

발간등록번호
79-6500396-000019-10



위대한 도민시대, 사람과 자연이 행복한 제주

2023~2024년도 소라 TAC 자원평가 보고서



제주특별자치도
Jeju Special Self-Governing Province
해양수산연구원

발간등록번호
79-6500396-000019-10

위대한 도민시대, 사람과 자연이 행복한 제주



2023~2024년도 소라 TAC 자원평가 보고서



목 차

I. 서론	1
II. 자원평가 방법	3
1) 자원량 산정 및 평가	3
2) 생물학적 생태특성 추정 및 자원량 추정	3
3) 최대지속적생산량(MSY) 추정	4
4) 가입당생산량 모델(yield-per-recruit models)에 의한 추정 .	5
5) ABC 추정시스템	6
III. 결과	8
1) 소라 서식실태조사	8
2) 자원량 산정 및 평가	9
3) 자원량 평가	13
IV. 고찰	23
V. 참고문헌	25

I. 서론

소라(*Batillus cornutus*, Lightfoot, 1786)는 연체동물 소라과에 속하는 종으로 일본, 중국, 우리나라 등에 주로 분포하며 조간대 암반지역에 서식하다가 성장을 하면서 수심 20m 내외의 암초지역에 분포한다. 우리나라에서는 주로 제주도 연안에 분포하지만 진도 거제도 등 주로 남해안 일대 및 동해 울릉도 대마난류의 영향을 받는 수심 약 30m 이내의 해역에도 소량 분포한다고 알려져 있다.

소라는 깊은 곳에서 각고 12cm이상 개체도 발견되지만 주로 6~10cm급에서 주요 산란급으로 이루어지며, 치패는 간조시 노출되는 조간대에서 서식하며 점차 성장하면서 깊은 곳으로 이동한다. 생체적으로 자웅이체로 수컷의 생식소는 유백색이고 암컷은 녹색이다. 내해에 사는 소라의 가시는 짧거나 없는 개체도 있으며, 조류가 강하고 외해에 분포하는 소라의 가시는 크다.

제주도산 소라는 식용으로 가치가 높으며 1970년대 이후 주요 대일 수출품목으로 자리매김 함으로써 해녀에 있어서는 최고의 소득 품종으로 알려져 있다. 생산량에 따라 어민소득에 절대적인 영향을 미쳐왔고 공동어장을 이용하는 해녀들에게 최대 관심사가 되어 왔다.

이러한 소라자원은 1960년대 502톤, 1985년 3,163톤, 1995년 2,785톤, 2011년 1,847톤, 2012년 2025톤 등 과도한 어획의 영향으로 연간 어획량이 감소함에 따라 2000년 이후부터 자원의 합리적인 관리를 위해 국가 총허용어획량(TAC, Total Allowable Catch) 제도 대상종으로 관리되고 있다.

TAC제도는 개별어종(단일어종)에 대해 연간 잡을 수 있는 어획

량을 설정하여 그 한도내에서만 어획을 허용하여 자원을 관리하는 제도로써 제주소라는 제주특별도지사가 자원보호가 필요하다고 인정하여 신청한 어종이다. 소라 TAC 관리는 2011년부터 중앙관리에서 제주특별자치도지사 관리로 전환하여 자원관리에 효율화를 도모하고 있다.

우리나라의 소라에 대한 연구는 소라의 산란과 초기발생 중심으로 Rho(1976), 상대성장(Hwang & Chung, 1979), 표지방류에 의한 성장(Chung, 1983), 정자의 미세구조(Lee, 1984) 및 각고조성에 의한 성장분석(Chang & Chung, 2001)이 있다. 자원평가에 대한 연구로는 소라의 자원평가(Chang et al., 2002)가 있다.

따라서 이 조사는 제주소라에 대한 어획통계자료와 자원생태학적 특성치 및 기타생물자료를 이용하여 소라자원의 생물학적허용량을 제시하고 합리적인 관리방안을 도출하고자 함이다.

II. 자원평가 방법

1) 자원량 산정 및 평가

자원량 산정을 위한 어획통계는 한국수산자원공단 제주지사 TAC 수산자원조사원이 도내 전체 어촌계를 방문하여 조사한 어획량(비계통량 포함)을 사용하였으며, 어업종사자 자료 등은 해양수산현황(2022)을 활용하였다. 소라의 자원생물학적 특성치 중 성장을 파악하기 위하여 사용된 각고조성 자료는 2022년 하반기부터 2023년 상반기까지 표본어장 4개소에 총 4회 조사된 개체들의 각고 및 중량 측정자료를 이용하였다.

2) 생물학적 생태특성 추정 및 자원량 추정

성장특성치들은 Chang & Chung(2000)에 의해 추정된 값들을 이용하였다. 소라의 최대각고 L_{∞} 는 12.503cm, 성장계수(K)는 0.392/year, 각고가 0일 때 이론적인 연령 t_0 는 0.917이다.

생산율(S)은 각 연령별 어획개체수를 이용하였다. 생산율 추정에는 어획물곡선법(Edser, 1908)을 사용하였다.

순간자연사망계수(M)는 Alverson and Carney(1975) 방법, Rikhter and Efanov(1976) 방법, Alagaraja(1984) 방법 및 Zhang and Megrey(2006) 방법으로 추정하였으며, 위의 네 가지 방법으로 추정된 순간자연사망계수의 평균값을 자원평가 자료로 사용하였다.

순간어획사망계수(F)는 순간전사망계수(Z)에서 순간자연사망계수(M)를 제한 값으로 구하였다.

어획개시연령(t_c)는 조사된 조사의 체장조성자료에 성장식을 적용하여 Pauly(1982)의 방법으로 추정하였다.

3) 최대지속적생산량(MSY) 추정

잉여생산량 모델은 생물 생체량의 재생산율과 어획율을 파악하여 자원을 평가하는 모델로 생체량의 크기는 환경요인과 생물체 간의 상호작용에 의해 결정된다. 자연상태에서 하나의 개체군은 그 생체량이 증가하거나 감소하지 않는 상태에 놓일 수 있게 되는데, 이때는 개체의 성장률과 가입률이 자연사망계수와 같게 되는 상태로 평형상태(equilibrium state)라 부른다. 생물 자체 간의 상호작용은 흔히 밀도 종속적(density-dependent) 과정이라고도 부르는데, 이 과정에서는 생체량이 증가함에 따라 성장률이나 생산율, 혹은 가입률이 점차 감소하다가 어느 시점에 이르면 하나의 평형점에 도달하게 된다. 어획은 평형점에 도달된 생체량을 감소시키고 이로 인해 그 자원은 성장률이나 생산율, 혹은 가입률이 증가하고, 마침내는 잉여량을 생산하게 된다. 잉여생산량 모델은 자원크기의 변화만 다루게 되므로 그 자원의 연령분포와 같은 세부적인 속성은 고려하지 않는다.

Schaefer(1954, 1957) 모델은 어획량(Y)을 어획노력량(f)으로 나눈 단위노력당어획량($U=Y/f$)이 어획노력량과는 반비례의 관계에 있다고 가정하여 아래의 식을 제시하였다.

$$U = U_{\infty} - (U_{\infty} q/r)f$$

여기서 U_{∞} 는 이론적 최대단위노력어획량, q 는 어획률, r 은 개체군 성장률이다.

