 11월-다음해 3월이며, 이 시기의 생산량이 연간 생산량의 70%를 차지하며, 특히 11월-다음해 1월 생산량이 약 50%를 차지하였다. 한편, 1990년대와 2000년대의 월별 생산비율을 비교하면(Fig. 3), 특징적으로 1월 생산비율이 최근 들어 상승하였으며, 반면 7월과 10월의 생산비율이 감소하였다. 특히 1990년대 10월은 10% 이상의 생산량을 보였으나, 최근에는 5%에도 미치지 못하였다. 이는 최근 굴 생산이 겨울(11-1월)에 집중된다는 것을 의미하며, 이는 다른 계절보다 겨울에 비만도 감소가 더욱 심하게 나타난 결과와 상관이 있을 것으로 파악된다.

굴 수율은 양성기간과 환경, 생리주기 등에 영향을 받지만, 1970년대부터 현재까지의 수율에 대해 경향을 살펴보면, 지속

적으로 감소하는 경향을 파악할 수 있었으며, 월에 따른 차이를 배제하기 위하여 수확(생산)시기에 한정하여도 1970년대부터 최근으로 갈수록 수율은 전반적으로 감소하는 경향이였다(Table 3). 또한 1970년대는 수율이 높을 때와 낮을 때의 편차가 큰 반면, 최근에 가까울수록 차이가 크지 않은 것으로 파악되었다.

Park (2003)은 가막만에서 약 1년 조사한 결과, 굴의 수율, 비만도, 가식부중량 등을 바탕으로, 12월부터 이듬해 4월 사이에 굴 양성에 적합하다고 보고하였다. 한편, 가식부중량은 2월에 15.7 g으로 가장 높았으며, 수율은 4월에 27.8%로 가장 높았고, 비만도지수는 양성초기인 8월과 10월에 0.36으로 가장 높았으며, 그 다음으로는 이듬해 4월에 0.30으로 높았다고 보고하였다.

여러 문헌과 본 연구에서 얻은 1970-2015년 기간의 수율 자료를 바탕으로 통계적 유의성은 없으나, 추세의 경향을 살펴본 결과, 1년에 수율이 약 0.0559% 낮아져서, 약 45년 동안 2.5%가 감소한 것으로 나타났다(Fig. 1, Table 3). 그 결과, 1990년과 2015년에 계산된 수율은 각각 17.05%와 15.65%였다. 1970-2015년 기간 중에도 굴 비만도의 감소 또는 변화가 일정하지 않을 수도 있으므로, 1970-1990년 그리고 1990-2015년으로 구분하여 경향을 살펴보았으며 또한, 입력 자료 중 주 수확기(12-1월) 자료만 사용하여 마찬가지로 경향을 살펴보았다(Table 3).

Table 3. Calculated edible portion yield of oyster *Crassostrea gigas* derived from the linear relationships of collected data categorized by 3 periods and 2 seasons

Data covered Month	Category for trend	Y=ax+b		Calculated edible portion yield		
		a	b	1970	1990	2015
Jan. - Dec. (entire year)	1970-2015	-0.0559	128.29	18.17	17.05	15.65
	1970-1990	-0.0445	105.75	18.09	17.20	-
	1990-2015	-0.1042	225.35	-	17.99	15.39
Dec.-Jan. (productive period)	1970-2015	-0.0399	96.42	17.82	17.02	16.02
	1970-1990	-0.0379	92.45	17.79	17.03	-
	1990-2015	-0.083	183.15	-	17.98	15.91

