

부산지역 전복 종자방류사업의 경제적 효과 분석

곽석남 · 김성수* · 김현승* · 기희석* · 신상희* · 남주희* · 한지성**
· 이원세** · 김두호*** · 최종국*** · 홍재범*** · 김도훈**** · 곽일병***** · 신우철†
(주)환경생태공학연구원(대표) · *†(주)환경생태공학연구원(연구원) ·
올인원진텍(대표) · **올인원진텍(연구원) · *한국수산자원공단(센터장) ·
한국수산자원공단(연구원) · *한국해양수산개발원(연구원) · *****부경대학교(교수) ·
*****부산광역시(팀장)

Economic Effectiveness of Abalone Fry Releasing Program in Busan, Republic of Korea

Seok-Nam KWAK · Sung-Soo KIM* · Hyun Seung KIM* · Hee Suk KEE* · Sang Hee SHIN* · Ju Hee NAM* · Ji Sung HAN** · Won SE LEE** · Do Ho KIM** · Jong-kuk CHOI*** · Jae-Beum HONG*** · Do-Hoon KIM**** · Il Byeoung KWAG***** · Woo-Chur SHIN†

Environ-Ecological Engineering Institute Co., Ltd(ceo) · *†Environ-Ecological Engineering Institute Co., Ltd(researcher) · ** All In One GENETECH(ceo) · ** All In One GENETECH(researcher) · *** Korea Fisheries Resources Agency(center leader) · *** Korea Fisheries Resources Agency(researcher) · **** Korea Maritime Institute(researcher), **** Pukyong National University(professor) · ***** Busan Metropolitan City(team leader)

Abstract

This study is aimed to analyze the economic effectiveness of Abalone fry releasing program in Busan, Republic of Korea. It has been promoting fishery resource enhancing projects such as the creation of marine afforestation project and marine ranching, and the fry releasing program since the early 1970s. The fry releasing program is being implemented as one of the efforts to enhance the stock biomass but analyze the economic effectiveness of program have been limited in the study area. The economic effectiveness of Abalone fry releasing program using a benefit/cost ratio method was based on the results of fishing investigation and genetic analysis. The analysis for the fry releasing program was ranged from 2020 to 2022. The economic feasibility of the program with the benefit/cost ratio was estimated to be 2.1 in 2021 and 3.4 in 2022 except 2020. These results were indicated that the fry releasing program was evaluated to be economically feasible.

Key words : Abalone, Fry releasing program, Economic effectiveness, Benefit/Cost Ratio method

I. 서 론

연근해 어장의 생산성을 늘리기 위하여 1970년

대 초반부터 바다숲 및 바다목장 조성, 수산종자 방류 등의 수산자원조성 사업을 추진해 오고 있다. 특히 1986년부터는 직접적으로 수산자원을

† Corresponding author : 051-757-0097, wcsin77@ecci.kr

* 이 논문은 한국수산자원공단(2022년 부산광역시 수산종자 방류효과조사 사업)의 지원에 의해 연구되었습니다.

증강시키기 위하여 어린 어패류를 인공적으로 생산 및 방류하는 수산종자 방류사업을 매년 실시해 오고 있다. 수산종자의 방류는 잉여자원의 재생산을 통한 지속적 어업생산성 유지, 어획량 증대 및 어촌 경제 활성화 등의 순기능이 있다 (FIRA, 2019; Yang, 2023).

방류사업 중에서도 전복 종자 방류사업은 1976년 국립수산과학원 패류육종연구센터(구 북제주종묘배양장)에서 종묘생산 기술이 개발된 후, 국립수산과학원과 지자체 사업 그리고 민간매입방류사업 등으로 30년 이상 추진되어 왔으며 지속적으로 방류량이 증가하고 있는 실정이다. 전복 종자방류사업은 생산 잠재력이 높아 연안어장의 수산자원 증가 및 안정적인 어업 소득 증대에 효과가 크다고 막연하게 인식되어 왔다. 하지만 향후 지속적인 전복 종자방류사업 추진을 위해서는 사업의 경제적 효과 검증이 뒷받침되어야 한다. 그러나 이와 같은 전복 방류사업의 효율적인 추진과 비중 확대를 위한 사업타당성 검증 필요성이 증대됨에도 불구하고, 지금까지 전복에 대한 방류 효과조사는 방류의 표준화 및 관련 자료 수집 곤란 등으로 연구에 어려움이 많아 혼획률 조사에서 경제성 평가로 이어지지 못하고 있는 실정이다(Kim et al., 2006).

