

자원회복계획 하에서의 총허용어획량(TAC) 어업정책 효과에 관한 생물경제학적 분석*

—미국 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업을 사례로—

김도훈 **

〈차 례〉

- | | |
|--|---|
| I. 서론 | IV. Yellowedge Grouper 생물경제학
모델과 TAC제도 |
| II. 멕시코만의 Yellowedge Grouper
어업 및 자원조사평가 결과 | V. 생물경제학 모델 분석결과 |
| III. 잉여생산량 모델에 의한 Yellowedge
Grouper 자원평가 | VI. 요약 및 결론 |

I. 서론

지금까지의 과도한 어획으로 인한 어업자원의 감소를 회복하기 위하여 각종 어업관리정책이 어느 국가할 것 없이 수립되어지고 있다. 최근에는 특히 어업관

* 논문 투고일(2003년 10월 12일)~심사 완료일(2003년 12월 5일).

** 한국해양수산개발원 책임연구원.

리정책의 실효성 증대를 위하여 자원회복계획(rebuilding plan)을 통한 관리가 이루어지고 있다. 이 계획은 목표 자원량 수준을 정해놓고 어업관리수단을 사용하여 현재의 자원량 수준에서 정해진 기간 내에 목표 자원량 수준을 달성하기 위한 것으로, 자원회복계획의 정책목표 달성을 위한 어업관리수단의 생물학적·경제학적 효과에 대한 정책수단 평가의 중요성이 강조되고 있다.

어업관리 정책수단의 평가를 위해서 현재 생물경제학 모델(bioeconomic model)을 이용한 방법이 널리 활용되고 있다. 이 모델은 생물학적 자원평가모델(population dynamics)과 어업자의 어업활동모델을 동시에 분석하기 때문에 관리수단으로부터의 어획사망계수 변화에 따른 자원량의 동태적 변화 분석뿐만 아니라 어업자에 대한 경제적인 동태효과를 동시에 예측할 수 있다. 따라서 각 관리수단에 대한 분석을 행함으로써 정해진 기간 내의 목표 자원량 달성여부, 어업자의 소득효과 등을 중심으로 가장 합리적인 수단을 선택할 수 있도록 한다(Lee, Larkin and Adams, 2000; Eggert and Ulmestrand, 1999; Griffin *et al.*, 2001; Thunberg, Helser and Mayo, 1998; Danielsson *et al.*, 1997; Yew and Heaps, 1996).

본 연구에서는 미국 멕시코만의 심해 그루퍼(deep-water grouper)류의 한 어종인 Yellowedge Grouper에 대한 자원평가와 이를 바탕으로 생물경제학 모델을 만들어 Yellowedge Grouper 어업을 위한 어업관리 정책수단에 대한 평가를 하였다.

Yellowedge Grouper의 어획량 감소에 따라 멕시코만 어업관리위원회는 어업법에서 규정하는 바와 같이 자원조사평가를 하여 자원이 남획되었을 경우 자원회복계획을 수립하고자 하였다.¹⁾ 이에 따라 2002년 9월 처음으로 지역 수산국(National Marine Fisheries Service: NMFS)이 연령구조모델(an age-

1) 미국 어업법에서는 자원평가조사 결과 어업자원이 남획되었다고 평가되어지면 해당지역의 어업관리위원회가 어업관리 정책수단을 선택하여 1년 이내에 남획을 중단하고 최대 지속적 생산량을 유지할 수 있는 자원량 수준으로 회복시키는 자원회복계획을 수립하도록 법제화하고 있다. 또한 어업관리 정책수단을 선택할 때는 1993년 연방예산법에 따라 관리정책의 사전평가를 의무화하고 있다.

structured model)을 이용하여 Yellowedge Grouper에 대한 자원조사평가를 행했지만 생물학적 자료부족으로 인하여 Yellowedge Grouper 자원량 수준에 대한 아무런 결론을 내리지 못하였다.

하지만 천해 그루퍼류 어종에 대한 어업규제 강화로 인한 어선들의 Yellowedge Grouper에 대한 어획증가와 자원량 지표인 단위어획노력당 어획량의 뚜렷한 감소경향, 그리고 Yellowedge Grouper 어종 특성상 남획이 쉽게 일어날 수 있고, 일단 남획이 되면 자원회복이 늦게 이루어질 수 있는 등의 우려로 어업관리위원회는 활용가능한 자원평가모델의 사용으로 가능한 빨리 자원조사평가가 다시 이루어져야 하고, 남획여부를 판명하여 자원회복계획이 수립되어져야 함을 제기하였다.