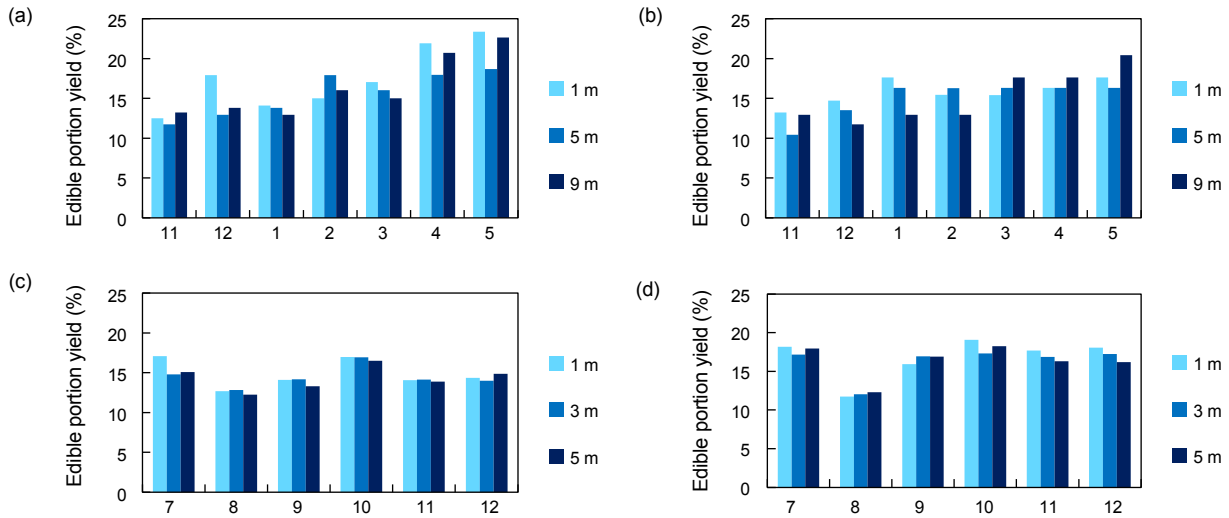


Fig. 4. Monthly variations of edible portion yield of pacific oyster *Crassostrea gigas* reared at each depth at Choobong (Tongyeong) in 1979 (a), Ergu (Geoje) in 1978 (b), Tongyeong in 2015 (c), Geoje in 2015 (d). Data in (a) and (b) redrew from Kim et al. (1980).

그 결과 1970-1990년 보다는 1990-2015년 기간의 감소 비율이 더 큰 것으로 나타났다. 예를 들면, 전 기간을 대상으로 할 때, 2015년 계산된 수율은 15.65%였으나 1990-2015년 기간만 반영하였을 때는 15.39%로 나타났다. 한편, 수확기만 고려하였을 때도 2015년 수율은 각각 16.02%와 15.91%로 나타났다. 이는 결국 1970-1990년 기간보다 1990-2015년 기간에 수율 감소가 더 컸다는 것을 의미한다.

수층별 양식 굴 비만도 변화

1978-1979년 통영(추봉)과 거제(어구)에서 수층별(1 m, 5 m, 9 m) 측정된 굴 수율 자료를(Kim et al., 1980) 2015년 통영과 거제에서 수층별(1 m, 3 m, 5 m) 관측한 자료와 비교하였다(Fig. 4). 1978년 어구의 경우는 11월에서 2월까지의 표층에서 저층으로 갈수록 굴 수율이 감소하는 것으로 나타났으나, 3월부터는 표층에서 저층으로 갈수록 오히려 굴 수율이 높아지는 정반대의 경향을 나타내었다(Fig. 4b). 1979년 추봉의 경우는 2월을 제외하고는 표층이 중저층보다는 높은 경향을 보였으나, 11-12월과 4-5월에는 중층보다 저층이 높은 경향을 나타내었다(Fig. 4a). 한편 2월은 중층이 가장 높은 경향을 보였다. 이처럼 어구는 겨울에는 표층 굴의 수율이 높고 봄이 될수록 저층 굴의 수율이 높은 뚜렷한 경향을 보인 반면 추봉은 전반적으로 표층의 굴이 높으나, 중층과 저층 사이의 수율 차이는 시기에 따라 변화했다.

2015년 통영과 거제에서 수층별 굴 수율을 측정하였다. 통영은 전반적으로 표층과 중층이 높고 저층이 낮은 경향을 나타내었으며, 12월에만 저층이 표·중층 보다 높게 나타났다(Fig. 4c). 거제는 전반적으로 표층이 중·저층 보다 높은 경향을 보였으나, 산란직후(8-9월)에는 중·저층이 오히려 높은 수율을 보였다

(Fig. 4d). 이처럼 관측 월과 수심이 다르지만, 1970년대와 2015년도에 대해 수층별 굴 수율 차이를 살펴본 결과, 1970년대에 비해 최근에는 수층별 수율 차이가 적었으며, 이 같은 경향은 거제보다 통영해역에서 더욱 뚜렷하게 나타났다.

고 찰

수하식 굴 양식 산업이 본격적으로 시작한 1970년대 초 경상남도 굴 양식 면적은 급격히 상승하였다(Fig. 5). 1971-1973년 사이 거의 2배에 가깝게 양식 면적이 증가하여 1973년 4400 ha에 달하였으며, 1980년대까지는 4000 ha 이상을 유지하였다가 1990년대에는 3600-3700 ha로 감소하였고(Choi et al., 1997; Park, 1998; Jin, 2002), 2000년 이후에도 조금씩 감소하여 최근에는(2014-2018년) 3500±20 ha 범위로 나타났다. 이처럼 수하식 양식이 도입된 초기에 4000 ha 이상 최대 면적을 기록한 후 차츰 감소하는 경향이었으나, 1990년 중반부터 최근까지는 3500-3700 ha로 비교적 일정하게 유지되었다.

통계청에서는 2004년부터 수하식과 바다식 면적을 구분하여 제공하고 있으며, 1970-2003년 기간 자료는 안타깝게도 확인할 수 없었으나, 수하식이 처음 도입된 1970년대에는 기존의 바다식과 혼재하였을 가능성이 크지만 1980년대부터는 지금과 거의 유사한 수준으로 수하식이 성행하였을 것으로 추정된다.