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 방류종묘 인증제 도입, 각 방류품종의 유전적 다양성 기준 마련, 방류용 종묘생산관리 매뉴얼 및 유전자 검사 매뉴얼 제작 등의 수산종묘방류 증장기 발전방안을 마련하였다.

과거 방류산 전복의 혼획률을 구하는 방법은 대부분 육안조사를 통한 패각 각정의 색깔을 구분하거나(Kim et al., 2006), 금속표지를 이용한 표지 부착유무를 통한 방법을 이용하였다(FIRA, 2018). 하지만 표지 소실, 혼획률 판정의 부정확성 등의 문제로 새로운 기술이 요구되었으며, 이를 보완하기 위해 DNA 마커를 이용한 유전자 분석 방법이 고안되었다(FIRA, 2023).

다형성(Polymorphism)이 확보된 microsatellite 부위의 유전형(Genotype) 데이터의 경우 유전적 다양성 등 집단에 대한 유전학적 모니터링 연구에도 활용되고 있다(Perez-Enriquez et al., 1999; Norris et al., 2000; Jeong et al., 2008). 뿐만 아니라 집단 간 유연관계 및 혈통 관계 확인이 가능하다고 밝혀져 있다(Thomas et al., 1994; Steinkellner et al., 1997; Liu, Z. J., & Cordes, J. F., 2004). Li et al.(2003)은 전복에 대한 6개의 Microsatellite DNA marker를 개발하였고, Park et al.(2003), An and Han(2006), Hara et al.(2007), Jeong et al.(2008) 등이 해당 마커를 이용하여 전복 집단의 특성을 확인하였으며, Hara and Sekino(2007)는 양식 및 자연집단에 대한 유전적 거리 기반의 친자확인을 수행하였다.

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 종묘방류사업의 경제적 효과는 동해권은 2.56배, 서해권은 1.34배 그리고 남해권은 9.45배로 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.

본 연구의 대상인 전복의 경우 Kim et al.(2006)은 울산 지역에서 2005년부터 2006년까지 총 3회에 걸쳐 표본을 포획하여 전복 패각 각정의 색깔을 기준으로 자연산과 방류산(초록색)을 구분하여 혼획률을 산정하였으며, 평균 혼획률은 85.0%였다. 또한, 표본 조사를 통해 확인된 연령별 방류산 전복 비중을 기반으로 1998년부터 2005년까지 이루어진 방류사업의 회수율을 산정하였다. 이러한 결과를 기반으로 편익/비용기법을 활용한 전복 종자의 총방류사업 효과는 평균 6.7~6.8배, 그리고 순방류사업 효과는 2.2~2.3배로 추정되었다.

이들 선행연구의 경우 혼획률 조사 단계에서 방류산과 자연산 구분 기준을 육안으로 파악했다는 공통점을 가지고 있다. 하지만 최근에는 수산종자 방류사업의 효과 분석을 위한 방법으로 유전학적 특성 등을 반영한 연구가 다수 이루어지고 있다(Nam et al., 2019; FIRA 2022). 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). 경제성 평가 결과 중 2000년부터 2008년까지의 전국 평균 전복 종자방류사업의 경제적 효과는 2.97배, 2014년부터 2016년까지의 경북 지역 경제적 효과는 2.58배 그리고 2015년부터 2017년까지의 전복 군산 지역 경제적 효과는 1.26배로 추정되었다

(FIRA, 2022).

