

경북지역 해삼 종자방류사업의 경제적 효과 분석

곽석남 · 김성수* · 신상희* · 한지성** · 이원세*** · 김두호**** · 최종국***** · 신우철†
(주)환경생태공학연구원(대표 · †*연구원) · 올인원진텍(**대표 · ***연구원) ·
****한국수산자원공단(연구원 · *****센터장)

Analysis of Economic Effect on Sea Cucumber Fry Releasing Program in Gyeongsangbuk-do, Korea

Seok-Nam KWAK · Sung-Soo KIM* · Sang Hee SHIN* · Ji Sung HAN** · WonSE LEE***
· Do Ho KIM**** · Jong-kuk CHOI***** · Woo-Chur SHIN†

Environ-Ecological Engineering Institue Co., Ltd(ceo · †* researcher) ·
All-In-One Gene Tech(**ceo · *** researcher) · Korea Fisheries Resources Agency(**** researcher · ***** center leader)

Abstract

This study aimed to analyze of economic effect on sea cucumber fry releasing program in Gyeongsangbuk-do, Korea. Since the early 1970s, various fishery resource enhancement initiatives, such as marine afforestation, sea ranching, and fry releasing programs, have been promoted. Among these, the fry releasing program has recently been implemented as a key strategy to increase fish stock biomass. However, few studies have evaluated its economic effect. Therefore, this study assessed the economic feasibility of the sea cucumber fry releasing program using the benefit/cost ratio method, based on data from field surveys and genetic analysis. The period range of the analysis for the fry releasing program was from 2019 to 2022. As a result of the analysis, we found that there was no economic feasibility of the program in 2019. But the benefit/cost ratio was estimated to be 3.13 in 2020, 1.28 in 2021 and 1.15 in 2022, indicating that the fry releasing program was evaluated to be economically feasible.

Key words : Sea cucumber, Fry releasing program, Economic effect, Benefit/cost ratio method

I. 서론

수산자원 조성을 위한 지속적인 방류로 인하여 방류품종의 유전적 다양성이 감소하고 열성화에 따른 생태계 교란 가능성이 제기되었다. 민간에서 양식용으로 생산되는 방류종자의 경우 한정된 어미집단으로부터 생산되기 때문에 자연집단에 비해 적은 유전자원(gene pool)을 가지고 있다. 특히 여러 세대에 걸쳐 양식된 어미로부터 생산된

경우 근친교배 및 무의식적인 선발 등의 원인으로 유전적 다양성이 감소된 종자를 생산 및 방류하게 된다. 이러한 유전적 다양성의 감소는 급변하는 환경변화에 대한 적응력과 병원체에 대한 저항력을 약화시키고, 성장 및 생존 등에 부정적인 영향을 미치게 된다(FIRA, 2023). 이에 따라 한국수산자원공단에서는 2011년부터 12개 품종에 대한 유전적 다양성 모니터링을 실시하고 있으며, 해양수산부에서는 방류종자 인증제 도입, 각

† Corresponding author : 051-757-0097, wshin77@eeei.kr

※ 이 논문은 한국수산자원공단(2023년 경상북도 수산종자 방류효과조사 사업)의 지원에 의해 연구되었습니다.

방류품종의 유전적 다양성 기준 마련, 방류용 종자생산관리 매뉴얼 및 유전자 검사 매뉴얼 제작 등의 수산종자방류 증장기 발전방안을 마련하였다. 또한 한국수산자원공단에서는 수산종자방류사업 가이드북을 제작 및 배포하여 어업인 및 지자체에서 활용할 수 있도록 하였다.

경상북도 지역에서 해삼 종자 방류사업은 2000년 이후 시작되었다. 처음에는 시도립 배양장에서 자체적으로 생산된 해삼 종자를 어촌계 마을 어장에 방류하였고, 2006년 이후에는 시·도 및 시·군 자체사업으로 해삼 종자방류사업이 확대되었다. 그리고 2008년부터는 광역지역발전 특별회계사업(광특사업)에 해삼 종자방류사업이 추가되어 진행되어 오고 있다(Park et al., 2013).

수산종자 방류사업의 경제적 효과에 대한 분석은 지금까지 다양한 방류품종을 대상으로 이루어져 오고 있다.

넙치의 경우 Seo et al.(2010)은 2000년부터 2008년까지 해역별로 위판장에서 조사된 혼획률 자료를 이용하였으며, 표본을 수집하여 넙치의 마리당 평균 중량 및 관련 자료(연급별 중량, 마리수 등)를 조사하였다. 이러한 결과를 토대로 편익/비용기법을 이용하여 경제성을 분석한 결과 넙치 종자방류사업의 경제적 효과는 동해권은 2.56배, 서해권은 1.34배 그리고 남해권은 9.45배로 추정되었다.