이를 바탕으로 경상남도 면적당 면적당 양식 굴 생산량을 계산해보면, 1970년대 초에는 면적당 생산량이 12-15톤/ha 수준이었으나, 1980-1990년대에는 36-42톤/ha로 상승하였고, 굴 생산량이 20만 톤 이상으로 급격히 증가한 2006년부터는 평균 60-77톤/ha (평균 68.5톤/ha)으로 약 2배 상승하였다. 이는 2000년대 들어 인공종묘 생산 등으로 안정적인 종묘수급, 양식

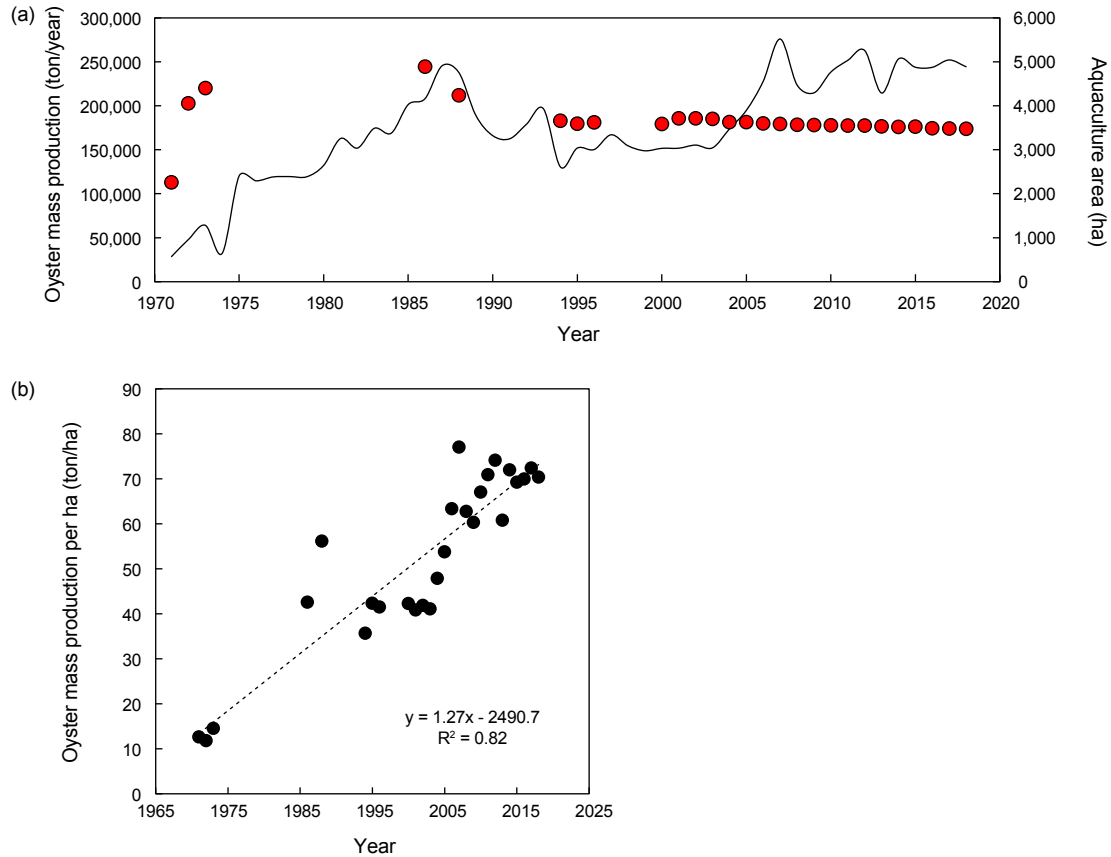


Fig. 5. Temporal changes of mass production (line) and permitted area (circle) for farming Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Gyeongsangnam-do province (a) and trend in mass production per unit ha (b).

기술의 발달, 대량 폐사 감소 등으로 인해 굴 양식산업 초기와 성숙기에 비해 안정적인 생산이 유지된 결과로 파악된다.

이처럼 2000년대 중반부터 단위 면적당 굴 생산량이 급격히 상승하였다는 것은 환경이 크게 변하지 않았다는 가정하에, 먹이 공급량은 일정한데 소비자가 많이 증가하였다는 것으로, 결국 개체당 먹이가용량이 줄었음을 의미한다. 여과섭식자인 굴은 해수를 섭취하여 그 안에 있는 식물플랑크톤을 비롯한 유기물 성분을 걸러서 양분으로 이용한다. 굴 개체당 해수 여과량은 6-9월 각장이 1-5 cm일 때 약 $5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 그리고 9-12월 각장이 5-8 cm로 성장한 개체는 $15 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 라고 하며, 성체의 경우 먹이 농도에 크게 상관없이 개체당 $0.048\text{-}2.38 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 의 입자여과율을 보인다고 하였다(Yoo, 2000). 또한 Yoo (2000)는 양식장의 해수 유동에 따라 신선한 해수(먹이생물이 상대적으로 풍부한)를 접하는 외측에 있는 개체가 내측에 있는 개체보다 대체적으로 성장이 빠르고 육중량이 높았다고 하였다. 또한, 부착 기질 당 굴의 밀도를 달리하여 약 7개월 양성하였을 때, 높은 밀도(부착 기질 당 50개체)에서 성장한 개체의 육중량이 낮은 밀도(부착 기질 당 10개체)에서 성장한 개체보다 약 40% 낮았다(Yoo,