본 연구에서는 지금까지 부산광역시 지역에서 경제성 분석이 이루어지지 않은 전복 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 방류비용 등을 누적하여 분석을 진행하였다. 또한, 어촌계 탐문 조사를 통하여 2020년부터 2022년까지 3개년간의 전복 종자방류사업 실태 조사 및 경제적 효과를 분석하고자 하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 부산광역시 기장군 신암어촌계의 전복 종자 방류 어장을 조사대상으로 하였다. 전복 종자방류사업의 경제적 효과를 분석하기 위해서는 방류된 종자의 혼획률 조사가 필요하다.

혼획률은 어획된 전체 어종 중에서 방류된 어종이 차지하는 비율을 의미하는 것으로, 일반적으로 방류된 어종에 대한 확인은 유전자 분석 등을 통해 가능하다(FIRA, 2022).

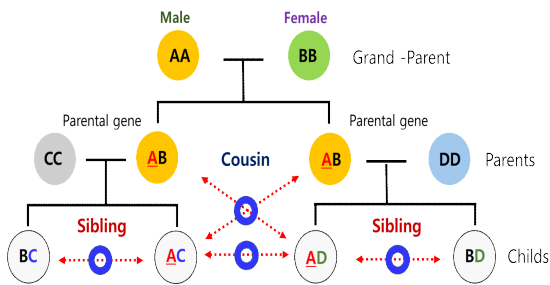
어촌계의 협조를 통해 확보한 시료는 개체별 외부형질 조사와 혼획률 분석을 위한 유전자 분석 시료 채취를 실시하였다. 유전자 분석 시료의 경우, 전복 근육 5g 이상을 절단한 후 99.9% 에틸알코올이 담겨있는 50ml conical tube에 고정하여 개체별로 시료 번호를 부여하였다.

보관된 시료의 DNA 추출은 연체동물 전용 DNA 추출 키트(E.Z.N.A mollusc DNA kit, USA)를 이용하였고, 한국수산자원공단에서 제공한 11개 microsatellite DNA marker를 이용하여 각 개체에 대한 유전형 분석을 수행하였다(FIRA, 2020). 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 유전형질을 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.

혼획률의 경우, 2020년~2022년 방류 종자 집단 및 재포획 집단의 유전형 데이터를 활용하였으며 혼획률 확인을 위한 혈연관계 분석은 [Fig. 1]의 형제 관계 분석(sibling analysis) 원리를 기반으로 분석하였다.



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

공공투자사업에 따른 경제적 효과를 평가하기 위해서 다양한 방법이 이용되지만, 일반적으로 편익/비용분석 기법(Benefit-Cost Ratio Method)이 가장 널리 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 부산지역 전복 종자방류사업의 경제적 타당성을 평가하기 위한 분석기법으로, 편익/비용분석을 실시하여 전복 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 편

익과 비용을 적정한 할인율에 의해 일정 시점의 현재가치로 환산하여 비교하는 방법이다.

편익/비용비율(B/C Ratio)

$$= \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots (1)$$

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 1 이상으로 나타날 경우 경제적 효과 즉, 경제성이 있는 것으로 평가된다. 이때 편익은 방류 후 방류산 품종을 어획함에 따라 얻는 어획금액이라고 할 수 있으며, 비용은 방류사업의 사업비용을 의미한다.

방류품종의 어획금액을 산정하기 위해 우선 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 비용 전체를 이용하였다.

본 연구에서는 2020년부터 2022년까지 최근 3개년 간 이루어진 전복 종자방류사업을 대상으로 경제적 효과를 분석하고자 한다. 2020년을 제외하고 2021년 및 2022년의 혼획률은 이전 연도에 방류된 종자가 포함되어 있으므로 연도별 비용을 계산하는데 있어서 방류량 및 사업비는 연도별로 누적하여 활용하였다. 예를 들어, 2022년에 어획조사한 표본에서는 2020년, 2021년 그리고 2022년에 방류된 종자가 포함되어 있으므로 2022년도 기준 경제적 효과를 산출하는데 있어서 방류량 및 사업비는 3개년 합계치로 산정하였다.

