

‘17년 소라 TAC 설정을 위한 자원평가

전봉근¹ · 김수강¹ · 장대수²

¹제주특별자치도 해양수산연구원

²제주특별자치도 해양수산국 수산정책과

I. 서 론

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 주요산란 급으로 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 자리매김함으로써 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 어획량을 설정하여 그 한도내에서만 어획을 허용하여 자원을 관리하는 제도로서 제주소라는 제주특별자치도가 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 직접자원조사를 통하여 자원구조를 파악하며, 어획통계자료와 자원생태학적 특성치 및 기타생물자료를 이용하여 소라자원의 생물학적 허용량을 제시하고 합리적인 관리방안을 도출하고자 함이다.

II. 조사 및 평가방법

1. 서식실태조사 및 생물상

조사는 2016년 7~12월 표본어장 6개소(조천, 동귀, 용운, 태흥2, 표선, 동일)를 대상으로 실시하였으며, 잠수조사는 각 지역별 2개지선(Line transect methods)에 3~5정점(3m, 6m, 10m)을 기준하여 수심 1~10m까지 1×1m 방형구법으로 방형구 내 소라와 분포해조류를 채집하였다. 채집된 생물은 현장에서 계수하고 소라는 각고와 생체량을 측정하였다. 각고는 버니어캘리퍼스를 이용하여 mm단위로 측정하고, 생체량은 개체별로 0.1g 까지 측정을 하였다. 단위면적당 서식밀도는 방형구 내 분포개체를 평균 서식밀도(개체/m²)로 환산하였다.

2. 자원량 산정 및 평가

자원량산정을 위한 어획통계는 도내 전체 마을어장을 방문하여 조사된 어획량(2011~2015년 비계통량 포함)과 한국수산자원관리공단 TAC 수산자원조사원이 조사한 통계량을 활용 사용하였으며, 어업종사자 자료 등은 해양수산현황(2015)을 활용하였다. 소라의 자원생물학적 특성치 중 성장을 파악하기 위하여 사용된 각고조성 자료는 2015년 1월부터 11월까지의 월 2~3회 마을어장에서 조사된 개체들의 각고 및 중량 측정자료를 이용하였다.

2.1. 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, Rikthter and Efanov(1976) 방법, Alagaraja(1984) 방법 및 Zhang and Megrey(2006) 방법으로 추정 하였으며, 위의 네가지 방법으로 추정된 순간자연사망계수의 평균값을 자원평가 자료로 사용하였다.

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

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

2.2. 최대지속적생산량(MSY) 추정

잉여생산량 모델은 생물 생체량의 재생산율과 어획율을 파악하여 자원을 평가하는 모델로 생체량의 크기는 환경요인과 생물체간의 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. 생물자체 간의 상호작용은 흔히 밀도 종속적(density-depoendent) 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, q는 어획률, r은 개체군 성장률이다.

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

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

이 식은 위로 볼록한 포물선식이므로 꼭지점이 최대지속적생산량(MSY이고 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 단위노력당 어획량 자료에 대수를 취해 $\ln CPUE$ 를 Y로 하고, 어획노력량을 X로 하여 $Y=a+bX$ 의 기울기 b와 Y절편 a를 엑셀의 회귀분석을 사용하여 추정한다.

3. ABC 추정시스템

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

1단계 정보수준의 경우 연도별 연령별 B와 BMSY, FMSY, FX% 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

1a) 자원상태 : $B/B_{MSY} > 1$

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

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

2단계 정보수준의 경우 최근년도 연령별 B, BX%, FX%, M 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

2a) 자원상태 : $B/B_{40\%} > 1$

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

2b) 자원상태 : $a < B/B_{40\%} \leq 1$

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

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

3단계 정보수준의 경우 최근년도 연령별 B, F0.1, M 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

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

4단계 정보수준은 연도별 Y와 f(CPUE) 등의 파라미터에 의거 아래의 공식에 따라 산출된다.