이에 따라 본 연구에서는 적은 자료로도 자원량 평가가 가능한 잉여생산량 모델을 사용하여 Yellowedge Grouper 자원량을 재추정하였다. 잉여생산량 모델은 연령구조모델과 같이 각 연령군의 세부적인 속성을 고려하지 않고, 전체적인 가입량, 성장량, 그리고 사망량으로부터 자원군의 크기 변화만을 고려하기 때문에 자원량 지표 및 어획노력량 자료만 있으면 자원량 추정이 가능하다. 흔히 연령구조모델에 의한 평가가 잉여생산량 모델에 의한 것보다 정확하다고 인식되어 있지만, 실제 행해진 다양한 어종들의 자원량 평가 결과 잉여생산량 모델에서 보다 정확하게 자원량 수준이 추정된 사례도 많다. 그리고 무엇보다도 활용가능한 적은 자료로 자원량을 추정할 수 있다는 장점이 있기 때문에 자원량 평가를 위해 널리 사용되어지고 있다(Haddon, 2001).

잉여생산량 모델 분석 결과 자원이 현재 남획상태인 것으로 판명되었다. 이에 따라 어업관리위원회가 총허용어획량(Total Allowable Catch: TAC) 어업제도²⁾를 고려하고 있기 때문에 이를 어업관리 정책수단으로 사용한 10년 기간

2) 총허용어획량(TAC)제도는 어획량 제한 방법(output control)의 한 관리수단으로, 하나의 단위자원(종)에 대한 어획량을 총량적으로 관리하는 어업관리방식이다. 즉, 어업관리자와 어업생산자 간의 공동 목표를 취하며, 어획량 허용치를 설정하여 어업생산자에게 배분하고, 어획량이 목표치에 이르면 어업을 종료시키는 제도이다.

의 자원회복계획을 수립하고, 생물경제학 모델을 만들어 TAC정책 효과에 대한 분석을 하였다.

다음 제II절에서는 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업에 대한 소개와 NMFS에 의해 평가된 Yellowedge Grouper 자원조사 평가결과에 대해 살펴보았다. 제III절에서는 ASPIC 잉여생산량 모델에 의해 평가된 Yellowedge Grouper 자원조사결과를 설명하였으며, 제IV절에서는 Yellowedge Grouper 자원회복계획 하의 TAC제도와 이 제도의 효과분석을 위해 만들어진 생물경제학 모델에 대해 살펴보았다. 제V절에서는 분석 결과를 그리고 제VI절에서는 본 연구를 요약함으로써 마무리하였다.

II. 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업 및 자원조사평가 결과

1. 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업

Yellowedge Grouper (*Epinephelus Flavolimbatus*)는 미국 동부해안 노스캐롤라이나에서부터 멕시코만, 쿠바, 그리고 브라질에 걸쳐 수심이 깊은 곳에 서식하는 어종이다(Poffenberger, 2000). 멕시코만에 있어서의 Yellowedge Grouper는 멕시코만 어업관리위원회에 의해 관리되는 심해 그루퍼류의 대표적 어종으로서 전체 심해저 그루퍼류 생산량의 약 70%를 차지하고 있다. 이 어종에 대한 생산량 자료는 1986년부터 수집되어져 오고 있는데, 그 이전에는 “기타 그루퍼류”에 속해 있었다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이, Yellowedge Grouper의 1986년~2001년 동안의 상업적 어업의 평균 어획량은 381톤이고, 같은 기간 유어업 어획량은 겨우 6톤이다. 이것은 Yellowedge Grouper 어종이 먼바다 심해에서 서식하기 때

<그림 1> 각 어업별 Yellowedge Grouper 어획량 변화 (1986~2001년)



문에 유어업자들이 어획하기에는 곤란하기 때문이다. 특히 눈에 띄는 점은 연승어업에 의한 생산량이 크게 증가한 것으로 1994년 이전에는 평균적으로 연간 297톤이 생산되었지만, 그 이후에는 매년 전체어획량의 약 95% 수준인 340톤 수준을 유지하고 있다. 이에 반해 기계식 외줄낚시어업에 의한 생산량은 현저히 감소하였는데, 1994년 이후에는 평균 30톤 수준도 못 미치고 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 Yellowedge Grouper가 먼바다 심해에 서식하기 때문에 기계식 외줄낚시어업의 경우 출어비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 연승어선의 조업경쟁력 강화에 따라 Yellowedge Grouper 어획에 대한 기대수입이 현저히 감소하였기 때문으로 분석된다.