전복 종자방류사업의 경제적 효과를 분석하기 위해서는 편익 및 비용 비율을 산출하기 위한 자료가 필요하다. 구체적으로 방류사업의 편익을 산출하기 위해서는 전복 종자의 방류량, 전체 확

보 시료의 평균 중량, 혼획률, 그리고 시장가격 자료 등이 필요하다. 그리고 방류사업의 비용은 실제 전복 종자 방류사업을 위해 소요된 사업비 자료가 필요하다.

우선 편익을 산출하기 위하여 부산광역시 전복 방류사업 자료를 <Table 1>과 같이 확보하였다. 최근 3개년 부산광역시 지역의 전복 종자방류사업 현황을 살펴보면, 연도별로 8개 구·군에서 1회씩 이루어진 것을 알 수 있으며, 전반적으로 3~4월 중에 방류가 이루어졌다.

<Table 1> Abalone fry releasing program in Busan (cost unit : 1,000 won)

Area	Division	2020	2021	2022
Seo-gu	Date	03.12.	04.22	04.19.
	Number	38,462	76,767	58,911
	Cost	30,000	40,000	40,000
Yeongdo-gu	Date	04.21.	04.16.	04.07.
	Number	71,000	75,330	71,530
	Cost	50,000	50,000	50,000
Nam-gu	Date	03.20.	03.08.	03.24.
	Number	26,752	28,768	95,239
	Cost	21,000	21,000	60,000
Haundae-gu	Date	11.23.	04.20.	04.28.
	Number	118,421	184,804	133,334
	Cost	170,000	90,000	90,000
SaHa-gu	Date	03.17	03.30	03.30.
	Number	102,041	108,844	117,648
	Cost	80,000	80,000	80,000
Gangseo-gu	Date	04.03.	04.08.	04.06.
	Number	111,074	125,372	77,816
	Cost	80,000	90,000	50,000
Suycong-gu	Date	03.30.	04.28.	04.07.
	Number	12,970	41,376	32,863
	Cost	10,000	20,000	20,000
Gijang-gun	Date	03.24.	04.21.	04.08.
	Number	320,274	334,286	373,608
	Cost	248,000	178,000	250,000

확보된 방류사업 자료는 기장군 관내 어촌계 전체를 대상으로 하고 있어, 탐문 조사를 추가적으로 실시하여 해당 어촌계의 방류량 및 사업비를 조사하였다(<Table 2>). 구체적으로 기장군 신

암어촌계 해역에는 2020년부터 2022년까지 연간 약 4만 마리가 방류되었으며, 방류 금액은 연평균 약 26백만원 정도 소요되었다.

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 2020년 120마리, 2021년 150마리, 2022년 80마리였다.

<Table 2> Abalone fry releasing program in Gijang-gun

Year	Date	Number	Cost (1,000 won)
2020	03.24.	40,000	30,973
2021	04.21.	40,000	21,299
2022	04.08.	40,000	26,766

혼획률 산정을 위해서는 재포획조사를 통해 확보한 시료와 유전적 정보를 비교하기 위한 대상이 필요하다. 분석 비교 대상은 아래 <Table 3>과 같으며, 본 연구에서는 연도별 혼획률 산출에 있어서 비교 대상 자료를 누적하여 활용하였다.

<Table 3> Comparison target for genetic analysis

Year	Comparison target
2020	(‘20) Information on 30 fry releases
2021	(‘20) Information on 30 fry releases (‘21) Information on 50 fry releases
2022	(‘20) Information on 30 fry releases (‘21) Information on 50 fry releases (‘22) Information on 30 fry releases

마지막으로 방류사업의 편익, 즉 방류산 어획금액을 산출하기 위해서는 전복에 대한 시장가격 자료가 필요하다. 구체적으로 통계청의 부산광역시 계통 비계통 전체 생산 현황 자료를 활용하였다(<Table 4>).