매년의 어획노력량과 단위노력어획량 자료를 사용하여 모델의 파라미터를 추정한 후, 위 식을 다음과 같이 2차식으로 변형시켜 MSY 와 이때의 어획노력량(f_{MSY})을 구한다. 즉, $U = Y/f$ 이므로 이

$$Y = U_{\infty} f - (U_{\infty} q/r)f^2$$

식은 위로 볼록한 포물선식이므로 꼭지점이 최대지속적생산량 (MSY 이고 이때의 어획노력량이 f_{MSY} 이므로 포물선식을 미분해서 0으로 놓고 $MSY=(U_{\infty}r/4q)$ 와 $f_{MSY}=(r/2q)$ 를 추정한다.

Fox(1974) 모델은 자원크기가 어획노력량의 함수로서 직선적인 감소보다는 오히려 지수함수적으로 감소한다고 가정하여, Gompertz의 개체군 성장식을 적용하였다. $U^* = U_{\infty}\exp(-qf/r)$ 식의 매개변수를 추정하기 위하여 이 식을 선형화 시키면 $\ln U^* = \ln U_{\infty} - \frac{q}{r}f$ 의 직선식을 얻게 된다. 그러므로 이 직선식의 회귀계수를 구하기 위하여 단위노력당어획량 자료에 대수를 취해 $\ln CPUE$ 를 Y 로 하고, 어획노력량을 X 로 하여 $Y=a+bX$ 의 기울기 b 와 Y 절편 a 를 엑셀의 회귀분석을 사용하여 추정한다.

4) 가입당생산량 모델(yield-per-recruit models)에 의한 추정

소라 자원이 최대의 가입당생산량을 만들게 되는 적정어획사망계수(F) 및 적정어획개시연령(t_c)은 Beverton and Holt(1957) 모델을 이용하여 추정하였다.

$$\frac{Y}{R} = F \cdot \exp[-M(t_c - t_r)] W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)])$$

여기서, F 는 순간어획사망계수, M 은 순간자연사망계수, t_c 는 어획개시연령, t_r 은 어장가입연령, W_{∞} 는 이론적 최대체중, K 는 성장계수, T_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령, t_L 은 최고연령, $U_0=1$,

$U_1=-3, U_2=3, U_3=-1$ 이다. 이 모델식에서 최대의 변수는 F 와 t_c 이고 나머지는 상수들이다.

5) ABC 추정시스템

TAC 산정을 위한 ABC 추정시스템은 정보수준에 따라 5단계로 구분되어 추정된다.

1단계 정보수준의 경우 연도별 연령별 B 와 $B_{MSY}, F_{MSY}, F_{X\%}$ 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$1a) \text{ 자원상태 : } B/B_{MSY} > 1$$

$$F_{ABC} \leq F_{MSY} \text{ 나 } F_{40\%} \text{ 중 낮은 값}$$

$$1b) \text{ 자원상태 : } a < B/B_{MSY} \leq 1$$

$$F_{ABC} \leq F_{MSY} \times (B/B_{MSY-a}) / (1-a) \text{ 나 } F_{30\%} \text{ 중 낮은 값}$$

$$1c) \text{ 자원상태 : } B/B_{MSY} < a : F_{ABC} = 0$$

2단계 정보수준의 경우 최근년도 연령별 $B, B_{X\%}, F_{X\%}, M$ 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$2a) \text{ 자원상태 : } B/B_{40\%} > 1$$

$$F_{ABC} \leq F_{40\%}$$

$$2b) \text{ 자원상태 : } a < B/B_{40\%} \leq 1$$

$$F_{ABC} \leq F_{40\%} \times (B/B_{40\%-a}) / (1-a)$$

$$2c) \text{ 자원상태 : } B/B_{30\%} \leq a : F_{ABC} = 0$$

3단계 정보수준의 경우 최근년도 연령별 $B, F_{0.1}, M$ 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$F_{ABC} \leq F_{0.1}$$

4단계 정보수준은 연도별 Y 와 $f(\text{CPUE})$ 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$4a) \text{ 자원상태 : } \text{CPUE} / \text{CPUE}_{\text{MSY}} > 1$$

$$\text{ABC} \leq \text{MSY}$$

$$4b) \text{ 자원상태 : } a < \text{CPUE} / \text{CPUE}_{\text{MSY}} \leq 1$$

$$\text{ABC} \leq \text{MSY} \times (\text{CPUE}/\text{CPUE}_{\text{MSY}-a})/(1-a)$$

$$4c) \text{ 자원상태 : } \text{CPUE} / \text{CPUE}_{\text{MSY}} \leq a : \text{ABC} = 0$$

5단계 정보수준의 경우 연도별 Y 를 파라미터로 하여 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$\text{ABC} \leq 0.75 \times Y_{\text{AM}}(\text{적정기간 어획량 산술평균치})$$

주1) 1단계~3단계의 ABC 계산식

$$\text{ABC} = \sum_{i=0}^{t_{\lambda}} \frac{B_i F_{\text{ABC}}}{M + F_{\text{ABC}}} (1 - e^{-(M + F_{\text{ABC}})})$$

단, B_i : i 세초 어획대상 자원량, M : 순간자연사망계수,

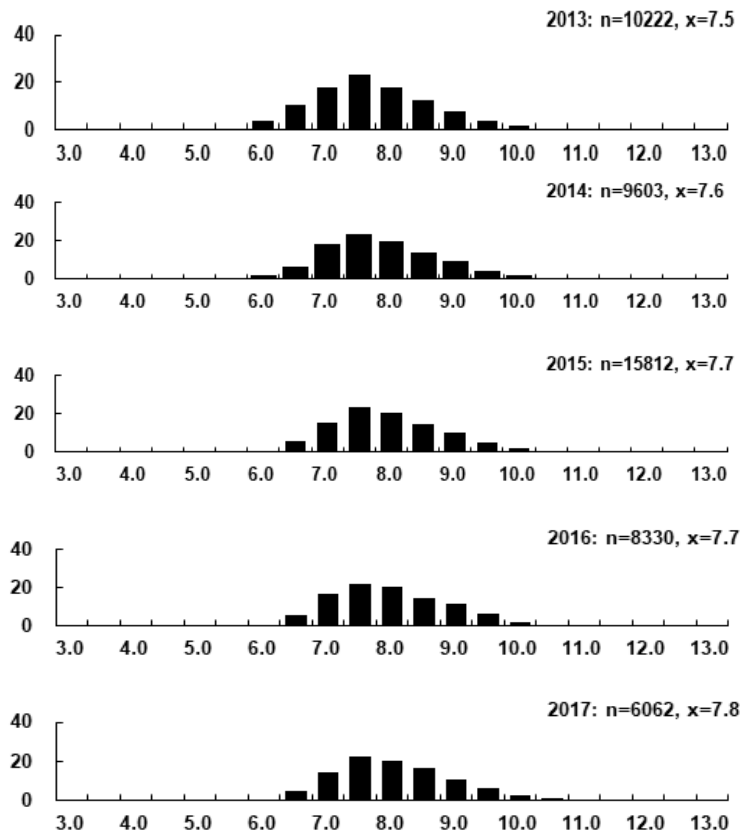
F_{ABC} : 정보수준과 자원생태에 따라 결정되는 순간어획사망계수

주2) 1, 2, 4 단계의 $a = 0.05$

Ⅲ. 결과

1) 소라 서식실태조사

2013~2022년까지 제주도 연안의 마을어장에서 해녀들에 의해 어획된 소라의 각고조성을 살펴보면, 어획된 소라의 크기는 각고 3.9~12.5cm의 범위에서 분포하고 있었으며 거의 모든 연도의 각고는 6.5~8.5cm 범위에서 많은 분포를 나타내고 있었다. 7cm 이상의 크기를 보이는 개체의 비율은 2006년 65% 내외를 보이던 것이 2007~2013년 80%를 보이다가 2014년 91.8%, 2015년 93%, 2016년 94%, 2017년 94%, 2018년 94%, 2019년 92%, 2020년 97%, 2021년 99%, 2022년 99%로 최근 9년간 90% 이상의 높은 비율을 보이고 있었다(그림 1).