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

$$ABC \leq MSY$$

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

$$ABC \leq MSY \times (CPUE/CPUEMSY - a)/(1 - a)$$

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

5단계 정보수준의 경우 연도별어획량 C를 파라미터로 하여 아래의 공식에 따라 산출된다.

$$5a) \text{ 자원상태 : } C/CA > 1$$

$$ABC \leq CRA$$

$$5b) \text{ 자원상태 : } a < C/CA \leq 1$$

$$ABC \leq CRA \times (C/CA - a)/(1 - a)$$

$$5c) \text{ 자원상태 : } C/CA \leq a ; ABC = 0$$

※ C는 가장 최근년도 어획량, CA는 1999~최근년도의 평균어획량, CRA는 최근 3~5년간의 평균어획량 중 변동계수(CV)가 가장 낮은 값

주1) 1단계~3단계의 ABC 계산식

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

단, B_i : i 세초 어획대상 자원량, M : 순간자연사망계수,

FABC : 정보수준과 자원생태에 따라 결정되는 순간어획사망계수

주2) 1, 2, 4 단계의 $a = 0.05$

Ⅲ. 결 과

1. 서식실태조사 및 생물상

2009~2016 까지 제주도 연안의 마을어장에서 해녀들에 의해 어획된 소라의 각고조성을 살펴보면, 어획된 소라의 크기는 각고 4.0~12.5cm의 범위에서 분포하고 있었으며 거의 모든 년도의 각고는 7.0~8.5cm 범위에서 많은 분포를 나타내고 있었다. 7cm 이상의 크기를 보이는 개체의 비율을 보면 2006년에는 65% 내외를 보이던 것이 2010년 89%, 2015년 91.8%, 2016년 93.9%로 최근 8년간 80% 이상의 높은 비율을 보이고 있었다(그림 1).

제주도 6개의 마을어장에서 방형구법에 의한 소라자원의 직접조사를 2016년 7월 부터 12월까지 총 2회 실시하였다. 조사방법으로는 마을어장 수심 3, 6 10m의 2개 지선을 설정하여 1m×1m 방형구법을 실시하였다. 조사결과 각고범위는 2.9~10.4cm 로 평균 각고는 6.7cm 로 나타났다(그림 2).