<Table 4> Market price of Abalone in Busan

Year	Catch (A) (ton)	Amount (B) (1,000 won)	Market price (B/A)
2020	16	1,635,874	102,242
2021	13	1,080,694	83,130
2022*	8	878,711	109,846

*2022 : total from January to September

Source : Statistics Korea(2022)

Ⅲ. 연구 결과

부산시 기장군에 방류된 전복의 유전적 다양성 모니터링을 실시한 결과는 아래 <Table 5>에 정리된 바와 같다. 총 11개 마커에 대한 유전형을 확보하고 통계분석을 통해 집단별 유전변수에 대한 평균값을 나타내도록 하였다.

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

본 연구에서 확인된 2020년~2022년 방류 종자

집단의 HObs는 0.678~0.767, HExp는 0.745~0.808, 재포획 집단의 HObs는 0.671~0.735, HExp는 0.767-0.782로 나타났다. 그리고 집단 내 근교계수(Fis)는 방류된 종자 집단 0.039~0.089, 재포획 집단은 0.053~0.117로 나타났다. Jeong et al. (2008)에 의하면 국내 8개 지역 및 일본의 6개 지역의 재포획 전복 집단의 다양성 모니터링 조사하였을 때 HObs는 0.603~0.812, HExp는 0.761~0.846, 집단 내 근교계수는 0.023~0.103을 나타낸 것과 비교해보면 부산지역에서 방류한 전복 종자 집단 및 재포획 집단은 유전적으로 안정적인 상태로 관리가 잘 되고 있는 것으로 판단되었다.

외부형질 조사 및 유전자 분석 결과를 통해 파악한 연도별 혼획률, 평균 중량과 체장 분석 결과는 아래 <Table 6>에서 정리된 바와 같다. 연도별로 살펴보면, 먼저 2020년에 확보한 총 시료는 120마리로 이 중 유전자 분석을 통해 확인한 방류산은 14마리로 혼획률은 11.7%로 나타났다. 2021년 혼획률은 43.3%, 2022년 혼획률은 58.8%로 나타나 방류 이후 시간이 지남에 따라 방류산 전복의 혼획률이 증가하는 것으로 분석되었다. 평균 중량은 2020년에 23.6g, 2021년에 38.2g, 2022년에 34.2g으로 나타났다.

<Table 5> Population genetic analysis of Abalone in the study area

Year	Population	N	HObs	HExp	Fis	Gene diversity
2020	Fry	30	0.767	0.808	0.050	0.809
	Recapture	120	0.735	0.782	0.053	0.783
2021	Fry	50	0.678	0.745	0.089	0.745
	Recapture	150	0.671	0.767	0.117	0.767
2022	Fry	30	0.740	0.773	0.039	0.773
	Recapture	80	0.700	0.780	0.100	0.780

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

<Table 6> 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)
2020	120	14	11.7%	23.6	6.0 (4.2~7.5)
2021	150	65	43.3%	38.2	7.3 (4.6~14.1)
2022	80	47	58.8%	34.2	6.9 (5.4~9.1)

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

<Table 7> Benefit, Cost and B/C ratio in the study area

Year	Benefit (1,000 won)	Cost (1,000 won)	B/C Ratio	Note
2020	11,254	30,973	0.4	-
2021	110,002	52,272	2.1	Accumulated in 2020 and 2021 - Number of fry releasing : 80,000[(‘20) 40,000 + (‘21) 40,000] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 52,272[(‘20) 30,973 + (‘21) 21,299]
2022	265,076	79,038	3.4	Accumulated in 2020 and 2021 - Number of fry releasing : 120,000[(‘20) 40,000 + (‘21) 40,000 + (‘22) 40,000] - Cost of program(unit : 1,000 won) : 79,038[(‘20) 30,973 + (‘21) 21,299 + (‘22)26,766]