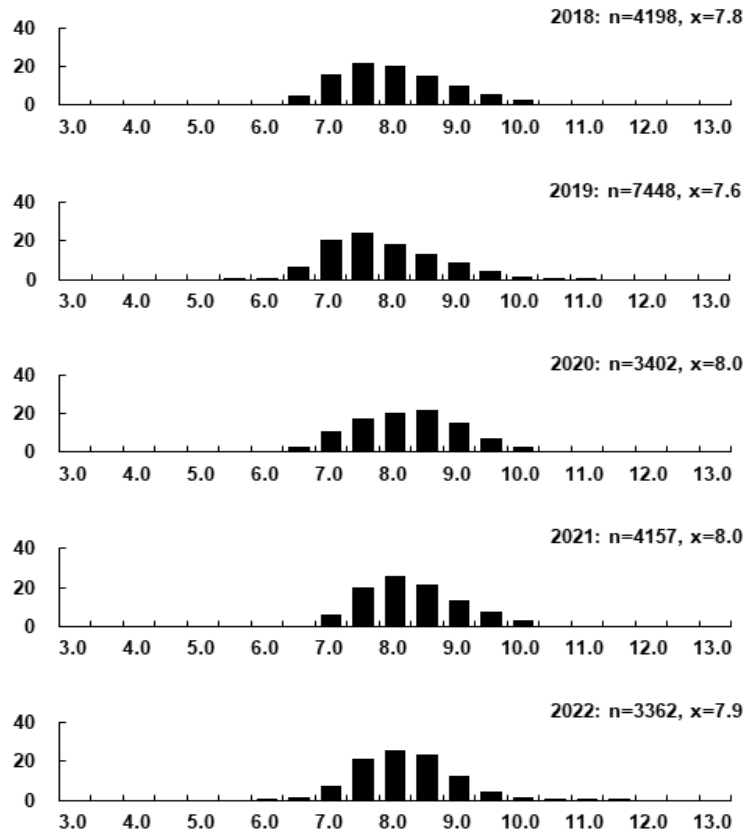


그림 1. 연도별 소라 각고조성(2013~2022년)

2) 자원량 산정 및 평가

2-1) 소라 TAC 동향

제주소라는 마을어장 수요 소득원으로서 1980년대 중반까지 생산량이 꾸준하게 증가하였으나 이후 자원량이 급격하게 감소함에 따라 자원관리 필요성이 제기되었다. 이에 대한 대안으로 1991년 10월 수산관련 연구·행정·지도기관과 수협이 공동으로 자원량 회복을 위해 「소라생산 및 자원관리지침」을 마련하여 자율적으로 TAC(Total Allowable Catch) 제도를 실시하였으며, 이후 2001년부터 수산자원관리법 제36조(총허용어획량의 설정), 시행령 제20조(총허용어획량계획의 수립 및 변경)에 의거하여 소라 TAC를 시행하고 있다.

소라 어획량은 소라 TAC 실시 후 서서히 회복되면서 1994년부터 2000년까지 연간어획량은 약 2,000~2,700톤을 기록하는 등 1970년대 말 수준까지 소라자원이 회복하게 되었다. 그러나 2001년 이후 소라 어획량은 다시 감소추세를 보였으며, 2012년부터 2018년까지 다시 증가추세를 보였다. 2018년의 경우 TAC 시행계획 변경으로 시행시기가 기존 1~12월까지에서 7월~다음해 6월까지로 변경되어 TAC 배정량이 많았으며, 2022년 하반기~2023년 상반기의 제주소라 (계통)어획량은 1,567톤을 기록하였다(그림 2).

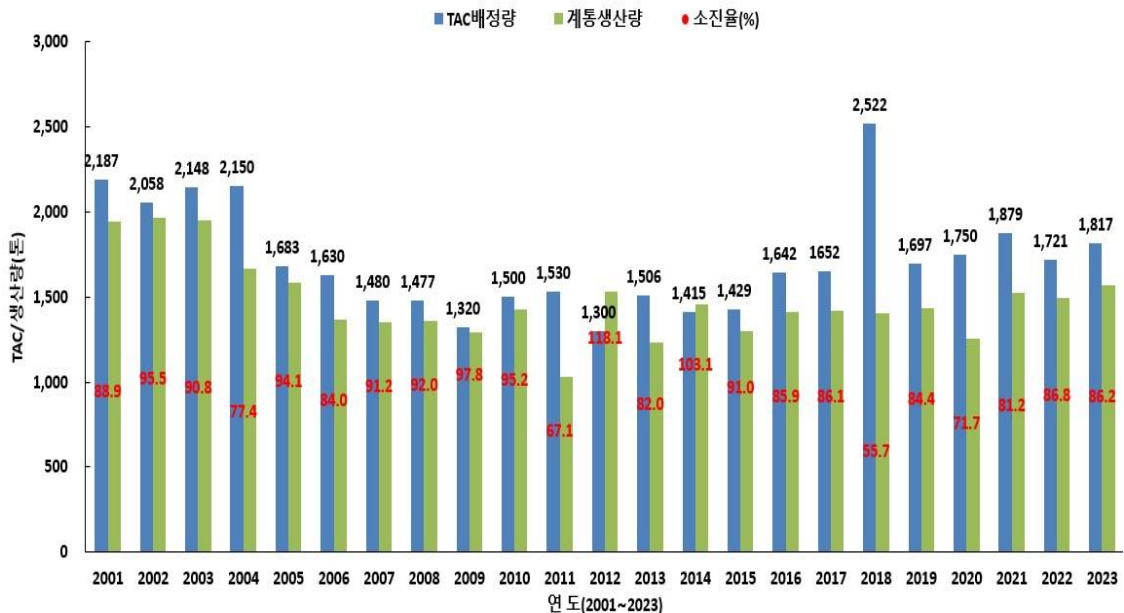


그림 1. 소라 TAC 및 소진율(2001~2023년)

2-2) 계통, 비계통생산량

소라 계통생산량과 비계통생산량을 조사하기 위하여 수산자원공단 제주지사에서 매월 보고되는 어촌계 생산량 조사자료를 활용하였다. 연도별 비계통생산량 비율은 지속적으로 증가하여 2018년 56.6%로 최고치를 기록하였으며, 이후 점차 감소하기 시작하여 2022년 하반기~2023년 상반기 비계통 비율은 13.7%를 기록하였다. 비계통생산량을 고려한 2022년 하반기~2023년 상반기의 제주소라

총생산량은 1,782톤(계통 1,567톤, 비계통 215톤)으로 나타났다.