Yellowedge Grouper는 지금까지 개별 어종으로서 관리되지 않았으며, 1990년 이후에 심해 그루퍼류 전체에 대한 총허용어획량(Aggregate TAC)제도에 의해 규제되어 왔다. 2003년 현재 심해 그루퍼류에 대해서 612,355kg의 총허용어획량이 설정되어 있다.

2. NMFS에 의한 Yellowedge Grouper 자원조사평가

2002년 9월 처음으로 NMFS는 연령구조모형을 사용하여 Yellowedge Grouper에 대한 자원조사평가를 하였다. 하지만, 단지 12~15년의 짧은 기간의 어획량 및 생물학적 자료한계로 인하여 연령구조모형의 결과가 상당히 불안정한 것으로 나타났는데, 모델 에러가 발생했을 뿐만 아니라 친어 자원량에 따른 가입량 관계식에서의 기울기 등 투입변수의 변화에 따라서 자원량 분석 결과가 완전히 상반되게 평가되었다(Cass-Calay and Bahnick, 2002).

따라서 NMFS는 Yellowedge Grouper 자원이 자원평가 기준상 남획이 진행되고 있는지 그리고 남획상태인지에 대한 아무런 결론을 내리지 못하였다. 하지만, 심해 저서자원이고 수명이 긴 어종이기 때문에 비교적 낮은 어획강도에도 자원감소가 쉽게 일어날 수 있고, 일단 남획되면 자원회복이 늦게 이루어질 것으로 예상되므로 연간 어획량 수준이 평균 342톤을 넘지 못하도록 권고하였다(NMFS, 2002).

Ⅲ. 잉여생산량 모델에 의한 Yellowedge Grouper 자원평가

1. ASPIC 잉여생산량 모델

잉여생산량 모델 중 본 연구에서는 ASPIC 모델을 이용하여 Yellowedge Grouper 자원량을 평가하였다. ASPIC 모델은 비균형 쉐퍼(Schaefer) 잉여생산량 모델로 어획량(혹은 단위노력당 어획량)과 어획노력량 자료를 이용하여 최대자원량(carrying capacity: K)과 자원의 본원적 성장률(intrinsic growth rate: r) 변수를 조절함으로써 자원량 수준을 평가하고, 식 (1)~(3)과 같은 생물학적 변수를 추정하게 된다.³⁾

$$MSY = K \cdot r/4 \quad (1)$$

$$X_{MSY} = K/2 \quad (2)$$

$$F_{MSY} = r/2 \quad (3)$$

여기서, MSY는 최대 지속적 생산량(maximum sustainable yield), X_{MSY} 는 최대 지속적 생산가능한 자원량 수준, 그리고 F_{MSY} 는 최대 지속적 생산가능한 어획사망계수 수준을 의미한다.

본 연구에서는 2002년 Yellowedge Grouper 자원평가보고서에 나와 있는, NMFS가 연령구조모델에서 사용한 동일한 자료인 어획량과 단위어획노력당 어획량을 이용하였다.