현장 조사 및 혼획률 분석을 바탕으로 부산광역시 기장군의 종자방류사업의 경제적 효과를 분석한 결과는 아래 <Table 7>에 나타난 바와 같다. 2020년의 경우 3개년 중 혼획률과 평균 증량은 가장 낮았으나, 시장가격은 높은 것으로 확인되었다. 방류 40,000마리에 평균 증량(23.6g)과 혼획률(11.7%)을 고려하면 방류산 어획량은 약 0.1ton 이라고 할 수 있다. 이에 시장가격 102,242천원/톤을 곱하면 방류산 전복의 어획금액은 약 11,254천원이다. 2020년 방류 사업비용은 30,973천원으로 어획금액에 비해 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 편익/비용비율은 0.4배로 평가되어 경제적 효과는 없는 것으로 추정되었다.

2021년의 경우 혼획률과 평균 증량은 전년도 대비 증가하였으나, 시장가격은 낮게 확인되었다. 혼획률 분석 결과는 2020년과 2021년 방류산이

포함되어 있으므로 어획량 산출에 있어서 2020년과 2021년의 방류마리수를 합산하여 80,000마리, 방류 사업비용은 52,272천원으로 적용하였다.

이에 따른 2021년 기준 방류산 어획량은 약 1.3톤으로 전년 대비 증가한 것으로 나타났으며, 시장 가격을 고려한 방류산 어획금액 또한 110,002천원으로 증가하였다. 분석 결과, 어획금액이 방류 사업비용보다 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 2021년 편익/비용비율은 2.1배로 나타나 2020년에 비해 경제적 효과가 있는 것으로 추정되었다.

2022년의 혼획률은 2020년부터 2022년까지의 결과를 포함하고 있기 때문에 분석 과정에서 방류마리수와 방류 사업비용의 3개년 합계 자료를 활용하였다. 2022년은 평균 증량은 감소하였으나, 혼획률과 시장가격은 가장 높게 확인되었다. 방

류산 어획량은 약 2.4톤이고 시장가격을 고려한 어획금액은 265,076천원으로 3개년 중 가장 높게 나타났다. 방류 사업비용은 3개년 합계 79,038천원으로 2021년과 마찬가지로 어획금액이 방류 사업비용보다 많은 것으로 나타났으며, 이를 적용한 2022년 편익/비용비율은 3.4배로 나타나 2020년과 2021년에 비해 경제적 효과가 높은 것으로 추정되었다.

최근 3개년 간 전복 종자방류사업의 연도별 경제적 효과를 분석한 결과, 2020년을 제외하고 2021년과 2022년에는 경제성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 방류산 전복의 성장 속도 및 시장가격 변동, 시료수 증감에 따른 결과로 판단된다. 전복의 각장을 살펴보면, 2020년 120마리 평균 6.0cm(4.2~7.5cm), 2021년 150마리 평균 7.3cm(4.6~14.1cm), 2022년 80마리 평균 6.9cm(5.4~9.1cm)로 확인되었으며, 시장가격은 2020년 102,242천원/톤, 2021년 83,130천원/톤, 2022년 109,846천원/톤으로 확인되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 부산광역시 기장군 지역에서 이루어진 최근 3개년 간의 전복 종자방류사업에 대하여 유전자 분석 기법을 활용한 경제적 효과를 분석해 보았다. 분석방법은 해당 지역에서의 전복 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, 각 연도별 방류 및 재포획 집단의 유전변수를 확인하였을 때 2008년, 2012년에 연구된 국내외 전복 집단과 유사한 수준으로 나타나 유전적 다양성이 잘 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

연도별 경제적 효과는 2020년에 0.4배를 제외하고, 2021년에는 2.1배 그리고 2022년에는 3.4배로 나타나 경제성을 확보하는 것으로 추정되었다. 즉, 전복 종자방류사업에 대한 경제적 효과를 확인할 수 있었다.