2000). 이처럼 주변 해수를 여과하여 양분을 섭취하고 성장하는 이때때류는 여과할 해수에 포함된 먹이 농도가 이들의 성장과 비만도를 결정짓는 중요한 요소이며, 앞선 내용에서 양성시설에서 굴 개체의 위치나 부착 밀도에 따라 성장이 현저히 달라 나타나는 것은 먹이생물 부족으로 비만도가 낮아진 당연한 결과라 할 수 있다. 마찬가지로 다른 환경이 동일하다는 가정하에 2000년 중반을 기점으로 단위 면적당 생산량이 급격히 증가한 것은 굴의 비만도 감소로 이어질 수 밖에 없는 상황이라 할 수 있다. 이 같은 결과는 Table 3에 나타났듯이, 1970-1990년 기간보다 1990-2015년 기간의 수율이 더 많이 감소한 결과와도 일치한다고 할 수 있다.

Cho et al. (2012)는 거제만에 대해 서식적합도와 생태지표를 이용하여 적정입식밀도를 산정하였는데, 현 입식밀도보다 거제만은 40%, 한산만은 60%를 저감해야 생태학적 환경수용력을 만족하는 것으로 평가하였다. 또한 같은 해역을 대상으로 2012-2014년 해수유동모델, 생태계 모델 그리고 양식생물 성장모델을 전부 반영한 어장환경수용력을 산정한 결과, 당시 생산되는 굴(육중량 약 5.33 g)의 상품가치를 높이기 위해서(육중