전복의 경우 Kim et al.(2006)은 울산 지역에서 2005년부터 2006년까지 총 3회에 걸쳐 표본을 포획하여 전복 폐각 각정의 색깔을 기준으로 자연산과 방류산(초록색)을 구분하여 혼획률을 산정하였다. 또한 1998년부터 2005년까지 방류사업의 회수율을 산정하였다. 편익/비용기법을 활용한 전복 종자의 총방류사업 효과는 평균 6.7~6.8배, 그리고 순방류사업 효과는 2.2~2.3배로 추정되었다.

해삼의 경우 Park et al.(2013)은 경상북도 지역에서 2011년 방류된 해삼을 대상으로 제한된 해역에서 초기 방류량과 최종 채집된 표본의 비율로 구한 재포율을 30%와 평균 중량을 200g으로

가정하여 해삼 생산량을 산출하였다. 경제성 분석 결과, 경북지역의 해삼의 종자방류효과는 2.0배로 평가되었다. 또한, Lee and Choi(2022)는 2021년부터 2025년까지 시행되는 전라남도 해남군 해양생태계 서식지 개선사업(바지락, 해삼, 꼬막 방류 중심)의 경제성 분석을 실시하였다. 사회적 할인율은 한국개발연구원(KDI)에서 제시하는 4.5%를 적용한 결과, 편익비용비율(BCR)은 1.06배로 경제성이 있는 것으로 나타났다. 해삼의 경우 재포율을 55~60%로 가정하였을 경우 0.97~1.14배로 나타나 재포율이 56%이하일 경우 경제성이 없는 것으로 나타났다.

하지만 선행연구 중 넙치와 전복의 경우 혼획률 조사 단계에서 방류산과 자연산 구분 기준을 육안으로 파악했다는 공통점을 가지고 있으며, 해삼의 경우 재포율을 가정하여 경제성 분석을 진행한 것을 알 수 있다. 이와 같은 방법은 방류품종의 혼획률 판정의 부정확성 등의 문제로 새로운 기술이 요구되었으며, 이를 보완하기 위해 DNA 마커를 이용한 유전자 분석 방법이 고안되었다. 그리고 최근에는 수산종자 방류사업의 효과 분석을 위한 방법으로 유전학적 특성 등을 반영한 연구가 다수 이루어지고 있다(FIRA 2022; Nam et al., 2019). 특히 한국수산자원공단의 경우 수산종자 방류효과조사를 위해 유전형 정보를 활용하여 방류품종의 혼획률 조사를 실시하고 있으며, 이를 기반으로 다양한 방류품종에 대한 경제성 평가를 실시하고 있다(FIRA, 2022; Hong and Kim, 2023).

본 연구에서는 2019년부터 2022년까지 경북 지역에서 실시한 해삼 종자방류사업에 대한 다양성 및 혼획률 분석을 통해 경제적 타당성을 검증해보았다.

다형성(polymorphism)이 확보된 microsatellite 부위의 유전형(genotype) 데이터의 경우 유전적 다양성 등 집단에 대한 유전학적 모니터링 연구에 활용되고 있다(Jeong et al 2008; Norris et al., 2000; Perez-Enriquez et al., 1999). 뿐만 아니라 멘

델유전법칙(Mendelian inheritance)을 따라 자식에 게 유전형이 전달됨에 따라 친자감별 연구에도 활용되고 있으며, 집단 간 유연관계 및 혈통 관계 확인이 가능하다고 밝혀져 있다(Liu and Cordes 2004; Thomas et al. 1994).

국내에서는 Kim et al.(2008)이 Kanno et al.(2005)에 개발한 마커를 활용하여 한국 해삼의 다양한 집단 특성을 확인하였으며, Kang et al.(2011)의 경우, 중국, 한국에 서식하는 다양한 색변이가 있는 해삼 집단에 대해 유전적 다양성 분석 및 집단 간 유전적 거리 확인 등을 수행하였다. 이뿐만 아니라 한국수산자원공단에서는 2016년 해삼 21개의 microsatellite DNA marker를 개발하였으며, 최종 13개의 microsatellite DNA marker를 확정하여 국내 해삼 집단의 유전적 특성을 지속적으로 모니터링하고 있다.

본 연구에서는 경상북도 지역에서 지속적으로 진행되고 있는 해삼 종자방류사업의 경제적 효과를 분석하였다. 정확한 분석을 위하여 유전형 분석을 통한 혼획률을 산정하고자 하였으며, 연도별 혼획률 산정을 위해서는 이전 연도의 방류산이 포함되어 있으므로 연도별 편익/비용비율의 과대추정을 방지하기 위하여 방류 비용 등을 누락하여 분석을 진행하였다. 또한, 어촌계 탐문 조사를 통한 해삼 종자방류사업 실태 조사 및 경제적 효과를 분석하고자 하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 경상북도 경주시 수렴어촌계의 해삼 종자 방류 어장을 조사대상으로 하였다. 해삼 종자방류사업의 경제적 효과를 분석하기 위해서는 방류된 종자의 혼획률 조사가 필요하다. 혼획률 조사 결과를 기반으로 방류사업 현황 및 통계 자료를 활용하여 경제적 효과를 분석할 수 있다.