표 1. 소라 TAC 배정량 및 생산량(2001~2023년)

(단위 : 톤)

연도	TAC	계통	비계통	비계통 비율(%)	총생산량	해녀 수(명)
2001	2,187	1,944	39	2.0	1,944	5,047
2002	2,058	1,965	29	1.5	1,965	5,659
2003	2,148	1,951	84	4.3	1,951	5,650
2004	2,150	1,665	98	5.9	1,665	5,650
2005	1,683	1,584	92	5.8	1,584	5,545
2006	1,630	1,369	72	5.3	1,369	5,406
2007	1,480	1,350	123	9.1	1,350	5,279
2008	1,477	1,359	122	9.0	1,359	5,244
2009	1,320	1,291	234	18.1	1,291	5,095
2010	1,500	1,428	183	12.8	1,428	4,995
2011	1,530	1,027	200	19.4	1,227	4,881
2012	1,300	1,535	298	19.4	1,833	4,574
2013	1,506	1,235	534	43.3	1,769	4,507
2014	1,415	1,459	515	35.3	1,974	4,415
2015	1,429	1,301	603	46.3	1,903	4,377
2016	1,642	1,411	678	48.1	2,089	4,005
2017	1,652	1,422	800	56.3	2,222	3,985
2018	2,522	1,406	795	56.6	2,202	3,898
2019	1,697	1,432	513	35.8	1,946	3,820
2020	1,750	1,254	286	22.8	1,539	3,613
2021	1,879	1,525	169	11.1	1,694	3,613
2022	1,721	1,493	210	14.1	1,703	3,437
2023	1,817	1,567	215	13.7	1,782	3,226

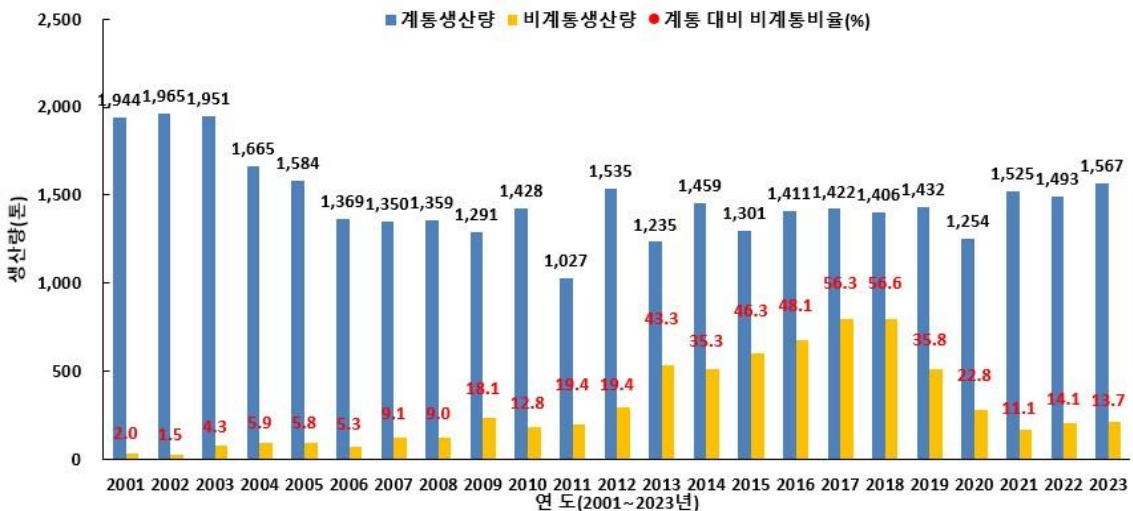


그림 2. 계통생산량 및 비계통생산량(2001~2023년)

2-3) CPUE(단위노력당어획량)

단위노력당어획량(CPUE)이란 총어획량을 총어획노력으로 나눈 것으로 소라 CPUE를 구하기 위하여 해녀 수를 어획노력량으로 대입하여 계산하였다. CPUE는 소라 어획량과 유사한 형태로 변화하고 있는데 80년대 후반에 약 70kg까지 급격히 감소하던 것이 증가하기 시작하여 90년대 중반에는 약 470kg까지 회복되었다. 하지만 2000년대 이후 CPUE는 256~398kg을 보이며 감소하다 2012년 이후 해녀 수가 지속적으로 감소함에 따라 CPUE는 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 2023년 CPUE는 553kg을 기록하였다(그림 3).

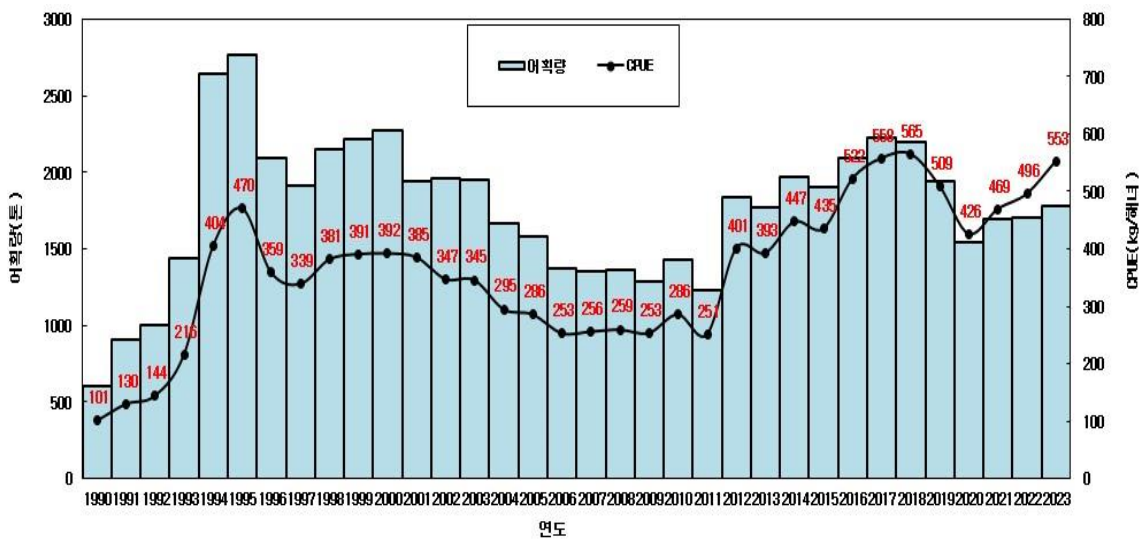


그림 3. 소라 어획량 및 CPUE 변동 현황(1990~2023년)

소라의 주 어획 시기는 금어기(6~8월, 추자 7~9월)를 제외한 시기에 지속적으로 어획이 되고 있지만, 특히 10~12월 연중 소라 생산량의 52.6%를 차지하고 있는 실정이며(그림 4), 연도별 소라 평균 단가는 2012년 5,045원을 기준으로 지속적으로 하락하다 2021년 3,000원을 기록하였으며, 2022년 소라 단가는 전년에 비해 약 348원이 올라 3,348원대에 가격이 형성되고 있다(그림 5).

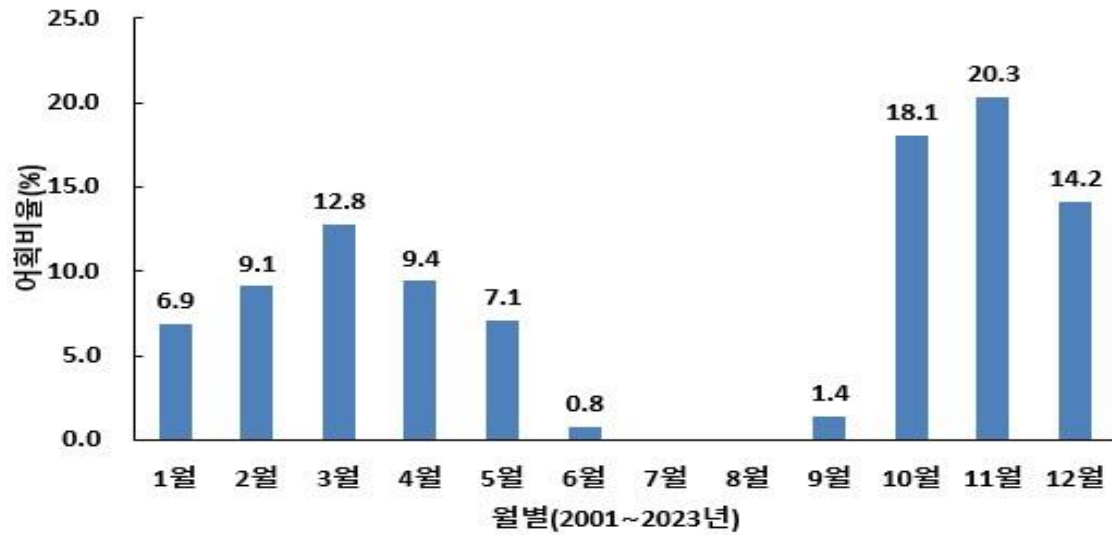


그림 4. 월별 소라 어획비율(2001~2023년)