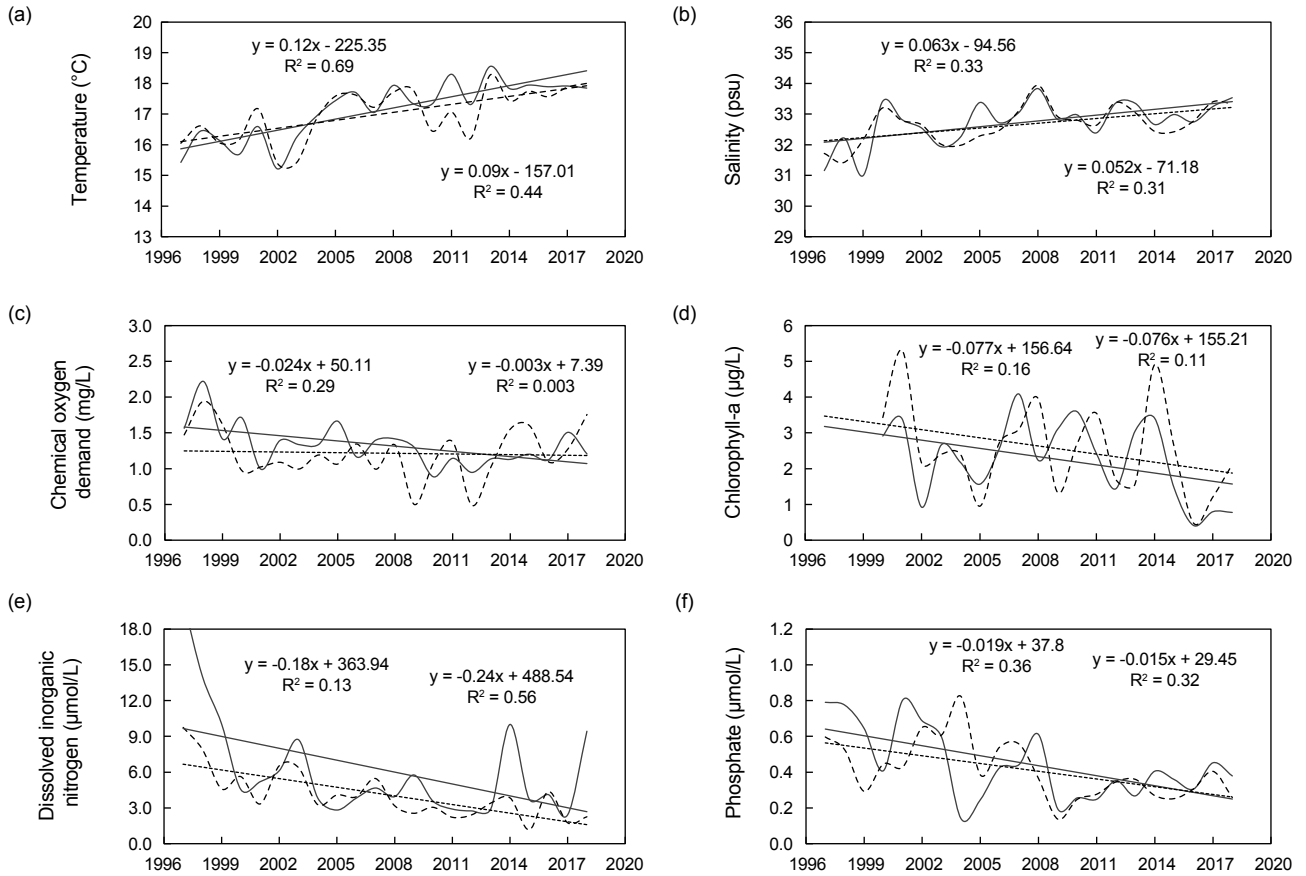


Fig. 6. Temporal variations of temperature (a), salinity (b), COD (c), Chl-a (d), DIN (e) and phosphate (f) at Tongyeong St.4 (solid line) and Geoje St.1 (dashed line) observed on Marine Environment Monitoring in Korea by Ministry of Oceans and Fisheries (MEIS, 2021). COD, Chemical Oxygen Demand; Chl-a, Chlorophyll-a; DIN, Dissolved inorganic nitrogen.

량 약 6.5 g) 초기 입식량을 약 25% 감소해야 한다고 평가하였다(NIFS, 2014). 이처럼 단위면적당 입식량의 증가 등으로 이에 비례하여 먹이생물량이 더 공급되어야 하지만, 그러한 환경이 구현되지 못하여 굴의 비만도가 낮아졌을 것으로 파악된다.

국가해양환경측정망(<https://meis.go.kr>)에서 관측한 통영(통영연안 정점4)과 거제(거제도남안 정점1)의 1997년부터 최근까지 수온, 염분, 영양염류 등을 비롯한 수질인자의 연변화를 살펴보았다(Fig. 6). 통영의 수온은 연간 약 0.12°C 상승하였으며($R^2=0.69$), 거제는 약 0.09°C 상승하여($R^2=0.44$), 약 22년 동안 통영은 2.65°C, 거제는 1.91°C 상승한 것으로 파악된다(Fig. 6a). 한편 1968-2018년 동안의 우리나라 근해 정선조사에서는 표층 수온 평균이 1.23°C/51 year 속도로 상승하였으며, 해역별로는 남해가 동해 및 서해보다 낮아 1.03°C/51 year 속도로 상승하였다고 보고하였다(NIFS, 2019). 이처럼 정선조사에서 관측한 근해보다 측정망에서 관측한 연안의 수온 상승이 더 빨랐는데, 이는 순환과 혼합이 제한되고 지역기반의 기상 및 육지 영향 등과 같은 연안 특성에 의해 수온 상승이 더 극적으로 나타

난 것으로 파악된다. Kang et al. (2012)은 국가간기후변화협약체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서 제시한 온실가스 배출시나리오(special report on emission scenarios, SRES) 중 A1B (2100년 경 대기 이산화탄소농도가 약 700 ppm에 도달할 것으로 예상하는 시나리오)를 적용한 지구시스템 모형을 적용하여, 생물그룹별 생체량변화를 평가하였다. 적용한 시스템에서는 평균온도가 2.8°C 증가하고 식물플랑크톤의 생체량은 약 10%로 감소하는 조건이었으며, 이때 이매패류는 약 3.9% 생체량 감소를 보인다는 결과를 제시하였다(Kang et al., 2012). Choi and Choi (2014)는 앞선 조건을 적용하였을 때, 2100년 굴 생산량 감소에 따라 생산이익은 1 ha 당 2,513만원 감소한다고 보고하였다. 앞서 1970년대부터 2010년대 동안 통영과 거제 연안 굴 양식해역의 수온은 기후변화 시나리오와 거의 비슷한 수준으로 상승한 것을 알 수 있으며, 따라서 일차생산의 감소로 굴 생체량도 감소하였을 것으로 추정할 수 있다.

염분의 연평균도 통영과 거제정점에서 유의하게 상승하는 경

Table 4. Pearson correlations between environmental parameters and edible portion yield of oyster *Crassostrea gigas* reared at Geoje Bay, Korea

Edible portion yield	Mean for Dec. - Jan.	Jan.	Mean for Aug. - Sep.	Aug.
	With values in Feb.		With values in Aug.	
Temperature (°C)	0.38	-0.39	-0.04	-0.46
Salinity (psu)	-0.68	-1.00*	0.95	0.73
Phosphate ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	0.93	0.92	0.67	0.92

*, $P < 0.05$.

향으로, 1990년대 후반(1997-2000년)에는 통영과 거제 두 지역 모두 평균 32.12였으나, 2010년대 말(최근 4년, 2015-2018) 평균은 각각 33.13과 32.98이었다(Fig. 6b). 거제 정점1과 가까운 위치에서 1972-1978년 동안의 수온과 염분의 평균은 각각 16.25°C, 33.11이었다(Yoo et al., 1980). 수온은 거제1정점의 1990년대 말과 거의 유사한 반면, 염분은 2010년대 수준과 유사하였다. 따라서, 수온은 1990년대 이후 최근에 수온 상승이 더욱 급격한 반면, 염분은 ± 0.5 수준에서 변동하는 것으로 파악되었다.