여기서 혼획률은 어획된 전체 어종 중에서 방

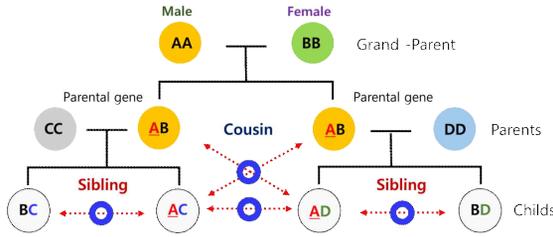
류된 어종이 차지하는 비율을 의미하는 것으로, 일반적으로 방류된 어종에 대한 확인은 유전자 분석 등을 통해 가능하다(FIRA, 2022). 본 연구에서는 해삼에 대한 혼획률 파악을 위해 방류사업이 이루어진 어촌계 지역을 대상으로 한 현장 조사 결과를 활용하였다. 구체적으로 현장 조사에서는 해삼 종자 방류 지역인 수렴어촌계의 협조를 통해 시료를 확보하여 외부형질을 측정하였으며, 유전자 분석 시료의 경우, 해삼의 항문 부분을 포함한 1cm 이상을 절단한 후 99.9% 에틸알코올이 담겨있는 50ml conical tube에 고정하여 개체별로 시료 번호를 부여하였다.

보관된 시료의 DNA 추출은 연체동물 전용 DNA 추출 키트(E.Z.N.A mollusc DNA kit, USA)를 이용하였고, 한국수산자원공단에서 제공한 13개 microsatellite DNA marker를 이용하여 각 개체에 대한 유전형 분석을 수행하였다(FIRA, 2019). 유전형의 경우, ABI 3730xl DNA analyzer(Applied Biosystems, USA)를 통해 크기별로 분류되도록 하고 생산된 Raw data에 대해 GeneMapper version 4.0(Applied Biosystems, USA)을 통해 유전형을 확보하였다.

각 집단에 대한 다양성 분석은 Cervus ver 3.07 software(Marshall et al., 1998) 및 FSTAT ver 2.93 software(Goudet, 1995)를 통해 이형접합체율 관찰치(observed heterozygosity(HObs)), 이형접합체율 기대치(expected heterozygosity(HExp) 및 집단 내 근교계수(inbreeding coefficient(FIS))를 분석하였다.

혼획률 자료는 2019~2022년 방류 종자 집단 및 재포획 집단의 유전형 데이터에서 수집하였다. 이를 이용해서 형제관계 분석(sibling analysis) 원리에 입각해서 혼획률 확인을 위한 혈연관계를 분석하였다([Fig. 1]).

공공투자사업에 따른 경제적 효과를 평가하기 위해서 다양한 방법이 이용되지만, 일반적으로 편익/비용분석 기법(Benefit Cost Ratio method)이 가장 널리 활용되고 있다.



[Fig. 1] Principle of sibling analysis for genetic analysis.

따라서 본 연구에서는 경북지역 해삼 종자방류사업의 경제적 타당성을 평가하기 위한 분석기법으로, 편익/비용분석을 실시하여 해삼 종자방류사업의 비용 대비 편익 효과를 검증하였다.

편익/비용분석 기법은 식 (1)에서와 같이, 사업의 수행으로 인하여 발생하는 편익흐름의 현재가치를 비용흐름의 현재가치로 나눈 비율을 이용하여 경제성을 평가하는 방법을 의미한다. 즉, 사업수행으로 인하여 여러 기간에 걸쳐 발생하는 편익과 비용을 적정한 할인율에 의해 일정 시점의 현재가치로 환산하여 비교하는 방법이다.

$$\text{편익/비용비율(B/C Ratio)} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \text{-----(1)}$$

여기서, B_t 는 t시점의 편익, C_t 는 t시점의 비용, r은 사회적 할인율, T는 분석기간을 의미한다. 이에 대한 일반적인 평가기준은 해당 사업에 대한 편익/비용비율(B/C Ratio)이 1보다 크면 경제적 효과 즉, 경제성이 있는 것으로 평가한다. 편익은 방류 후 방류산 품종을 어획함에 따라 얻는 어획금액을, 비용은 방류사업의 사업비용을 의미한다.

방류사업의 편익을 산출하기 위해서는 해삼 종자의 방류량, 전체 확보 시료의 평균 중량, 혼획률, 그리고 시장가격 자료 등이 필요하고 방류사

업의 비용은 실제 해삼 종자 방류사업을 위해 소요된 사업비 자료가 필요하다.