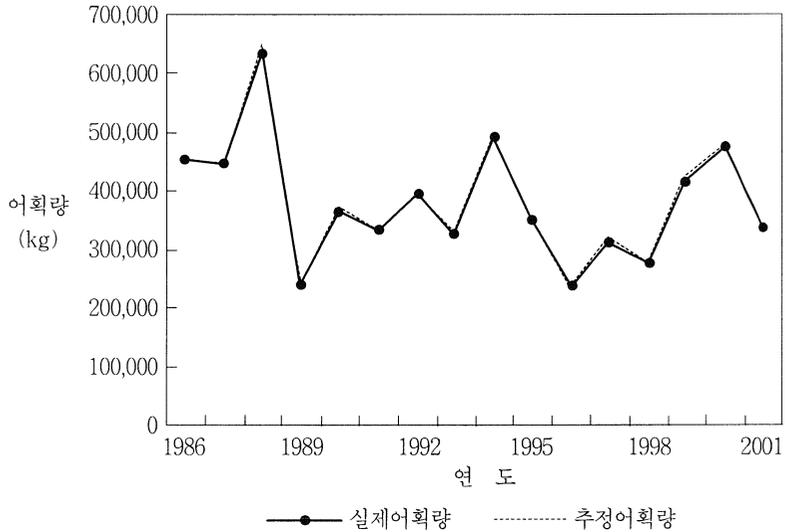
2. ASPIC 잉여생산량 모델 분석결과

모델에서 추정된 어획량은 실제 어획량과 일치하였고(<그림 2> 참조), CPUE 분석에서도 $R^2 = 0.794$ 로 모델의 적합성이 높음을 보여 주었다. 모델 결과로부터 Yellowedge Grouper 어업자원의 최대 자원량 수준 (K)은 18,000,000 톤, 자원의 본원적 성장률 (r)은 0.05652로 평가되었다(<표 1> 참조).

최대 지속적 생산가능한 자원량 수준(X_{MSY})에 대한 현재 자원량 수준은 약

-
- 3) ASPIC 잉여생산량 모델은 기존의 쉘피모델처럼 단순히 가정된 자원군의 변화로부터 균형 어획량을 추정하여 자원량을 평가하는 것이 아니라 최대 자원량 수준, 자원의 성장률, 그리고 최대 가능생산량을 반복적으로 조절하여 실제 어획량과 모델로부터 추정된 어획량이 일치하도록 하여 분석된 결과로부터 현재의 자원량 수준을 평가한다. 즉, 전통적 잉여생산량 모델은 어획노력량 수준 변화에 따라 바로 균형 자원량 수준이 이루어진다고 가정하여 어획노력량 수준 변화에 따른 동태적 자원량 변화를 설명하지 못하였다. 하지만 ASPIC 잉여생산량 모델에서는 어획능력계수, 자원의 본원적 성장률, 그리고 최대 자원량 변수에 불확실성 변수를 더해 bootstrapping 함으로써 모델로부터 추정된 어획량이 실제 어획량과 동일하도록 하고, 이로부터 추정된 변수를 이용하여 동태적인 자원량 수준 변화를 평가할 수 있다(Prager, 1995). 분석에 대한 신뢰성과 적은 자료로도 활용가능하기 때문에 실제 많은 어업에서 자원평가모델로 사용되고 있는데, 멕시코만에 있어서 Red Grouper 어종도 이 모델에 의해 자원량 수준이 평가되었다(Schirripa, Legault and Ortiz, 1999).

<그림 2> 실제 어획량과 모델로부터 추정된 어획량

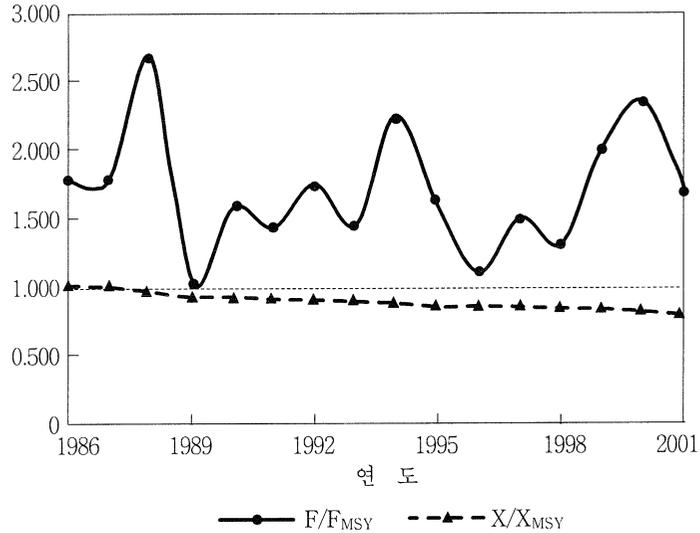


78%로 자원평가 기준상 남획상태에 있는 것으로 나타났고, 어획사망계수비율 또한 1보다 커서(1.678) 남획이 계속 진행중인 것으로 평가되었다. 보다 구체적으로 <그림 3>에서 보는 바와 같이 모델에 의해 추정된 최대 지속적 생산가능한 어획사망계수(F_{MSY})에 대한 어획사망계수 비율(F/F_{MSY})이 증감을 반복하고 있음에도 불구하고 1986년 이후 최대 지속적 생산가능한 자원량 수준(X_{MSY})에