해수 중 유기물 농도에 대한 간접 인자라 할 수 있는 COD 분포 경향을 살펴보면, 1990년 후반에는 통영과 거제에서 약 1.5 mg L^{-1} 이상의 농도를 보인 이후 차츰 감소하여, 통영은 1.0-1.5 mg L^{-1} 범위를 유지하고 있으나, 거제는 1 mg L^{-1} 이하의 낮은 농도와 1.5 mg L^{-1} 이상의 높은 값을 보이며 변화폭이 컸다(Fig. 6c). 식물플랑크톤 생체량에 대한 간접지시자라 할 수 있는 엽록소-a의 농도도 연간 변화폭이 크지만 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6d). 엽록소-a 농도는 다른 성분보다 연간 변화폭이 크고 특정 계절의 값이 지배적으로 나타날 가능성이 있음에도 불구하고, 최근 5년 연평균은 1-2 $\mu\text{g L}^{-1}$ 범위로 매우 낮게 유지되었다. 그러한 가능성을 뒷받침 할 수 있는 것이, 식물플랑크톤의 에너지대사에 필수적인 영양염류의 농도도 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6e and 6f). 두 해역에서 용존무기질소와 용존무기인의 농도가 20년 동안 유의미하게 감소하는 것으로 나타났다. 1990년대 말과 2010년대 말 평균 농도를 비교하면, 용존무기질소는 두 해역 표층에서 50% 이상 감소한 것으로 나타났으며, 용존무기인도 35-45% 감소한 것으로 나타났다. 거제1정점 인근에서 1972-1978년 평균 용존무기인 농도는 약 0.65 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 였는데(Yoo et al., 1980), 이를 기준으로 하면 1990년 후반은 30% 감소, 2010년 후반에는 53% 감소한 것으로 나타났다. 동물플랑크톤의 생체량도 1979년 4월과 11월은 1,000-2,000 indiv./m^3 범위로 높았으며 6월과 8월만 200 indiv./m^3 이하로 낮았던 반면(Yoo et al., 1980), 본 연구에서 2014-2015년 거제만에서 측정된 동물플랑크톤은 14-1764 indiv./m^3 범위였으며, 최대값을 보인 2015년 7월을 제외하면 대부분의 시기에 300 indiv./m^3 이하로 낮았으며, 특히 굴이 성체로 성장하고 상품가치를 결정짓는 10-12월 시기에는 50

indiv./m^3 이하로 매우 낮았다. 1970년대부터 1990년대 사이는 연안의 환경변화가 크지 않았으나, 1990년대 후반부터 최근까지 수온은 높아지고, 일차생산의 기초가 되는 영양염류는 감소하여 그 결과 엽록소-a 및 COD 농도도 감소하는 경향으로 환경이 변하며, 이는 이매패류의 먹이가 되는 입자성 유기물 생성이 어려워지는 환경이 되었다는 것을 의미한다.

1970년대부터의 해양환경변화에 따른 굴 수율변화와의 상관성을 살펴보기 위하여, Yoo et al. (1980)이 보고한 1972-1978년 환경인자평균과 국가해양환경측정망 자료(1997-2005년 평균, 2015-2018년 평균)를 활용하였다. Yoo et al. (1980)에 수록된 자료가 거제만에 한정되어, 거제도남안 1정점과 가장 유사한 정점을 선택하였으며, 환경인자도 수온, 염분, 인산염에 대해서만 2월과 8월 자료만 사용하였다. 이에 대응하는 굴 수율 자료도 앞선 토의에서 3개로 나눈 시기에 대해 평균하여, 12-1월 수율은 2월 환경자료와 8-9월 수율은 8월 환경자료와 각각 상관성을 살펴보았다(Table 4). 2월 염분이 높을수록 1월 수율이 감소하는 것으로 나타났으며($P < 0.05$), 이는 외해에서 유입되는 고염분의 수괴보다 연안의 저염분 수괴에 먹이생물이 더 높기 때문일 것으로 추정된다. 한편, 통계적 유의성은 보이지 않았으나, 수온이 높을수록 수율이 낮은 것으로 나타났으며 이는 하계에 더욱 뚜렷하였는데, Kang et al. (2012)이 온도가 증가할수록 식물플랑크톤의 생체량이 감소하여 이매패류의 생체량이 감소한다는 결과와 일치하는 결과였다. 또한 식물플랑크톤의 일차생산에 필수적인 인산염은 농도가 낮을수록 수율이 낮은 것으로 나타났으며, 하계와 동계에 모두 높은 상관성을 보였다.