우선 편익을 산출하기 위하여 경상북도 경주시 해삼 방류사업 자료를 <Table 1>과 같이 확보하였다. 최근 4개년 경상북도 경주시 지역의 해삼 종자방류사업 현황을 살펴보면, 연도별로 3~4개 어촌계에서 1회씩 이루어졌고, 2019년 하반기, 2020~2022년에는 상반기에 방류가 이루어졌다. 확보된 방류사업 자료는 경주시 관내 3~4개 어촌계를 대상으로 하고 있어, 2019~2021년에는 4개 어촌계, 2022년에는 3개 어촌계에 방류를 실시하여 연도별로 어촌계 수로 나누어 수렴어촌계에 한정된 방류실적으로 재계산한 후 분석하였다.

<Table 1> Sea cucumber fry releasing program in Gyeongju-si

Year	Date	Number	Cost(1,000won)
2019	3 December	431,920	200,000
2020	15 June	431,965	200,000
2021	1 June	371,184	200,000
2022	4 May	262,075	125,000

Source : Gyeongju-si(2022)

다음으로 방류 종자의 전체 어획량 및 어획금액을 산출하기 위한 자료는 시료의 평균 중량 자료가 필요하다. 평균 중량 자료의 경우 확보한 시료 전체에 대한 중량을 측정하여 평균하였으며, 연도별 시료수는 2019년 123마리, 2020년 121마리, 2021년 247마리, 2022년 170마리였다.

혼획률 산정을 위해서는 재포획조사를 통해 확보한 시료와 유전적 정보를 비교하기 위한 대상이 필요하다. 분석 비교 대상은 아래 <Table 2>와 같으며, 본 연구에서는 연도별 혼획률 산출에 있어서 비교 대상 자료를 누적하여 활용하였으며, 방류가 이루어지지 않은 해에는 직전년도까지 자료를 활용하였다.

<Table 2> Comparison target for genetic analysis

Year	Comparison target
2019	(‘18) Information on 28 fry releases
2020	(‘18) Information on 28 fry releases
	(‘19) Information on 30 fry releases (‘20) Information on 30 fry releases
2021	(‘19) Information on 30 fry releases
	(‘20) Information on 30 fry releases
2022	(‘19) Information on 30 fry releases
	(‘20) Information on 30 fry releases

마지막으로 방류사업의 편익, 즉 방류산 어획 금액을 산출하기 위해서는 해삼에 대한 시장가격 자료가 필요하여 통계청의 경상북도 계통 비계통 전체 생산 현황 자료를 활용하였다(<Table 3>).

<Table 3> Market price of sea cucumber in Gyeongsangbuk-do

Year	Catch (A) (ton)	Amount (B) (1,000 won)	Market price (B/A)
2019	191	2,785,472	14,584
2020	99	1,638,263	16,548
2021	129	2,108,010	16,341
2022	165	2,496,617	15,131

Source : Statistics Korea(2023)

경제성 평가를 위한 방류품종의 어획금액 산정은 먼저 전체 방류마리수에 혼획률을 곱하여 총 어획 마리수를 산출한 후 어획 마리수에 시료의 평균 중량을 곱하여 총 어획량을 산출하고, 여기에 시장가격을 곱하여 최종적으로 방류품종의 어획금액을 산출하였다. 그리고 분석에 활용한 비용의 경우 종자방류사업에 소요된 사업비용을 한국개발연구원이 제시하는 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 현재가치로 환산한 금액을 적용하였다.

본 연구에서는 2019년부터 2022년까지 최근 4개년 간 이루어진 해삼 종자방류사업을 대상으로

경제적 효과를 분석하고자 한다. 2019년을 제외하고 2020~2022년 기간 혼획률은 이전 연도에 방류된 종자가 포함되어 있으므로 연도별 비용 계산 시 방류량 및 사업비는 연도별로 누적하여 활용하였다. 예를 들어, 2022년에 어획 조사한 표본에서는 2019년부터 2022까지 방류된 종자가 포함되어 있으므로 2022년도 기준 경제적 효과 산출 시 방류량 및 사업비는 4개년 합계치로 산정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

경상북도 경주시에 방류된 해삼의 유전적 다양성 모니터링을 실시한 결과를 아래 <Table 4>에 제시하였다. 총 13개 마커에 대한 유전형을 확보하고 통계분석을 통해 집단별 유전변수에 대한 평균값을 나타내도록 하였다.

이형접합체(heterozygosity)는 이형접합체관측치(HObs)와 이형접합체기대치(HExp)로 구분하여 나타내며 집단 내 근교계수(Fis)를 확인하였다.

본 연구에서 확인된 2019~2022년 방류 종자 집단의 HObs는 0.560~0.678, HExp는 0.774~0.795, 재포획 집단의 HObs는 0.591~0.695, HExp는 0.744~0.785로 나타났다. 그리고 집단 내 근교계수(Fis)는 방류된 종자 집단 0.153~0.284, 재포획 집단은 0.122~0.225로 나타났다.