해양수산부의 수산종자 방류지침에 따르면, 각장 3.5cm 이상의 전복을 11월부터 익년 5월까지(단, 제주도는 3월~6월, 10월~12월)의 기간에 방류하도록 하고 있으며, 국내 전역에 방류를 진행하고 있다(MOF, 2022). 또한, 국립수산물과학원에 따르면, 양식전복은 2~3년 정도 키워야 상품 크기인 8cm 이상으로 출하할 수 있다. 연차별 크기를 살펴보면, 1년차의 경우 6cm, 2년차의 경우 7cm 내외 그리고 3년차의 경우 8cm 내외이다(NIFS, 2022). 현재 수산자원관리법 시행령에 따르면, 전복의 포획금지체장은 7cm로 설정되어 있으므로(MOLEG, 2022) 전복 종자가 방류가 이루어지고 최소 2년 이상의 기간이 지난 후에 상업적인 가치를 지닌다고 볼 수 있다. 그러므로 전복 종자방류사업의 경제적 효과 또한 방류 시작 후 최소 2~3년 이후부터 실질적으로 발생한다고 할 수 있다.

본 조사에서 수집한 전복 표본의 크기는 연령별 포획금지체장에 비해 작은 경우도 포함되어 있다. 따라서 향후 방류 종자의 판매 가능 크기까지의 성장성을 고려한다면 실질적인 경제적 효과는 더욱 클 것으로 예상된다. 특히 전복의 수명은 12년으로 알려져 있으므로(NIFS, 2022) 자연사망의 경우를 제외하면 방류사업의 경제적 효과는 향후 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점으로는 분석 자료 및 표본의 부족이라고 할 수 있다. 분석 자료의 부족은 현재 최근 3개년(2020~2022년)에 해당하는 혼획률 자료만을 활용하여 그 이전 시점에서의 효과를 확인하지 못했다는 점이다. 표본 자료의 부족은 2022년은 2021년에 비해 표본 수가 줄어들었다는 점이다. 구체적으로 2020년의 전복의 표본 수는 120마리, 2021년에는 150마리였으나, 2022년에는

80마리에 불과하였다.

향후 보다 정확한 종자방류사업의 경제적 효과를 분석하기 위해서는 연도별 표본수를 일정하게 유지시키거나 이전 연도의 방류품종을 고려하여 표본수를 확대시킨다면 보다 정확한 경제성 분석이 가능할 수 있을 것이다.

References

- An HS and Han SJ(2006). Isolation and characterization of microsatellite DNA markers in the Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. *Molecular Ecology Notes*, 6(1), 11~13.
<https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01041.x>
- Busan Metropolitan City(2022). Fry releasing program (Abalone, Blackhead seabream, Black scraper) in Busan over the past 4 years.
- Goudet J.F.S.T.A. T(1995). FSTAT (version 1.2): a computer program to calculate F-statistics. *Journal of heredity*, 86(6), 485~486.
<http://10.1093/oxfordjournals.jhered.a111627>
- Han JS(2022). Population genetic analysis and genetic kinship investigation of domestic sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). Doctoral dissertation), Pukyong National University.
- Hara M and Sekino M.(2007). Genetic differences between hatchery stocks and natural populations in Pacific Abalone (*Haliotis discus*) estimated using microsatellite DNA markers. *Marine biotechnology*, 9, 74~81.
<https://doi.org/10.1007/s10126-006-6060-2>
- Hong JB and Kim DH(2023). Economic Effectiveness of Black Scraper (*Thamnaconus modestus*) Fry Releasing Program in Busan, Republic of Korea. *Jour. Fish Mar. Sci. Edu.*, 35(2), 204~213.
<http://doi.org/10.13000/JFMSE.2023.4.35.2.204>
- Hwang JW, Lee KH, Jeong DS and Kim KS(2005). A Economic Effects of Fish Seed Release. *J Fish Bus Adm*, 36(1), 121~138.
- Jeong DS, Park CJ and Jeon CY(2008). Genetic Variability and Population Structura of Pacific Abalone *Haliotis discus hannai* Sampled from Stocked Areas Using Microsatellite DNA Markers. *J. Kor. Fish. Soc.*, 41(6), 466~470.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.6.466>
- Jones AG and Ardren WR(2003). Methods of parentage analysis in natural populations. *Molecular ecology*, 12(10), 2511~2523.
- 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. *Jour. Fish Mar. Sci. Edu.*, 18(3), 261~271.
- Korea Fisheries Resources Agency (FIRA)(2018).
<https://seed.fira.or.kr/>. Accessed 30 Dec 2018.
- 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.
- 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>
- Li Q, Park C, Endo T and Kijima A(2004). Loss of genetic variation at microsatellite loci in hatchery strains of the Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). *Aquaculture*, 235(1-4), 207~222.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.018>
- Li Q, Park C, Kobayashi T and Kijima A(2003). Inheritance of microsatellite DNA markers in the Pacific abalone *Haliotis discus hannai*. *Marine Biotechnology*, 5, 331~338.
<https://doi.org/10.1007/s10126-002-0116-8>
- Marshall TC, Slate J.B.K.E., Kruuk L.E.B and Pemberton JM(1998). Statistical confidence for likelihood based paternity inference in natural populations. *Molecular ecology*, 7(5), 639~655.
<http://10.1046/j.1365-294x.1998.00374.x>
- Ministry of Government Legislation (MOLEG)(2022). Enforcement Decree of the Fisheries Resource Management Act. <https://www.law.go.kr/>. Accessed 5 Dec 2022.
- 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.