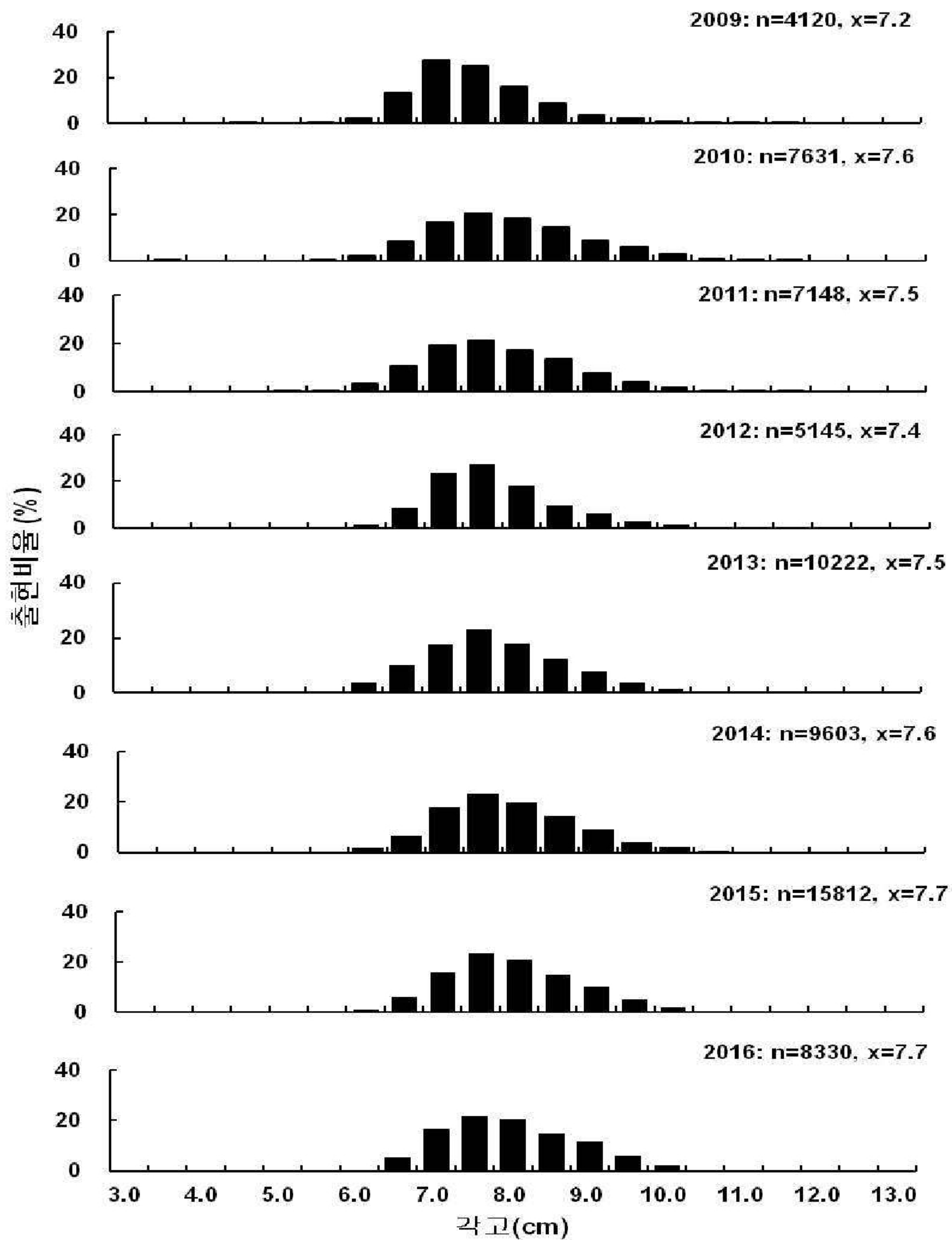


그림 1. 2006~2016년까지 연도별 마을어장에서 조사된 소라의 각고조성

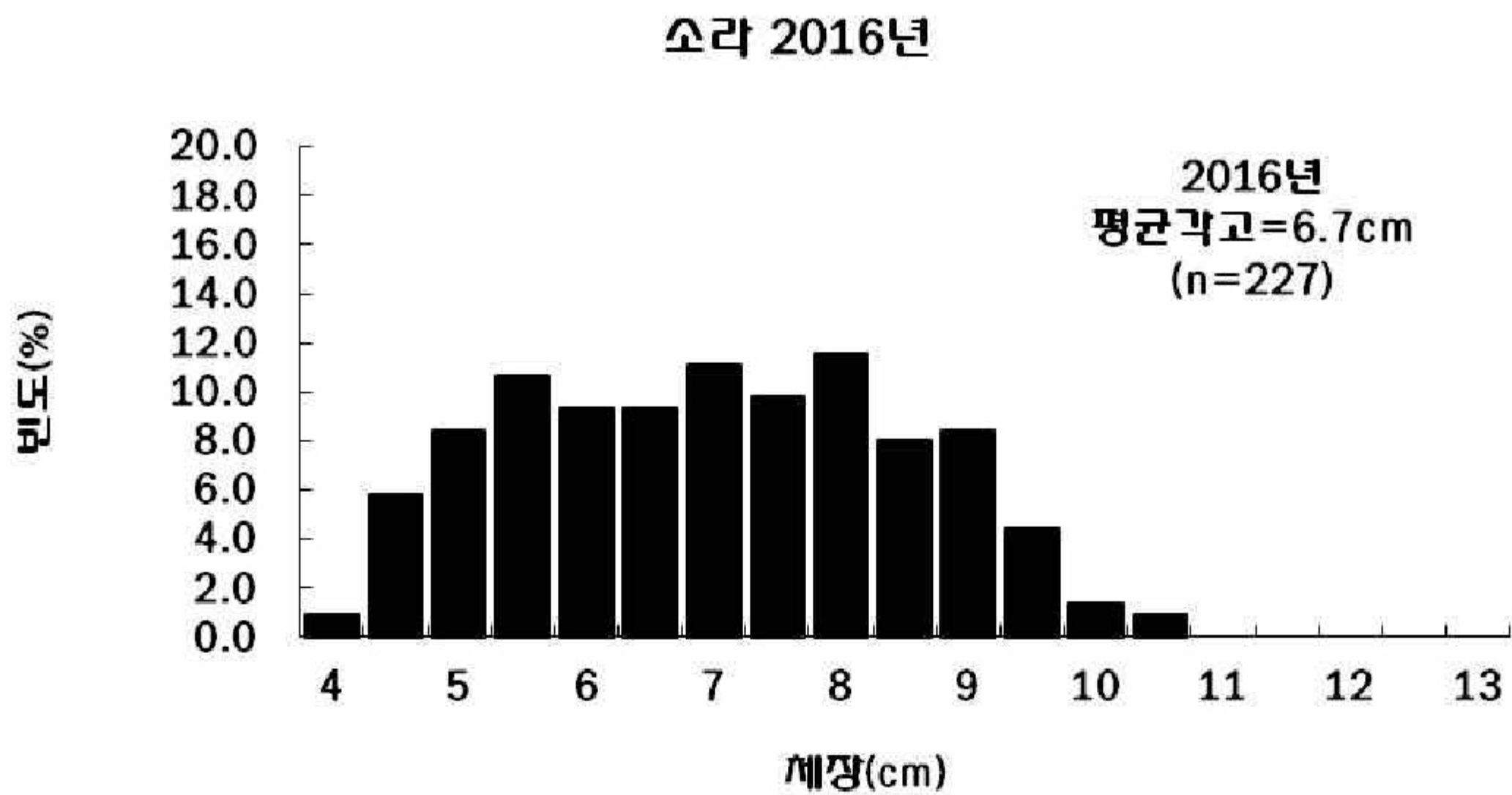


그림 2. 조사어장의 소라의 각고 구성

마을어장내 소라의 서식 수심별 서식밀도를 조사한 결과, 전체 평균밀도가 개체1.73 m², 평균각고는 6.7cm, 평균중량은 81.3g/m²이었다. 2016년 7월 6개 조사지역의 수심별 개체 밀도 및 중량밀도를 산정한 결과, 분포 밀도가 1.8 ~ 4.8 m² 으로 나타났으며 동일지역 수심 10m에서 가장 높았다. 수심 3m의 소라의 평균크기는 6.3cm로 가장 낮게 나타났으며, 수심 10m의 소라의 평균크기가 6.8cm로 가장 크고 연령이 높은 개체들이 분포함을 알 수 있었다(표 1).

표 1. 2016년 소라의 자원구조

조사지역	수심(m)	개체수	분포밀도(m ²)	평균크기(cm)	평균중량(g/m ²)
조천	3	18	3.2	6.3	62.7
	6	15	2.2	5.5	41.9
	10	15	3.3	5.9	53.7
동귀	3	6	3.1	6.3	56.1
	6	6	2.6	7.2	79.1
	10	8	1.8	6.5	63.6
용운	3	13	4.1	6.0	53.0
	6	5	2.1	7.1	99.7
	10	12	3.4	6.5	68.1
태흥2	3	11	2.6	6.7	77.8
	6	9	2.8	6.9	86.0
	10	18	4.0	8.2	134.1
표선	3	13	3.3	5.3	41.9
	6	17	2.1	5.4	40.6
	10	11	3.3	5.3	42.3
동일	3	5	3.9	7.4	101.1