Chang et al.(2009)에 의하면 중국, 러시아, 한국, 일본 2개 지역 총 5개 지역의 자연 해삼 집단의 다양성 모니터링 조사 시 HObs는 0.260~0.434, HExp는 0.654~0.850, 집단 내 근교계수는 0.136~0.523을 나타내었다.

국내 해삼 집단의 유전학적 모니터링 분석의 경우, Kim et al.(2011)은 국내 5개 지역 해삼 자연집단의 다양성 모니터링 조사하였으며, HObs는 0.532~0.626, HExp는 0.719~0.789, 집단 내 근교계수는 0.208~0.260을 나타내었고, Han(2022)이 2020년 국내 동, 서, 남해 6집단을 분석하였을 때, HObs는 0.576~0.660, HExp는 0.733~0.756, 집단 내 근교계수는 0.104~0.231을 나타내었다.

<Table 4> Population genetic analysis of sea cucumber in the study area

Year	Population	N	HObs	HExp	Fis	Gene diversity
2019	Fry('18)	28	0.560	0.774	0.284	0.778
	Recapture	123	0.603	0.776	0.225	0.776
2020	Fry('19)	30	0.656	0.782	0.188	0.784
	Fry('20)	30	0.678	0.795	0.153	0.797
	Recapture	121	0.695	0.785	0.122	0.796
2021	Recapture	247	0.591	0.744	0.207	0.744
2022	Recapture	170	0.597	0.746	0.206	0.746

N : Number of Sample, HObs : Observed heterozygosity, HExp : Expected heterozygosity, Fis : Inbreeding coefficient

<Table 5> Numbers of samples by fishing investigation in the study area

Year	Number of total sample (A)	Number of released sample (B)	(B/A)	Weight (g)	Length (cm)
2019	123	54	43.9%	57.2	11.8 (3.8~25.3)
2020	121	95	78.5%	113.9	13.8 (6.2~19.9)
2021	247	69	27.9%	142.2	15.2 (7.3~21.7)
2022	170	45	26.5%	149.2	14.0 (6.9~25.3)

Note : Weight, Length are average value, and parenthese mean minimum and maximum values.

본 연구 결과의 재포획된 자연집단(recapture)과 국내 해삼 자연집단 선행연구(Han, 2022; Kang et al., 2011; Kim et al., 2008)를 비교해보면 집단 유전변수는 유사한 패턴을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과에서의 그룹 간 비교에서는 재포획된 자연집단의 근교계수(Fis)를 비교해보았을 때, 2019년 재포획된 자연집단(평균 0.225)은 2020년~2022년(평균 0.122~0.207)보다 다소 높은 경향을 나타내었으며, 2018년에 방류한 종자(Fry) (평균 0.284)는 2019년(평균 0.188), 2020년(평균 0.153)에 비해 다소 높은 종자 집단이 방류된 것을 확인할 수 있었다.

외부형질 조사 및 유전자 분석 결과를 통해 파악한 연도별 혼획률, 평균 중량과 체장 분석 결과는 <Table 5>에서 정리된 바와 같다. 연도별로 살펴보면 먼저 2019년에 확보한 총 시료는 123마리로 이 중 유전자 분석을 통해 확인한 방류산은 54마리로 혼획률은 43.9%로 나타났다. 2020년 혼획률은 78.5%, 2021년 혼획률은 27.9%, 2022년 혼획률은 26.5%로 나타나 방류 이후 2020년에 혼획률이 가장 높았으며 그 이후 시간이 지남에 따라 방류산 해삼의 혼획률은 낮아지는 것으로 분석되었다. 평균 중량은 2019년에 57.2g, 2020년에 113.9g, 2021년에 142.2g, 2022년에 149.2g으로 나타났으며, 해삼의 시장가격은 2019

년 14,584원/kg, 2020년 16,548원/kg, 2021년 16,341원/kg, 2022년 15,131원/kg으로 확인되었다.

현장 및 통계조사, 유전자 분석을 통한 혼획율 자료를 바탕으로 경상북도 경주시의 종자방류사업의 경제적 효과를 분석한 결과는 <Table 6>에 제시하였다. 2019년의 경우 4개년 중 평균 중량과 시장가격이 가장 낮은 것으로 확인되었다. 방류 107,980마리에 평균 중량(57.2g)과 혼획률(43.9%)을 고려하면 방류산 어획량은 약 2.71ton이라고 할 수 있다. 이에 시장가격 14,584원/kg을 곱하면 방류산 해삼의 어획금액은 약 39,544천원이다. 2019년 방류 사업비용은 50,000천원으로 어획금액에 비해 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 편익/비용비율은 0.79배로 평가되어 경제적 효과는 없는 것으로 추정되었다.