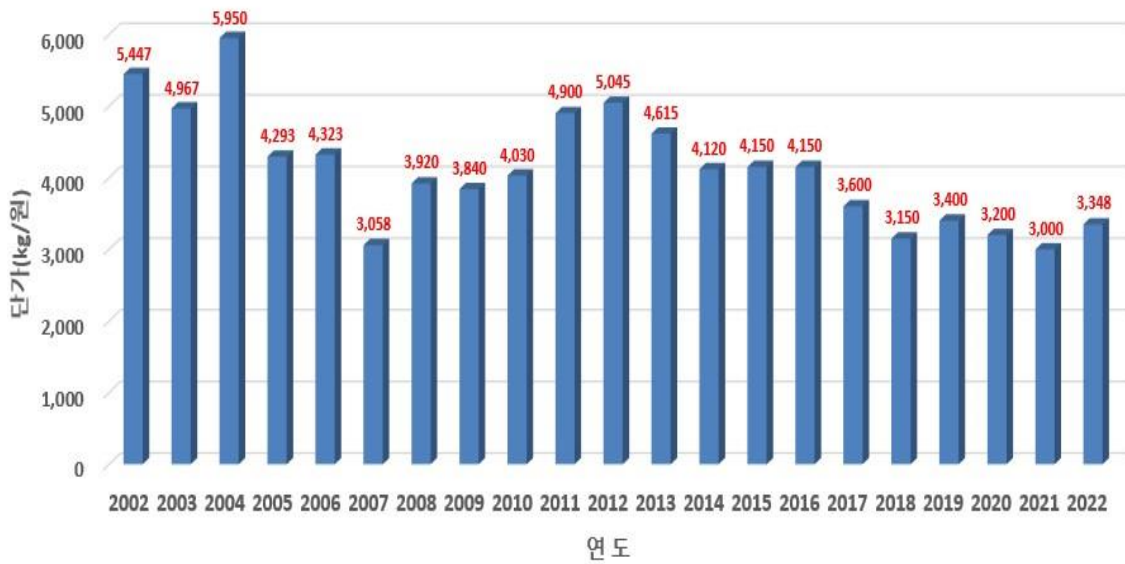


그림 5. 도내 소라 평균 단가(2002~2022년)

3) 자원량 평가

3-1) 연도별 자원량

생체량을 기초로 한 연급군분석(biomass-based cohort analysis)을 사용하여(Zhang and Sullivan, 1988) 연도별 소라 자원량을 추정하는 결과, 소라 자원량은 2001년에 4,200톤으로 최고치를 보인

후 감소추세를 보여 2006년 2,532톤으로 최저치를 기록하였으며 이후 증가추세를 보여 2016년 4,092톤을 기록하였다. 이후 감소하다가 2020년 3,289톤 이후 서서히 증가하여 2022년 소라 자원량 추정결과 3,417톤으로 나타났다(그림 6).

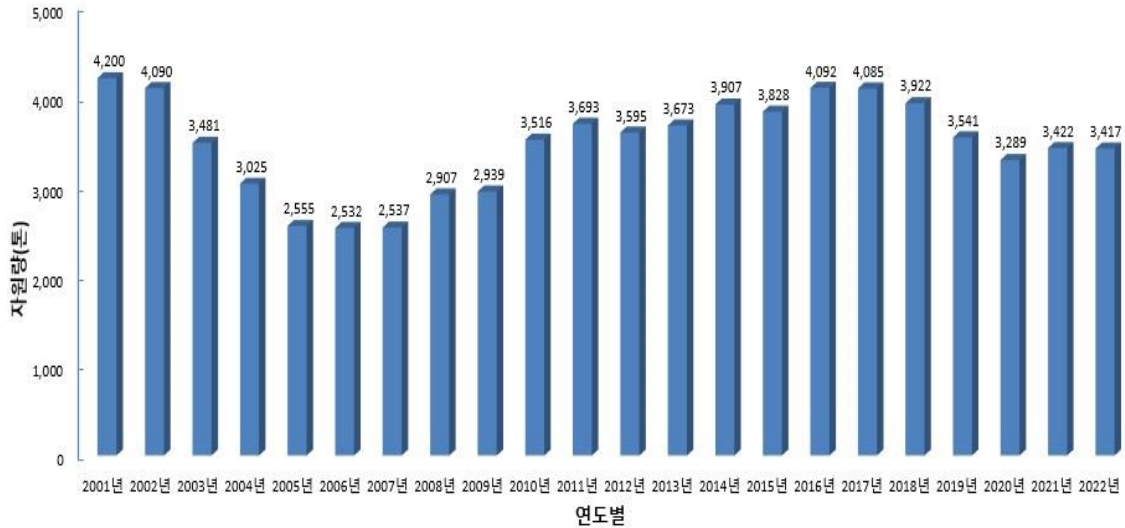


그림 6. 연도별 소라 자원량(2001~2022년)

3-2) 자원생태학적 특성치

· 연령조성

제주소라에 대한 연령별 자원량은 2001년 이후 2003~2004년을 제외하고 최근까지 저연령군인 2~3세의 자원량은 각각 1,000톤 이상의 추세가 지속되고 있으며, 4세의 경우 2001~2004년 700톤대 자원량을 보이다가 2005년 264톤으로 급격히 감소된 이후 서서히 증가하여 2022년 현재 약 430톤 가량 자원이 유지되고 있는 것으로 추정된다. 5~7세의 고연령군의 자원량은 2004년 209톤 이후 2005년부터 2022년 현재까지 17~67톤 범위를 유지하고 있으며 과거에 비해 5~6년 소라개체군이 감소한 것으로 확인되었다(그림 7).