	6	12	4.3	7.8	106.7
	10	8	4.8	8.6	139.4
평균			3.16	6.61	74.88

2016년 7~12월 해조류의 분포도를 조사한 결과 총 88종이 확인 되었으며, 홍조류 78%, 녹조류 12%, 갈조류 10% 순으로 확인 되었다(표 2).

표 2. 2016년 조사어장의 해조류 현황

장소	수심 (M)	해조류 종수			합계	우점종
		녹조류	홍조류	갈조류		
용 윤	3	2	16	3	21	흑돌잎
	6	-	8	-	8	둘레게발혹
	10	1	6	-	7	흑돌잎
표 선	3	1	5	-	6	에페드라게발
	6	1	9	1	11	에페드라게발
	10	3	11	1	15	둘레게발혹
동 귀	3	-	7	2	9	에페드라게발
	6	-	9	-	9	비늘산호말
	10	1	10	1	12	둘레게발혹
조 천	3	-	3	-	3	흑돌잎
	6	1	5	-	6	둘레게발혹
	10	1	7	-	8	흑돌잎
동 일	3	-	4	2	6	에페드라게발
	6	-	7	3	10	둘레게발혹
	10	-	10	2	12	방황게발혹
태 흥2	3	5	6	1	12	제주비단망사
	6	1	2	-	3	흑돌잎
	10	2	4	-	6	둘레게발혹

2. 자원량 산정 및 평가

2.2. 생물학적 생태특성 추정 및 자원량 추정

생체량을 기초로 한 연급군분석(biomass-based cohort analysis)을 사용하여(Zhang and Sullivan, 1988) 소라의 연도별 자원량을 추정한 결과, 소라 자원량은 2001년에 4,200톤으로 최고치를 보인 후 2005년에 2,532톤으로 감소하다 2012년 4,056 톤으로 회복하여 2016년 현재 3,944톤으로 전년보다 약 150톤 높은 자원량이 추정되었다.(그림 3).