- <http://dx.doi.org/10.35372/KMIOPR.2019.34.1.007>
National Institute of fisheries Science (NIFS)(2022). Information of species. <https://www.nifs.go.kr/frcenter>. Accessed 5 Dec 2022.
- National Institute of fisheries Science (NIFS)(2022). Ecology and life history. <https://www.nifs.go.kr/>. Accessed 5 Dec 2022.
- Nei M and Roychoudhury AK(1974). Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*, 76(2), 379~390.
<https://doi.org/10.1093/genetics/76.2.379>
- 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 CJ, Hara M, Lee, JH, Noh, JK, Kim HC, Park JW, and Kim SY(2012). Genetic population structure of the wild Pacific abalone (*Haliotis discus*) in Korea and Japan based on microsatellite DNA markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 86~95.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.04.006>
- Park KI, Kim YJ and KIM DH(2013). Analyzing Economic Effectiveness of the Sea Cucumber Seed Releasing Program in Gyeongsangbuk-do Region. *J. Fish. Bus. Adm.*, 44(1), 81~90.
<http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2013.44.1.081>
- Praipue P, Klinbunga S, Prasertlux S, Janpoom S, Rongmung P, Ratdee O and Khamnamtong B(2021). Analysis of Genetic Diversity in Wild and Domesticated Stocks of the Tropical Abalone *Haliotis asinina* by Microsatellite Polymorphism. *Genetics of Aquatic Organisms*, 6(2). GA501.
<https://doi.org/10.4194/ga501>
- 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)
- SEFc KM, Steinkellner H, Wagner HW, Glossi J and Regner F(1997). Application of microsatellite markers to parentage studies in grapevine. *VITIS-GEILWEILERHOF-*, 36, 179-184.
- 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.
<http://doi.org/10.4217/OPR.2010.32.4.483>
- Spielman D, Brook BW, Briscoe DA and Frankham R(2004). Does inbreeding and loss of genetic diversity decrease disease resistance?. *Conservation Genetics*, 5, 439~448.
<https://doi.org/10.1023/b:coge.0000041030.76598.cd>
- Statistics Korea(2021). Fishery production survey. <https://kosis.kr>. Accessed 15 Dec 2022.
- 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.cd>
- Wright S(1922). Coefficients of inbreeding and relationship. *The American Naturalist*, 56(645), 330~338.
- Yang DW(2023). Economic Effectiveness of the Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Certified Fry Releasing Program in Korea. The Graduate School, Pukyong National University.

-
- Received : 25 October, 2023
 - Revised : 04 December, 2023
 - Accepted : 08 December, 2023