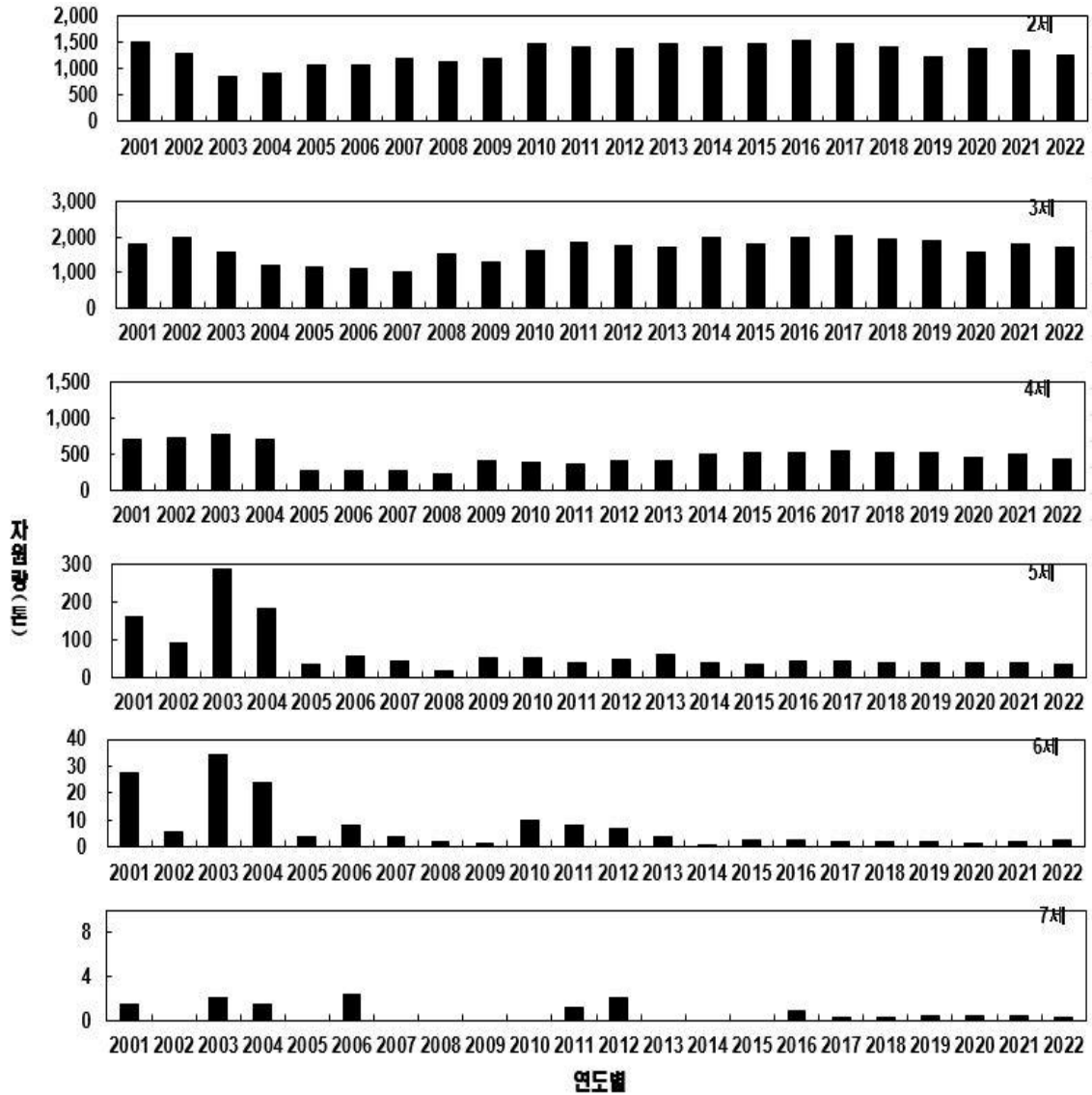


그림 7. 소라 연령별 자원량(2001~2022년)

· 생산율 추정

생산율(S)은 소라의 성장계수를 이용하여 추정된 어획물의 연령조성으로 추정하였다(표 2, 3).

표 2. 제주 소라의 연령조성

연령(세)	1	2	3	4	5	6	7
비율(%)	15.5	16.2	16.4	13.8	10.3	8.6	0

생잔율 추정방법 중 Edser의 곡선법을 이용하여 Heincke(1913) 방법으로 여러 곡선에서 사망률을 계산하였으며 이는 Jackson(1939) 방법보다 생잔율이 높을 값을 보였다. 따라서 생잔율은 0.0667로 결정하였다. 이를 순간전사망계수(Z)로 환산하면 2.7082/year이었다.

표 3. 어획물 곡선을 이용한 전환연령 계산표

실제 연령(x)	3	4	5	6	7
전환 연령(i)	0	1	2	3	4
$\ln P_i$	16.4	13.8	10.3	8.6	0

· 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수

순간자연사망계수(M)는 Alverson and Carney 방법, Rikthter and Efanov 방법, Alagaraja 방법 및 Zhang and Megrey 방법으로 추정하였으며, 위의 네 가지 방법으로 추정된 순간자연사망계수의 평균값을 자원평가 자료로 사용하였다(표 4). 그 결과 순간자연사망계수는 0.5330으로 나타났으며 순간어획사망계수(F)는 2.1752/year로 추정되었다.

표 4. 제주 소라의 순간자연사망계수 추정값

추정방법	M 추정값	입력자료
Alverson and Carney	0.5130	$T_m=8\text{year}$, $K:0.392/\text{year}$
Rikthter and Efanov	0.5756	$T=3.5\text{year}$
Alagaraja	0.4622	$T_m=8\text{year}$
Zhang and Megrey	0.5814	$T_m=8\text{year}$, $\beta=2.6313$, $C_i=0.44$

· 어획개시연령의 추정

어획개시연령(t_c)은 Pauly법에 의해 추정하였으며, 3.176세로 나타났다. 어획개시연령 추정을 위한 parameter는 아래와 같다.

$$t_0 = 0.917 \text{ year}, t_L = 8 \text{ year}, t_r = 0.55 \text{ year},$$

$$W_{inf} = 390 \text{ g}, L_{inf}(=L_{\infty}) = 12.503 \text{ cm}, K = 0.392 \text{ year}^{-1}$$

3-3) 자원평가

가. 잉여생산량모델에 의한 추정

2001~2023년에 제주도 소라에 대한 어획노력량(해녀 수), 어획량 및 단위노력당어획량(CPUE)을 조사하여 Schaefer 모델과 Fox 모델을 추정하였다(표 5).

표 5. 제주 소라의 단위노력당어획량(CPUE)

(단위 : 톤)

연도	총생산량	해녀 수(명)	CPUE(kg/1인)
2001	1,944	5,047	385.12
2002	1,965	5,659	347.24
2003	1,951	5,650	345.26
2004	1,665	5,650	294.73
2005	1,584	5,545	285.70
2006	1,369	5,406	253.17
2007	1,350	5,279	255.80
2008	1,359	5,244	259.21
2009	1,291	5,095	253.44
2010	1,428	4,995	285.96
2011	1,227	4,881	251.42
2012	1,833	4,574	400.78

연도	총생산량	해녀 수(명)	CPUE(kg/1인)
2013	1,769	4,507	392.55
2014	1,974	4,415	447.03
2015	1,903	4,377	434.86
2016	2,089	4,005	521.66
2017	2,222	3,985	557.56
2018	2,202	3,898	564.82
2019	1,946	3,820	509.37
2020	1,539	3,613	425.96
2021	1,694	3,613	468.86
2022	1,703	3,437	495.57
2023	1,782	3,226	552.50

잉여생산량 모델에 적용한 결과, Schaefer 모델은 평형어획량(MSY) 1,834톤이었으며 이때의 어획노력량(해녀 수)은 4,560명이었다(그림 23). Fox 모델을 적용한 결과에서 평형어획량(MSY)은 1,819톤이었으며 이때의 어획노력량(해녀 수)은 3,316명이었다(그림 24).

MSY의 역할은 단순히 현재의 생산량을 MSY 수준의 생산량과 비교해봄으로써 TAC의 관리목표치를 결정하는 수단이기보단 현재의 관리수준을 논의하는 수단이다. MSY는 더 많은 노력량 투입이 반드시 더 많은 수확을 얻는 것을 의미하는 것이 아니며 어떤 수준에 도달하면 더 많은 노력량의 투입으로 더 적은 수확을 얻게 된다는 중요한 개념을 가지고 있다.