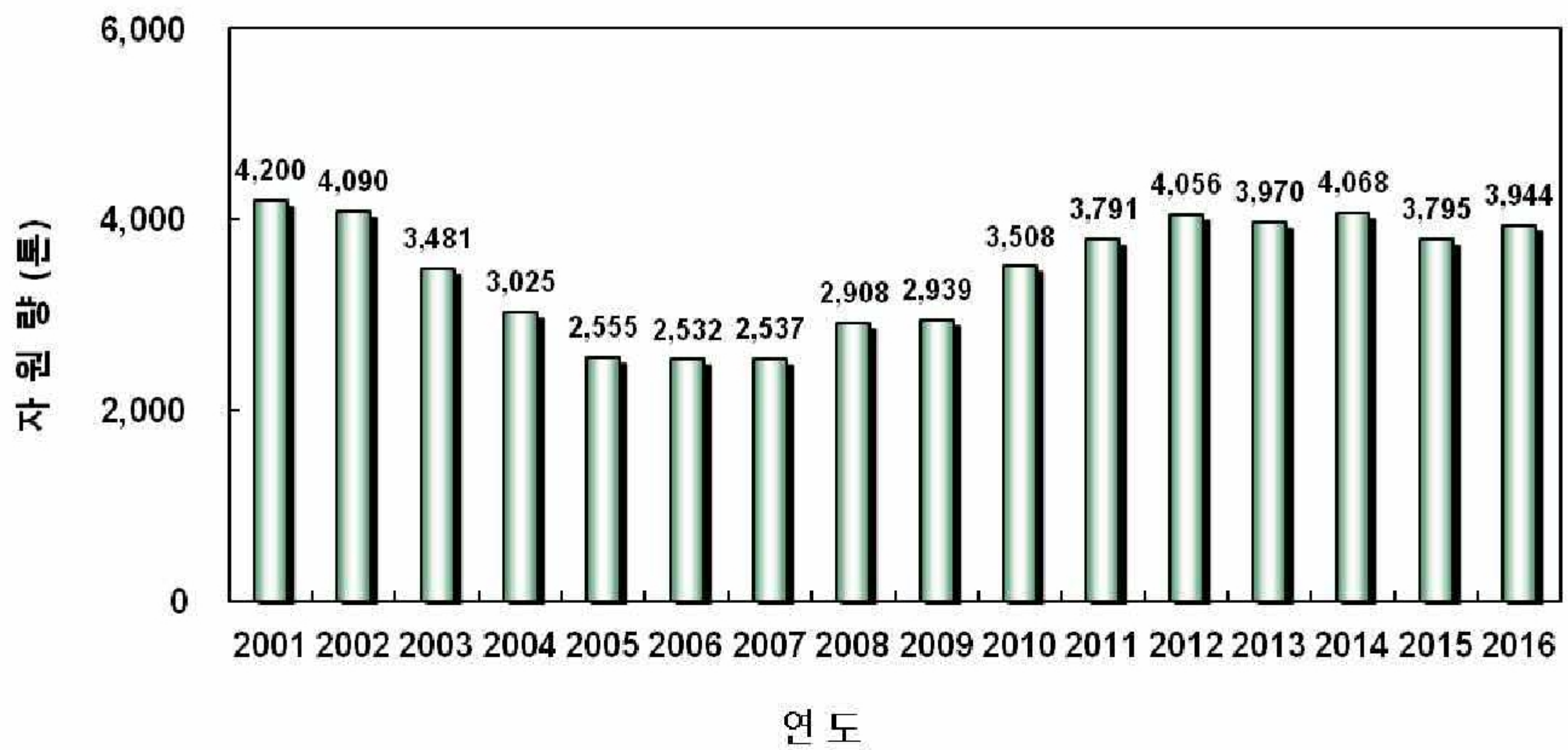


그림 3. 연도별 자원량 변동추이

제주소라에 대한 연령별 자원량은 2001년 이후 2003~2004년을 제외하고 최근까지 저연령군인 2세~3세의 자원량은 각 각 1,000 톤 이상의 추세가 지속되고 있으며, 4세의 경우 2006년부터 급격히 감소되어 2016년 현재까지 약 480톤 가량 자원이 유지되고 있는 것으로 추정된다. 5~7세의 고연령군의 자원량은 2004년 209톤에서 2005년부터 2016년 현재까지 10톤 내외를 유지하고 있어, 고연령군의 소라 개체군이 크게 감소한 것으로 확인되었다(그림 4).