2020년의 경우 혼획률과 평균 중량은 전년도보다 증가하였고 시장가격도 가장 높게 확인되었다. 혼획률 분석 결과는 2019년과 2020년 방류산

이 포함되어 있으므로 어획량 산출에 있어서 2019년과 2020년의 방류마리수를 합산하여 215,971마리, 방류 사업비용은 102,250천원으로 적용하였다. 이에 따른 2020년 기준 방류산 어획량은 약 19.31톤으로 전년도보다 증가한 것으로 나타났으며, 시장 가격을 고려한 방류산 어획금액 또한 319,547천원으로 증가하였다. 분석 결과, 어획금액이 방류 사업비용보다 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 2020년 편익/비용비율은 3.13배로 나타나 경제적 효과가 있는 것으로 추정되었다.

2021년의 혼획률은 2019년부터 2021년까지의 결과를 포함하고 있기 때문에 분석 과정에서 방류마리수와 방류 사업비용의 3개년 합계 자료를 활용하였다. 2021년은 평균 중량은 증가하였으나, 혼획률과 시장가격은 낮게 확인되었다. 방류산 어획량은 약 12.25톤이고 시장가격을 고려한 어획금액은 200,177천원으로 전년도보다 낮게 나타

<Table 6> Benefit, Cost and B/C ratio in the study area

Year	Benefit (1,000 won)	Cost (1,000 won)	B/C Ratio	Note
2019	39,544	50,000	0.79	- Number of fry releasing : 107,980[(‘19) 107,980] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 50,000[(‘19) 50,000]
2020	319,547	102,250	3.13	Accumulated in 2019 and 2020 - Number of fry releasing : 215,971[(‘19) 107,980 + (‘20) 107,991] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 102,250[(‘19) 52,250 + (‘20) 50,000]
2021	200,177	156,851	1.28	Accumulated in 2019 and 2021 - Number of fry releasing : 308,767[(‘19) 107,980 + (‘20) 107,991 + (‘21) 92,796] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 156,851[(‘19) 54,601 + (‘20) 52,250 + (‘21) 50,000]
2022	236,982	205,577	1.15	Accumulated in 2019 and 2022 - Number of fry releasing : 396,125[(‘19) 107,980 + (‘20) 107,991 + (‘21) 92,796 + (‘22) 87,358] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 205,577[(‘19) 57,058 + (‘20) 54,601 + (‘21) 52,250 + (‘22) 41,667]

났다. 방류 사업비용은 3개년 합계 156,851천원으로 2021년과 마찬가지로 어획금액이 방류 사업비용보다 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 2021년 편익/비용비율은 1.28배로 나타나 전년도보다 경제적 효과가 낮은 것으로 확인되었다.

2022년의 혼획률은 2019년부터 2022년까지의 결과를 포함하고 있기 때문에 분석 과정에서 방류마리수와 방류 사업비용의 4개년 합계 자료를 활용하였다. 2022년은 평균 중량은 가장 높았으나, 혼획률은 가장 낮게 확인되었다. 방류산 어획량은 약 15.66톤이고 시장가격을 고려한 어획금액은 236,982천원으로 전년도보다 소폭 증가한 것으로 나타났다. 방류 사업비용은 4개년 합계 205,577천원으로 2021년과 마찬가지로 어획금액이 방류 사업비용보다 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 2022년 편익/비용비율은 1.15배로 나타나 2020년과 2021년에 비해 경제적 효과가 낮은 것으로 확인되었으나, 경제적 효과가 있는 것으로 추정되었다.

최근 4개년 간 해삼 종자방류사업의 연도별 경제적 효과를 분석한 결과, 2019년을 제외하고 2020년부터 2022년까지는 경제성이 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 방류산 해삼의 성장 속도 및 시장가격 변동, 시료수 및 혼획률 증감에 따른 결과로 판단된다. 이 중 불확실성이 높은 주요 변수인 시장가격 변동 및 혼획률에 대해 2022년 기초자료를 기준으로 하여 민감도를 확인하였다. 시장가격 변동은 2006~2022년까지 kg당 해삼의 시장가격은 10,952~16,548원의 범위로 확인되었고, 시장가격이 13,060원 밑으로 감소할 경우 편익/비용비율이 1.0배 이하로 나타나 경제적 효과가 없는 것으로 나타났다. 혼획률은 2019~2022년까지 26.5~78.5%의 범위로 확인되었고, 혼획률이 22.8% 이하로 나타날 경우 편익/비용비율이 1.0배 이하로 나타나 경제적 효과가 없는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 경상북도 경주시 지역에서 이루어진 최근 4개년 간의 해삼 종자방류사업에 대하여 유전자 분석 기법을 활용한 경제적 효과를 분석하였다. 분석방법은 해당 지역에서의 해삼 재포획 조사를 실시하고 유전자 분석을 통하여 방류 및 재포획 집단의 유전적 다양성 모니터링 및 혼획률 분석을 실시하였다. 또한, 방류 실태 조사를 진행하여 이를 기반으로 방류산 어획금액을 산출한 다음 사업비용과 비교하여 편익/비용비율을 산출하여 경제적 효과를 분석하였다.