결론적으로 1970년대부터 2015년 사이의 수하식 양식 굴의 비만도 변화를 살펴본 결과, 1970-1990년 보다 1990-2015년 기간의 수율 감소가 더 크게 나타났으며, 이 같은 감소를 유발하는 다양한 요인이 있을 것이나 그 중에서 다음 두가지가 가능성이 높을 것으로 판단된다: 1) 2000년대 중반부터 양식장 단위면적당 생산량의 증가로 인한 먹이 부족, 2) 기후변화, 주변 육상영향 등으로 수온/염분 상승과 영양염류 감소, 동-식물플랑크톤 생체량 감소 등과 같은 환경 변화.

사 사

이 논문은 2021년 국립수산물과학원 수산과학연구사업(동해 연안어업 및 환경생태 조사, R2021032)의 지원으로 수행된 연구입니다. 통영과 거제만 수하식 굴 양식장 현장조사에 도움을 주신 양식장 관계자분들께 감사드립니다.

References

- Abbe GR and Albright BW. 2003. An improvement to the determination of meat condition index for the eastern oysters, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791). *J Shellfish Res* 22, 747-752.

- Bae PA and Han CH. 1998. Effects of nursery environmental factors on the growth of pacific oyster *Crassostrea gigas*. Kor J Aquacult 11, 391-400.
- Bae PA, Kim JE, Kang PA and Kim Y. 1976. Studies on suspended culture of oyster *Crassostrea gigas* in the Korean coastal waters (III) on the growth rate of oyster depending on the environmental factors in each growing area. Bull Fish Res Dev Agency 15, 73-81.
- Bae PA, Pyen CK, Ko CS, Kim Y and Kang PA. 1978. Studies on suspended culture of oyster *Crassostrea gigas* in the Korean coastal waters (IV) on the environmental factors of oyster culturing farms and the growth rate of oysters. Bull Fish Res Dev Agency 20, 109-119.
- Bae SW. 1985. Development of oyster culture industry in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 18, 180-194.
- Brown JR and Hartwick EB. 1988. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the pacific oyster *Crassostrea gigas*. I. Absolute and allometric growth. Aquaculture 70, 231-251. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90099-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90099-3).
- Cho YS, Lee WC, Hong SJ, Kim HC, Kim JB and Park JH. 2012. Estimation of stocking density using habitat suitability index and ecological indicator for oyster farms in Geojehansan Bay. J Korean Soc Mar Environ Saf 18, 185-191. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2012.18.3.185>.
- Choi JD and Choi YJ. 2014. The economic feasibility analysis of grow out phase production of oyster farming by rising water temperature. Ocean Polar Res 36, 157-163. <https://doi.org/10.4217/OPR.2014.36.2.157>.
- Choi WJ, Chun YY, Park JH and Park YC. 1997. The influence of environmental characteristics on the fatness of pacific oyster *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay. Korean J Fish Aquat Sci 30, 794-803.
- Han SM. 2005. A study on the development process of the oyster hanging aquaculture. M.S. thesis, Graduate School of Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea.
- Jeong WG, Cho SM and Cho CH. 1999. Suspended time dependent meat weight increase of oysters *Crassostrea gigas*, in Pukman Bay, Korea. Korean J Malacol 15, 41-47.
- Ji YJ, Kim SY, Kim Y and Jo QT. 2003. Study on environmental adaptation of aqua-cultured biomass. NIFS report TR-2003-AQ-005, NIFS, Busan, Korea, 55-70.
- Jin SD. 2002. A study on the management and market of the oyster aquaculture industry in Korea. Ph.D. Dissertation, Graduate School of Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kang CK, Park MS, Lee PY, Choi WJ and Lee WC. 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity and biochemical composition of the pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. J Shellfish Res 19, 771-778.
- Kang YH, Ju SJ and Park YG. 2012. Predicting impacts of climate change on Sinjido marine food web. Ocean Polar Res 34, 239-251. <https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.2.239>.
- Kim SK, Choi EH, Han HS and Lim HJ. 2012. Ecophysiological characteristics changes in the pacific oyster *Crassostrea gigas*, after spawning season in off-bottom culture. Korean J Malacol 28, 215-223. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.3.215>.
- Kim SK, Shim NY, Lee WY, Choi MS, Choi EH and Lim HJ. 2013. Morphological and physiological comparison between triploid and diploid pacific oyster *Crassostrea gigas*. Korean J Malacol 29, 217-223. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.3.217>.
- Kim Y, Yoon DS and Kang PA. 1980. Studies on the hanging culture of oyster *Crassostrea gigas*, in the Korean coastal waters (VII) environmental condition of oyster culture beds and oyster growth. Bull Fish Res Dev Agency 25, 35-43.
- Kim YH. 1980. Ecological studies on the growth of transplanted oyster, *Crassostrea gigas* (THUNBERG) from southern coast of Korea. J Korean Oceanol 15, 8-16.
- Kobayashi M, Hofmann EE, Powell EN, Klinckand JM and Kusaka K. 1997. A population dynamics model for the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. Aquaculture 149, 285-321.
- Lawrence DR and Scott GI. 1982. The determination and use of condition index of oysters. Estuaries 5, 23-27.
- Lee JM, Park AJ, Cho SM and Park KD. 2008. Growth comparison of the pacific oyster spat *Crassostrea gigas*, by three different suspended time around coast of Gyeongnam. Korean J Malacol 24, 109-119.
- Lim HJ, Back SH, Lim MS, Choi EH and Kim SK. 2012. Regional variations in pacific oyster *Crassostrea gigas* growth and the number of larvae occurrence and spat settlement along the West Coast, Korea. Korean J Malacol 28, 259-267. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.3.259>.
- Lim HJ, Lim MS, Lee WY, Choi EH, Yoon JH, Pack SH, Lee SM and Kim SK. 2014. Condition index and hemocyte apoptosis as a health indicator for the pacific oysters *Crassostrea gigas* cultured in the western coastal waters of Korea. Korean J Malacol 30, 189-196. <https://doi.org/10.9710/kjm.2014.30.3.189>.
- MEIS (Marine Environment Information Service). 2021. Annual report on marine environment monitoring in Korea. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, Korea. Retrieved from <https://meis.go.kr/> on May 14, 2021.
- MOMAF (Ministry of Marine Affairs and Fisheries). 2013. Korean standard method of examination for marine environment. Retrieved from <https://law.go.kr> on May 13, 2021.
- Min KS, Kim TI, Hur SB, Hur YB, Chun CY and Kim DH. 1999. Growth and survival of the artificial and natural seedling in the pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). Bull Nat'l Fish Res Dev Inst 57, 43-53.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2012. Standard manual of pacific oyster hanging culture. NIFS report ED-