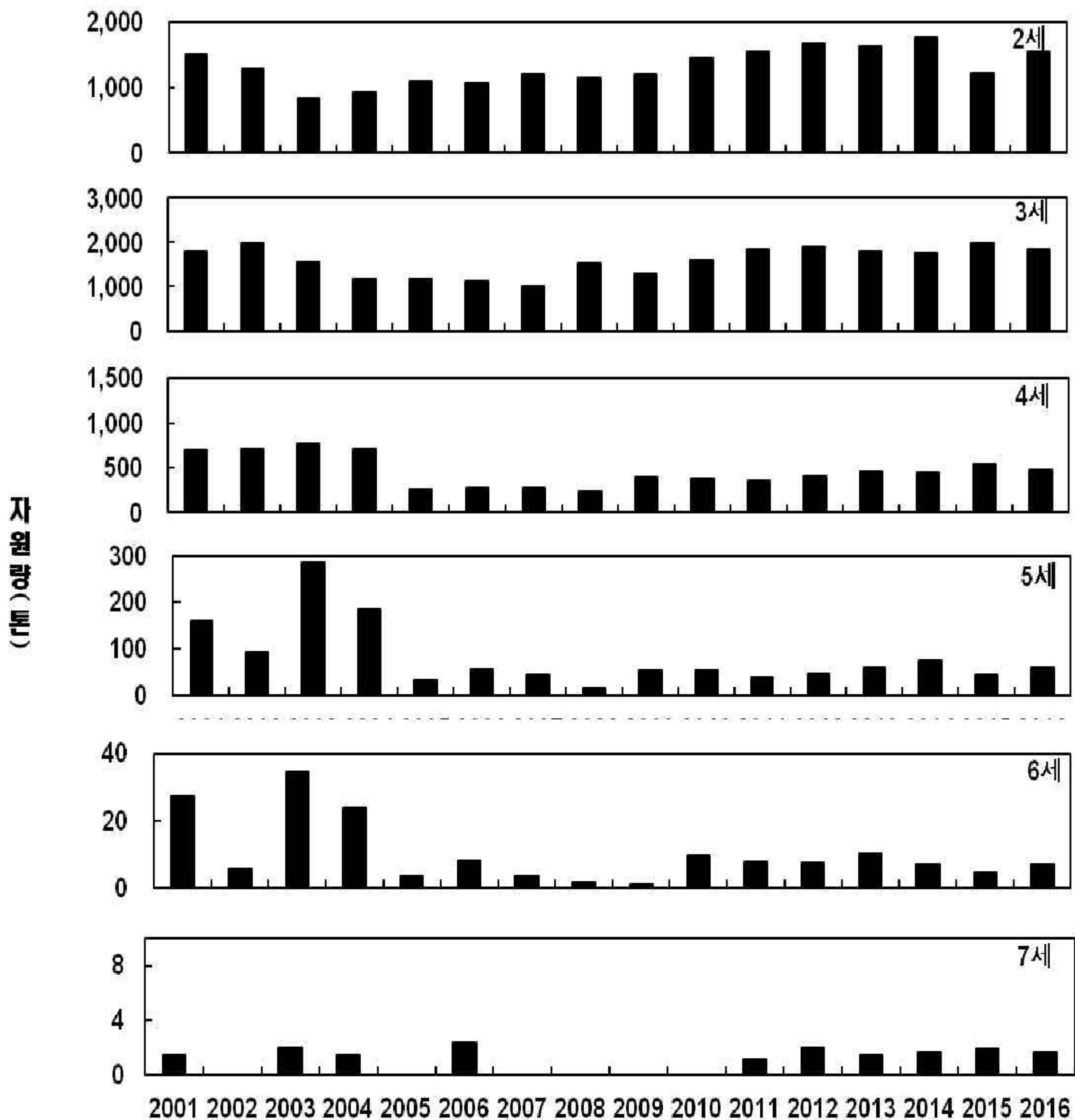


그림 4. 연령별 년도별 자원량 변동추이

2.2. 최대지속적생산량(MSY) 추정

2016년 제주소라자원 MSY 산정에 대한 검토결과, 제주도 소라의 간접자원량지수인 CPUE는 80년대 중반 과도한 어획에 의하여 감소한 시점 이후 자율적 TAC 도입으로 자원이 증가한 시점을 포함하여 통계적으로 유의한 증감변동기간 동안 잉여생산모델인 FOX 모델을 적용하였다. 그 결과, 최대지속적어획량(MSY)은 1,909톤이었으며, 이 때의 어획노력량(fMSY)은 3,167명으로 분석되었다(그림 5).