유전적 다양성 모니터링 결과, 2019~2022년 재포획 자연집단의 유전변수는 국내 해삼 자연집단 선행연구(Han, 2022; Kang et al., 2011; Kim et al., 2008)와 유사한 패턴을 나타내는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과에서 그룹 간 비교에서는 2019년 재포획된 자연집단 근교계수(Fis)의 경우, 2020~2022년 자연집단보다 다소 높은 경향이 나타났다.

유전적 다양성을 유지하기 위해서는 방류되고 있는 지역의 자연집단과는 유전적으로 거리가 멀거나 새로운 유전형질을 보유한 어미 그룹 확보를 통해 근교계수를 낮추고 유전적 다양성을 높일 필요가 있으며, 전국 단위의 유전적 모니터링을 통해 데이터베이스를 구축하여 지속적인 연구 수행이 필요할 것으로 사료된다(FIRA, 2022; Fujio et al., 1997; Kincaid et al., 1983). 유전적 다양성이 높은 개체군은 환경스트레스에 대한 저항성과 회복력이 높아져서 해당 개체군의 생존율과 성장률에 긍정적인 영향을 미치고(Vasquez et al., 2023), 그에 따라 어획량이 증가되어 어획금액(편익)을 증가시켜 편익/비용비율이 높아져서 경제성 확보가 가능할 것이다.

연도별 경제적 효과는 2019년에 0.79배를 제외하고, 2020년 3.13배, 2021년 1.28배 그리고 2022년에는 1.15배로 나타나 경제성을 확보하는 것은

로 추정되었다. 한국수산자원공단(2023)의 선행연구 결과 중 2013년부터 2014년까지의 충남, 강원, 경북, 인천, 전남, 경남 지역의 해삼 종자방류사업의 경제적 효과는 1.45배, 2016~2017년 기간 경북 지역 경제적 효과는 1.19배(FIRA, 2023)로 본 조사 결과와 마찬가지로 해삼 종자방류사업에 대한 경제적 효과를 확인할 수 있었다.

해삼은 자연환경에서 5~8월(주 산란기 6~7월)에 산란하는 것으로 알려져 있고 산란시작 수온 범위는 13~16℃이며, 18~22℃에서 산란을 거의 종료하며, 산란이 가능한 최소 크기는 중량 58~60g 정도이다. 또한, 해삼의 성장은 자연에서 유생 부착 후 1년에 5.9cm(15.5g), 2년 13.3cm(122.5g), 3년 17.6cm(307.0g), 4년 20.8cm(472.5g) 크기로 성장한다(MFAFF, 2012). 수산자원관리법 시행령(2023.11.07. 일부개정) ‘별표2 수산자원의 포획·채취금지 체장 또는 체중’에 따르면 해삼에 대한 사항은 정해져 있지 않으나, 본 조사에서 수집한 해삼 표본의 크기는 상업적인 거래가 이루어지지 않는 작은 개체도 포함되어 있다. 따라서 향후 성장성을 고려한다면 실질적인 경제적 효과는 더욱 클 것으로 예상된다.

본 연구의 한계점으로는 분석 자료 및 표본의 증감이라고 할 수 있다. 분석 자료의 부족은 현재 최근 4개년(2019~2022년)에 해당하는 혼획률 자료만을 활용하여 그 이전 시점에서의 효과를 확인하지 못했다는 점이다. 표본 자료의 증감은 2019년과 2020년은 약 120마리로 일정하였으나, 2021년에 247마리로 전년도 대비 2배로 증가하였고 2022년에는 170마리로 2021년에 비해 표본 수가 감소했다는 점이다.

향후 연도별 표본 수를 일정하게 유지하거나, 이전 연도의 방류 품종을 고려하여 표본 수를 확대한다면 종자방류사업의 경제적 효과를 보다 정확하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Chang Y, Feng Z, Yu J and Ding J(2009). Genetic variability analysis in five populations of the sea cucumber *Stichopus* (*Apostichopus*) *japonicus* from China, Russia, South Korea and Japan as revealed by microsatellite markers. *Marine Ecology*, 30(4), 455-461. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00292.x>
- Fujio Y, Nakajima M, and Showa H(1997). Selection and inbreeding depression in maintenance of a stock population of the apple snail *Pomacea canaliculata*. *Fisheries Science*, 63(3), 368~371. <https://doi.org/10.2331/fishsci.63.368>
- Goudet J(1995). FSTAT(version 1.2): a computer program to calculate F-statistics. *Journal of Heredity*, 86(6), 485~486. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a111627>
- Gyeongju-si(2022). Fry releasing program in Gyeongju-si over the past 4 years.
- Han JS(2022). Population genetic analysis and genetic kinship investigation of domestic sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). Doctoral dissertation, Pukyong National University.
- Jeong DS, Park CJ and Jeon CY(2008). Genetic variability and population structure of pacific abalone *Haliotis discus hannai* sampled from stocked areas using microsatellite DNA markers. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(6), 466-470. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.6.466>.
- Kang JH, Kim YK, Kim MJ, Park JY, An CM, Kim BS, ... and Kim SK(2011). Genetic differentiation among populations and color variants of sea cucumbers (*Stichopus japonicus*) from Korea and China. *International Journal of Biological Sciences*, 7(3), 323. <https://doi.org/10.7150/ijbs.7.323>
- Kanno M, Li Q and Kijima A(2005). Isolation and characterization of twenty microsatellite loci in Japanese sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Marine Biotechnology*, 7, 179~183. <https://doi.org/10.1007/s10126-004-0006-3>
- Kim KS, Hwang JW and Park HC(2006). An analysis on the economic effectiveness of abalone, *haliotis discus hannai* releasing project in the coastal