- 2012-AQ-001, NIFS, Busan, Korea, 1-39.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2014. Report of estimation of environmental carrying capacity for fishery-Gamak Bay, Geoje-Hansan Bay. NIFS report SP-2014-ME-037, NIFS, Busan, Korea, 349-351.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2019. Assessment report on fisheries impacts in a changing climate. Maple Design, Busan, Korea, 30-37.
- Oh KH, Pang IC, Hoffman EE, Kim Y, Kim SY, Park YJ and Choi KS. 2002. Modeling oyster populations dynamics-I. Effect of available food on growth of the pacific oyster *Crassostrea gigas* in Goseong Bay, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 35, 327-335. <https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.4.327>.
- Park CK. 2003. Seasonal variation of edible portion yield and coefficient of fatness of pacific oyster *Crassostrea gigas* in Kamak Bay, Korea. Fish Aquat Sci 6, 220-224. <https://doi.org/10.5657/fas.2003.6.4.220>.
- Park DW, Kim SY, An CM and Jo QT. 2001a. Research on physiological function of cultured biology I. Research on environmental adaptation of shellfish (pacific oyster, *Crassostrea gigas*). National Fisheries Research Development Institute report 2001, 187-195.
- Park MA, Park KH, Shin YK, Jo JK, Jeong MM, Oh MJ and Jeong SJ. 2001b. Development of sustainable usage and management for aquaculture farm in south sea I: Research on shellfish disease. South Sea Fisheries Research Institute Report 11-1520671-000002-10, NIFS, Yeosu, Korea, 207-220.
- Park MS, Lim HJ and Lee TS. 1999. Biological and chemical characterization of triploid pacific oyster *Crassostrea gigas* in the waters of Tongyoung, Korea. Bull Fish Res Dev Agency 55, 31-40.
- Park MS, Ru HY, Park DW, Ji YJ and Lim HJ. 1994. Research on species modification of cultured oyster. Fisheries Research Development Institute report 1994, 397-413.
- Park SW, Kim Y, Kim JH, Chung SW and Han KN. 2013. Effect of environment factors on growth and mortality of cupped oyster *Crassostrea gigas*. Korean J Malacol 29, 273-281. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.273>.
- Park YB. 1998. The effects of increase in the oyster hatchery on fishermen's income. J Fish Bus Adm 29, 143-161.
- Park YC and Choi KS. 2002. Growth and carrying capacity of pacific oyster *Crassostrea gigas*, in Kamak Bay, Korea. Korean J Environ Biol 20, 378-385.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2021. Fishery production survey. Retrieved from <https://kosis.kr/> on May 14, 2021.
- SSFIS (South Sea Fisheries Research Institute). 2017. Report of mass mortality of aqua-cultured biology in southwest coast in 2016. NIFS report SP-2017-AQ-001, NIFS, Busan, Korea
- Yoo SK. 2000. Shallow sea aquaculture. Guduk Press, Busan, Korea, 71-140.
- Yoo SK, Park JS, Chin P, Chang DS, Lim KB, Park CH, Hong SY, Cho CH, Hue JS, Lee SS, Kang PA, Park KY, Lee MS and Kim Y. 1980. Comprehensive studies on oyster culture in Hansan, Geoje Bay. Bull Fish Res Dev Agency 24, 7-46.
- Yoo SK and Yoo MS. 1973. Biological studies on oyster culture (II) Morphological characteristics of the oyster *Crassostrea gigas*. Korean J Fish Aquat Sci 6, 65-75.