통계에 활용한 조사자료는 수산자원관리공단 제주지사에서 매월 보고되는 소라자원량과 비계통자료를 확보하여 2016년도 총생산량을 1,868톤을(계통생산량 1,366톤, 비계

통 502톤)확인하고 이에 대한 MSY를 산정하였다.

MSY의 역할은 단순히 현재의 생산량을 MSY수준의 생산량과 비교해 봄으로써 TAC의 관리목표치를 결정하는 수단이기 보단 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.

따라서 현재 해녀수가 4,377명임을 감안할 때 본 모델(fox)이 제시한 3,167명보가 더 많은 노력량의 투입으로 더 적은 생산량을 초래 할 수 있다.

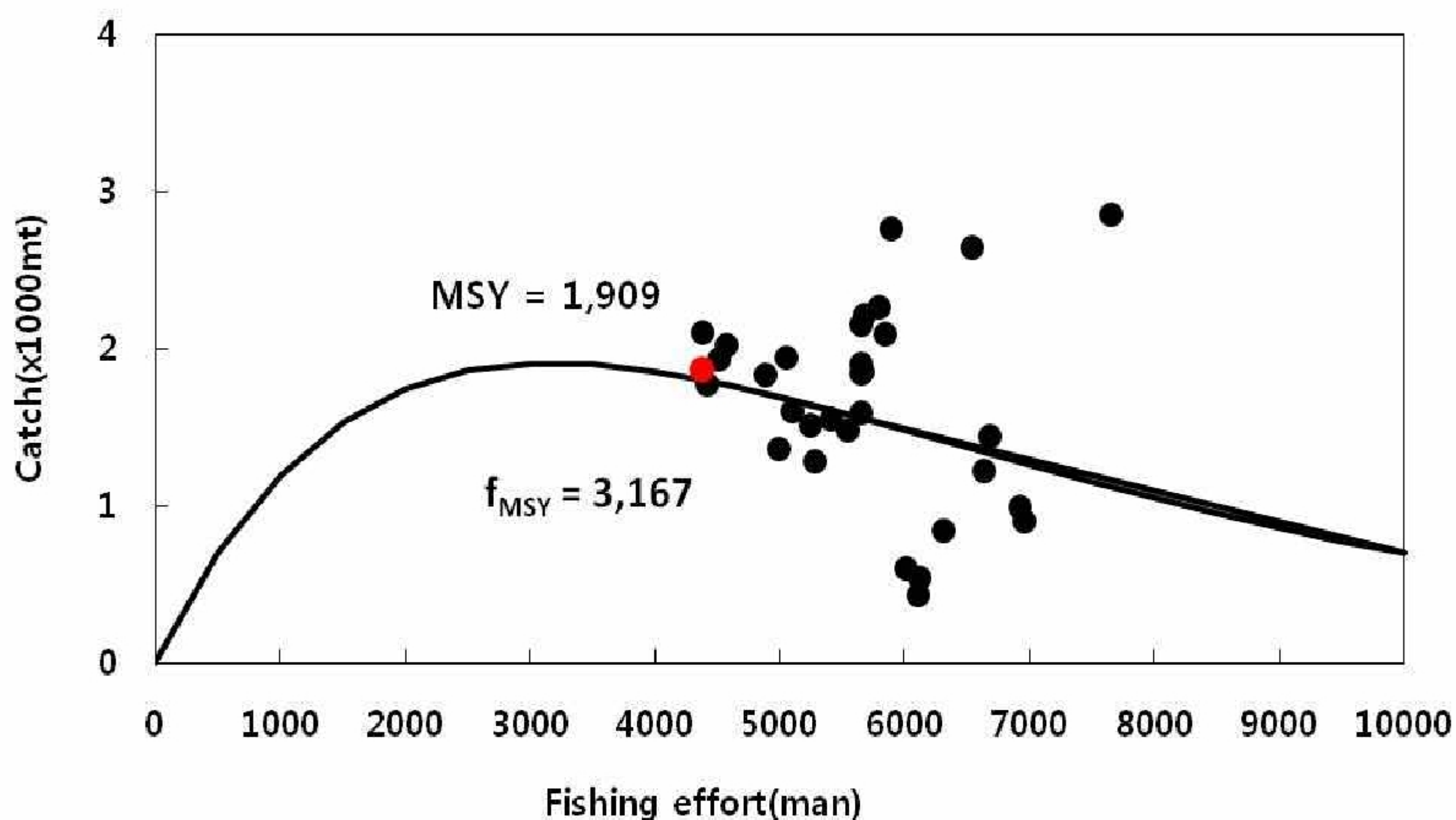


그림 5. 2016년 제주도 소라의 최대지속적생산량(MSY), Fox model

3. 생물학적허용어획량(ABC) 추정결과

제주도 소라의 자원상태를 평가하기 위해서는 일반적으로 감소현상을 보이고 있는 자원과 수산선진국들의 TAC 할당에 가장 많이 사용되고 자원관리에 가장 적합한 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 2017년도 제주소라 TAC 산정을 위한 도내 소라자원의 생물학적허용어획량으로 아래와 같은 적정어획량이 산정되었다.

구 분	3단계 추정		4단계 추정		5단계 추정	
자원생태	$F_{ABC} \leq F_{0.1} = 0.550/\text{yr}$		$CPUE/CPUE_{msy} = 0.708$ 4b) 적용		$Y_{AM}(12-16\text{년})$ 5a) 적용	
ABC(톤)	목표값	한계값	목표값	한계값	목표값	한계값
목표값 : 한계값의 90%	1,246	1,303	1,190	1,322	1,749	1,943

IV. 고 찰