- area near Ulsan city. *The Journal of Fisheries and Marine Science Education*, 18(3), 261~271.
- Kim MJ, Choi TJ and An HS(2008). Population genetic structure of sea cucumber, *Stichopus japonicus* in Korea using microsatellite markers. *Aquaculture Research*, 39(10), 1038~1045.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01962.x>
- Kincaid HL(1983). Inbreeding in fish populations used for aquaculture. *Aquaculture*, 33(1-4), 215~227.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90402-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90402-7)
- Korea Fisheries Resources Agency (FIRA)(2019). <https://seed.fira.or.kr/>. Accessed 30 Dec 2019.
- Korea Fisheries Resources Agency (FIRA)(2022). <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 30 Dec 2022.
- Korea Fisheries Resources Agency (FIRA)(2023). <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 28 Feb 2023.
- Lee C and Choi SD(2022). Economic feasibility analysis of fisheries resources enhancement project of haenam county : Focusing on the release of clam, sea cucumber and cockle. *The Journal of Fisheries and Marine Science Education*, 34(2), 191~200.
<https://doi.org/10.13000/jfmse.2022.4.34.2.191>
- Liu ZJ and Cordes JF(2004). DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture*, 238(1-4), 1~37.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.027>
- Marshall TC, Slate J, Kruuk LE and Pemberton JM(1998). Statistical confidence for likelihood based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology*, 7(5), 639~655.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00374.x>
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF)(2012). Sea cucumber farming guidebook.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF)(2022). Guidelines for fry releasing in fishery.
- Nam JO, Cho HS and Lim SM(2019). Economic analysis of fisheries seed release program in Chungnam province : Focusing on the swimming crab. *Ocean Policy Research*, 34(1), 177~198.
<https://dx.doi.org/10.35372/KMIOPR.2019.34.1.007>
- Norris AT, Bradley DG and Cunningham EP(2000). Parentage and relatedness determination in farmed atlantic salmon (*Salmo salar*) using microsatellite markers. *Aquaculture*, 182(1-2), 73~83.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00247-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00247-1)
- Park KI, Kim YJ and KIM DH(2013). Analyzing economic effectiveness of the sea cucumber seed releasing program in Gyeongsangbuk-do region. *The Korean Society of Fisheries Business Administration*, 44(1), 81~90.
<https://dx.doi.org/10.12939/FBA.2013.44.1.081>
- Perez-Enriquez R, Takagi M, and Taniguchi N(1999). Genetic variability and pedigree tracing of a hatchery-reared stock of red sea bream (*Pagrus major*) used for stock enhancement, based on microsatellite DNA markers. *Aquaculture*, 173(1-4), 413~423.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00469-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00469-4)
- Seo JM(2020). Improvement plan for the sea cucumber(*Stichopus japonicus*) released projects. The graduate school, Chonnam National University.
- Seo JN, Paek JY and Kim DH(2010). Economic effectiveness of the olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fry releasing program in Korea. *Ocean and Polar Research*, 32(4), 483~488.
<https://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.483>
- Sim YT and Lee CS(2017). Development of a multiplex PCR system for microsatellite genotyping of the sea cucumber *Stichopus japonicus*. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, 50(6), 806~811.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0806>
- Statistics Korea(2023). Fishery production survey. <https://kosis.kr>.
- Thomas MR, Cain P and Scott NS(1994). DNA typing of grapevines: A universal methodology and database for describing cultivars and evaluating genetic relatedness. *Plant Molecular Biology*, 25, 939~949.
<https://doi.org/10.1023/b:coge.0000041030.76598.ed>
- Vasquez C, Quinones Ra, Brante A and Hernandez-Miranda E(2023). Genetic diversity and resilience in benthic marine populations. *Revista Chilena de Historia Natural*, 96(4).
<https://doi.org/10.1186/s40693-023-00117-1>

-
- Received : 07 May, 2025
 - Revised : 28 May, 2025
 - Accepted : 03 June, 2025