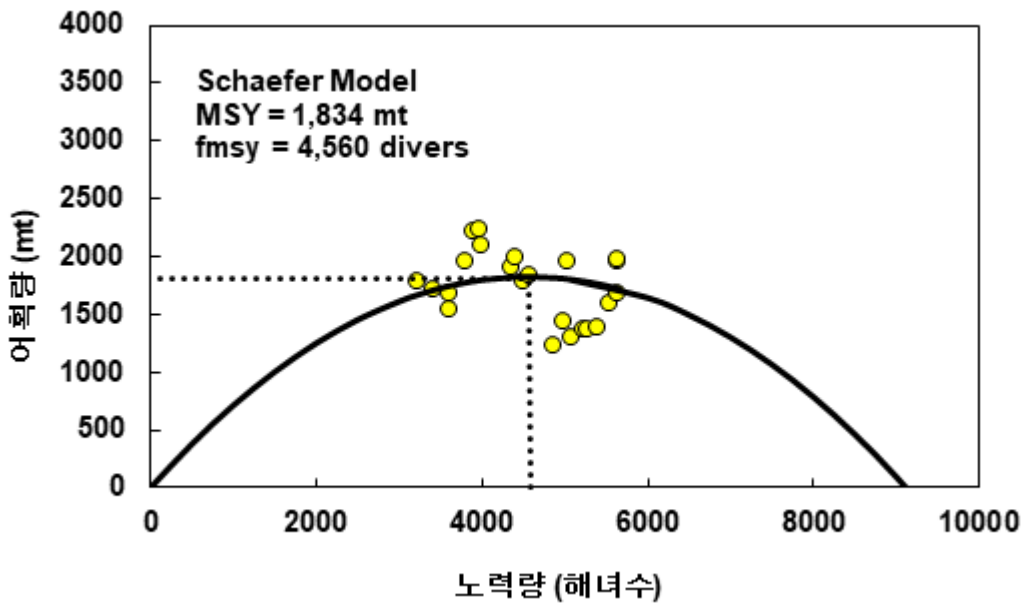


그림 8. Schaefer 모델에 의한 잉여생산량

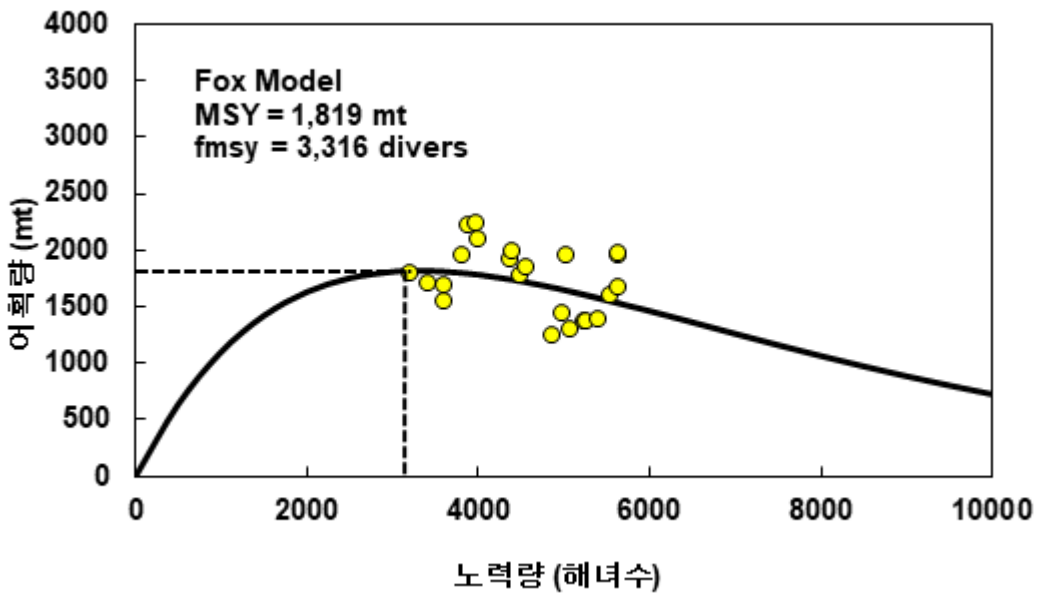


그림 9. Fox 모델에 의한 잉여생산량

2023~2024년 제주 소라자원 MSY 산정 요청에 대한 검토 결과, 제주도 소라의 간접자원량지수인 CPUE는 80년대 중반 과도한 어획에 의하여 감소한 시점 이후 자율적 TAC 도입으로 자원이 증

가한 시점을 포함하여 통계적으로 유의한 증감변동기간 동안 잉여생산모델인 FOX 모델을 적용하였다. 그 결과, 최대지속적어획량(MSY)은 1,819톤이었으며, 이 때의 어획노력량(fMSY)은 3,316명으로 분석되었다(그림 9).

나. 가입당생산량 모델(yield-per-recruit models)에 의한 추정
소라 자원이 최대의 가입당생산량을 만들게 되는 적정어획사망계수(F) 및 적정어획개시연령(t_c)은 Beverton and Holt(1957) 모델을 이용하여 추정하였다. 가입당생산량 곡선을 어획개시연령별로 보면, 현재의 어획개시연령($t_c = 3.176$ 세)을 기준으로 현재의 순간어획사망계수($F=2.175/\text{year}$)에서의 가입당생산량은 최대가 되는 F_{\max} (19.47/year)보다 낮은 것으로 나타났다.

다. $F_{0.1}$ 에 의한 추정

$F_{0.1}$ 은 계산한 기울기의 10%에 해당하는 F값을 찾기 위하여 F값을 반복 대입하여 $F_{0.1}$ 값을 추정한 결과로 현재의 어획개시연령인 3.176세에서 17.69g의 적정 가입당어획량을 나타내고 있다. 이때 가입당어획량은 F_{\max} 의 경우 19.47g을 보인다.

3-4) 적정어획량(생물학적기준점, ABC) 산정

제주도 소라의 자원상태를 평가하기 위해서는 일반적으로 감소 현상을 보이고 있는 자원과 수산선진국들의 TAC 할당에 가장 많이 사용되고 있는 생물학적 허용어획량(Acceptable Biological Catch, ABC) 모델을 이용하여 보다 합리적인 자원관리를 위한 기준값으로 사용되어야 한다.

ABC의 결정은 Zhang and Lee (2002)가 제시하고 있는 이용 가능한 정보의 질적 수준에 따라 5단계의 방법으로 추정되어지는데,

ABC 추정시스템의 3~5단계를 이용하여 2023~2024년도 제주소라 TAC 산정을 위한 도내 소라자원의 생물학적허용어획량으로 적정 어획량을 아래와 같이 산정하였다.

통계에 활용한 조사자료는 한국수산자원관리공단 제주지사서 매월 보고되는 소라자원량과 비계통자료를 확보하여 2022~2023년도 총생산량을 1,782톤(계통 1,567톤, 비계통 215톤)을 확인하였고, 해양수산연구원에서 실시한 소라 서식실태조사 자료를 활용하여 이에 대한 ABC 값을 단계별로 산정하였다.