소라 TAC는 어획통계 및 자원생물학적으로 추정된 자원평가 시스템에 의해 산출된 량이다. 가능하면 자원생물학적 허용량(ABC)으로 TAC를 결정한 것이 가장 바람직하다. 물론 잉여자연생산량인 최대지속적어획량(MSY)도 자원을 판단하는 기준은 되나 자원생물학적 생물특성을 고려치 않고 오로지 생산량만을 기준으로 판단하므로 이 MSY를 이용한 어획량 산정에는 신중을 기할 필요가 있다. 따라서 ‘17년에는 실질적인 단위노력당 생산량을 파악하기 위해 실제 조업해녀 누적수, 조업일을 조사할 것이다. 이로 인해 정확한 MSY를 추정할 것으로 사료된다.

ABC의 추정치는 정치적, 경제적, 사회적인 여건에 의해 생물학적 허용어획량을 넘지 않는 수준에서 조정 될 수 있기 때문에 너무 자유로운 관리나 혹은 관리의 부재는 과도어획과 극심한 개체군의 감소를 야기할 수 있는 반면, 지나치게 신중한 관리는 과소어획의 어업생산을 낭비할 수 있기 때문에 신중한 선택이 필요한 시점이다.

다른 한편으로, 해녀의 고령화로 인하여 단위노력의 감소로 단위노력당어획량(CPUE)의 증가와 최근의 자원량(BIOMASS)의 유지 또는 부분적 증가 등을 고려하여 ABC와 MSY의 절충 값으로 TAC량을 결정하여 지역의 부분적인 어획욕구적 및 민원사항을 수용 할 필요가 있다고 사료된다.

결론적으로, ABC는 자원을 보존하고 적정 이용하며 TAC 제도를 수행하기 위한 가장 적합한 자원생물학적 허용어획량을 제시하는 량으로 준수하는 것이 최선의 방안임을 재확인한다. 현재는 제주도 소라자원이 어느 정도 적정 수준을 유지되고 있으나 어장에 따라서는 어장환경의 악화에 따른 재생산력의 감소, 성장의 둔화 현상 등이 나타나고 있는 바, 이를 고려한 소라의 적정 이용방안과 TAC가 설정됨이 바람직하다.

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, 국립수산물과학원 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
- 국립수산물과학원 아열대수산연구센터, 2011. 2010/2011 소라자원관리를 위한 자원 조사 보고서, 2~79
- 제주특별자치도, 2001~2013. 해양수산현황
- 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