표 6. ABC 산정 규칙

○ 이용가능한 정보수준에 따라 5단계의 ABC 추정 시스템에 근거함
◆ (1, 2단계) 저어류, 부어류 산정
◆ (3단계) 정보수준 : 최근년도 B, $F_{0.1}$, M, (환경자료)
* 2023~2024년 $F_{0.1} = 0.67$
$F_{ABC} \leq F_{0.1}$
※ B는 자원량, F는 어획사망계수, $F_{0.1}$ 은 YPR곡선에 있어서 가입량당어획량의 증가율이 개발초기($F = 0 \rightarrow \Delta F$)의 1/10이 되는 F, M은 자연사망계수
◆ (4단계) 정보수준 : 연도별 어획량 및 노력량 (CPUE)
* 2023~2024년 $CPUE/CPUE_{MSY} = 1.003$
4a) 자원상태 : $CPUE/CPUE_{MSY} > 1$
$ABC \leq MSY$
4b) 자원상태 : $\alpha < CPUE/CPUE_{MSY} \leq 1$
$ABC \leq MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$
$ABC = MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - 0.05)/(1 - 0.05)$
4c) 자원상태 : $CPUE/CPUE_{MSY} \leq \alpha$; $ABC = 0$
※ CPUE는 단위노력당 어획량, $CPUE_{MSY}$ 는 MSY일 때의 CPUE, MSY는 최대지속적 생산량
◆ (5단계) 정보수준 : 연도별 어획량 (C)
* 2023~2024년 $C/C_A = 1.03$
5a) 자원상태 : $C/C_A > 1$ (평균 어획량을 적용할 경우) 적용
$ABC \leq C_{RA}$
5b) 자원상태 : $\alpha < C/C_A \leq 1$ (금년도 어획량이 평균어획량보다 적음)
$ABC \leq C_{RA} \times (C/C_A - \alpha)/(1 - \alpha)$
5c) 자원상태 : $C/C_A \leq \alpha$; $ABC = 0$

표 7. ABC 추정값

구 분	3단계 추정		4단계 추정		5단계 추정	
ABC 산정기준	$F_{ABC} \leq F_{0.1} = 0.67$		$CPUE/CPUE_{MSY} = 1.003$ (4a 적용)		$C/C_A = 1.03$ (5a 적용)	
ABC(톤) (목표값 : 한계값의 90%)	목표값	한계값	목표값	한계값	목표값	한계값
	1,184	1,316	1,637	1,819	1,554	1,727

2023~2024년 제주 소라자원의 생물학적허용어획량(ABC) 3~5단계 추정결과, 약 1,184~1,819톤 수준으로 분석, 평가되었으며, 5단계의 평균 어획량을 적용한 값보다는 소라자원 보존 및 관리를 위해서 이용가능한 정보수준이 높은 단계인 3, 4단계의 평가를 적용하는 것이 바람직하다.

3단계의 경우 정확한 자원평가가 가능하나 배정물량이 낮게 산정되어 지역 어업인의 어획욕구에 대한 민원사항이 발생할 가능성이 있어 ABC 4단계의 연도별 어획량과 CPUE(노력당어획량)를 적용한 값인 1,637~1,819톤으로 조정하는 것이 적절하다고 사료된다.

IV. 고찰

소라 TAC 자원평가를 위해 한국수산자원공단 제주지사에서는 수협별 수산자원조사원을 두어 어촌계 생산일지 열람을 통해 계통, 비계통 생산량을 조사하여 보고하고 있다. 수협으로 계통 판매되는 생산량 외에 보고되지 않은 비계통 생산량은 여전히 어촌계 생산일지를 통해 확인할 수 있으며, 현재 TAC 산정 시 이러한 비계통 생산량 자료를 포함하고 있다. 비계통 생산량은 합리적 TAC 제도의 근간을 교란시키고, 과학적 자원평가를 감정적 판단과 결정으로 치우쳐 모범적으로 TAC 제도를 잘 준수하는 어촌계의 사기를 저하하는 원인이 될 수 있기 때문에 행정지도를 강화하여 계통판매가 이루어질 수 있도록 적극적 방안이 요구된다.

현재는 제주도 소라자원이 어느 정도 적정 수준을 유지되고 있으나 어장에 따라서는 어장환경의 악화에 따른 재생산력의 감소, 성장의 둔화 현상 등이 나타나고 있어 합리적인 소라 TAC 제시를 위해서는 지역 어장별 소라 자원구조 파악이 중요하다. 올해의 경우 도내 어장 4개소에 대해 수심별(3, 6, 10m) 소라자원 조사를 추진하였지만, 어장 내 서식하는 소라 자원구조에 대한 분석을 제시하지 못하였다. 내년도 조사 추진 시에는 이를 위해 소라 자원구조 파악을 위한 직접조사를 강화하여 분석 결과를 제시하겠다.

소라 TAC는 어획통계 및 자원생물학적으로 추정된 자원평가 시스템에 의해 산출된 양이다. 가능하면 정보수준이 높은 생물학적 허용어획량(ABC) 3단계 방법으로 TAC를 결정한 것이 가장 바람직하다. 물론 ABC 4단계 방법인 최대지속적어획량(MSY)도 자원을 판단하는 기준은 되나 자원생물학적 생물특성을 고려치 않고 오로지 생산량만을 기준으로 판단하므로 이 MSY를 이용한 어획량

산정에는 신중을 기할 필요가 있다. 특히, ABC 3단계는 소라 TAC를 산정하기 위해 가장 적합한 자원생물학적 허용어획량을 제시하는 방법으로 이를 준수하는 것이 최선의 방안이다. 그러나, 지역 어업인의 어획욕구에 대한 민원사항이 발생할 가능성이 있고, 사회적인 여건 등을 고려하였을 때 TAC를 급격히 낮추진 못하기 때문에 ABC 3, 4단계의 절충값으로 TAC를 결정하고 향후 최종적으로는 ABC 3단계를 목표로 TAC를 설정하는 방안을 목표로 나아가야 한다고 사료된다.

V. 참고문헌

- 장대수, 정상철, 2000. 각고조성을 이용한 소라의 성장분석, 한수지, 3, 9~15
- 장대수, 2002. 제주도산 소라, *Batillus cornutus*의 자원평가 및 관리에 관한 연구, 제주대학교 박사학위논문, 77~89
- 장대수, 이동우, 하동수, 김대권, 1994.. 소라자원의 평가 및 관리에 관한 연구, 국립수산과학원 남해수산연구소, 105~113
- 장창익, 2010. 해양수산자원생태학, 부경대학교 출판부, 176~180, 217~219, 224~248, 254~332, 354~359
- 차병열, 공용근, 장대수, 김병엽, 서익조, 2004. 제주도 소라의 어업실태 및 자원동향분석, 한수지, 6(2), 23~32
- 국립수산과학원 아열대수산연구센터, 2011. 2010/2011 소라자원관리를 위한 자원 조사보고서, 2~79
- 제주특별자치도, 2023. 해양수산현황
- 제주특별자치도 해양수산연구원, 2016. 소라 TAC 자원평가 보고서
- 해양수산부, 2002. 총허용어획량(TAC) 실시대상 어종의 연차적 확대방안에 관한 연구, 1~164
- Alverson, D.L. and M.I. Carney, 1975. A graphic review of growth and decay of population cohorts, J. Cons. Int. Explor. Mer., 36(2), 133~143
- Edser, T. 1908. Note on the number of plaice at each length, in certain samples from the southern part of the North Sea, 1906. J. R. Stat. Soc., 71, 686~690
- Fox, W.W., Jr, 1970. An exponential surplus yeild model for optimizing exploited fish populations, Trans. Amer. Fish. Soc.,

90, 80~88

Schaefer, M. B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries, Inter. Am. Tro. Tuna Comm. Bull., 1, 25~56

2023~2024년 소라 TAC 자원평가 보고서

발행일 : 2024년 4월

발행처 : 제주특별자치도 해양수산연구원

발행인 : 현재민(해양수산연구원장)

■ 조사 참여자

총괄책임자 : 오인철 해양환경연구과장

참여연구원 : 원현경 해양수산연구사, 김종완 주무관

이종철, 이창호, 안재흥, 윤동규, 구현근(수중조사)

주소 : 63629 서귀포시 표선면 민속해안로 292

전화 : 064-710-8484(대표전화)

팩스 : 064-710-8509