<표 1> ASPIC 잉여생산량 모델 분석 결과

Parameter	Estimate	50% Lower CL	50% Upper CL
K	1.800E+07	1.200E+07	2.557E+07
r	5.652E-02	3.930E-02	9.715E-02
MSY	2.543E+05	1.624E+05	3.178E+05
X_{MSY}	8.998E+06	6.001E+06	1.279E+07
F_{MSY}	2.826E-02	1.965E-02	4.858E-02
X/X_{MSY}	7.788E-01	6.773E-01	1.780E+00
F/F_{MSY}	1.678E+00	8.030E-01	2.060E+00

〈그림 3〉 ASPIC 모델로부터 추정된 F/F_{MSY} 와 X/X_{MSY} 연도별 변화
(1986~2001년)



대한 자원량(X) 비율은 계속적으로 1 이하로 감소하고 있다. 하지만, 어획사망 계수비율은 한 번도 1 이하로 감소한 적이 없다. 이것으로부터 이미 최소한 1986년 이후 남획이 진행되어 왔고, 이에 따라 자원량은 꾸준히 감소하여 현재는 남획상태에 있는 것으로 분석되었다.

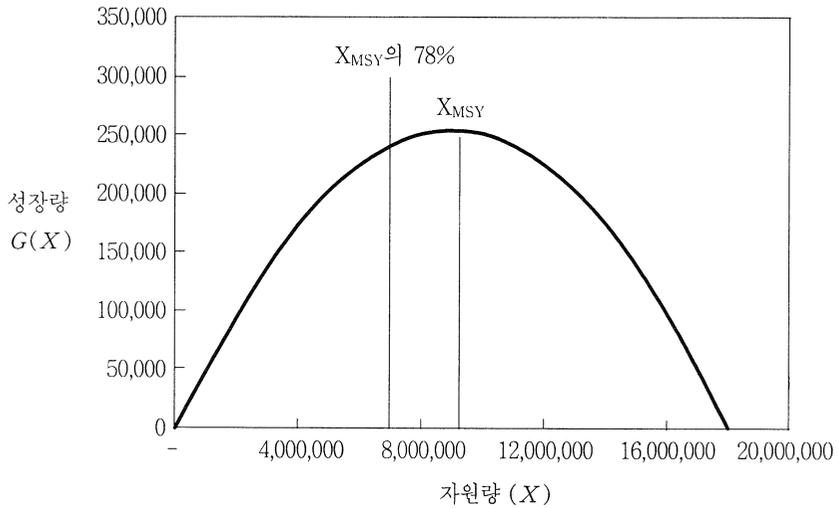
IV. Yellowedge Grouper 생물경제학 모델과 TAC제도

1. Yellowedge Grouper의 생물경제학 모델

1) 성장량 함수

Yellowedge Grouper의 성장량 함수(growth function: $G(X)$)는 ASPIC 잉

〈그림 4〉 Yellowedge Grouper의 자원량 수준(X)에 따른 성장량(G)



여생산량 모델에서 추정된 생물학적 변수를 바탕으로 식 (4)와 같이 일반적으로 가정되어지는 쉘피 함수형태를 이용하였다.

$$G(X_t) = r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad (4)$$

여기서, r 은 자원의 본원적 성장률, K 는 최대 자원량 수준, 그리고 X 는 자원량 수준을 나타낸다(<표 1> 참조). 식으로부터 $X = \frac{K}{2}$ 일 때 성장량이 최대로 되고, 자원량 수준이 그 이후로 증가하게 되면 성장량은 감소하게 된다. 이렇게 분석된 Yellowedge Grouper의 자원량 수준에 따른 성장량 곡선은 <그림 4>에서 보는 바와 같다.

앞서 언급한 바와 같이, 최대 지속적 생산가능한 자원량 수준(X_{MSY})에 대한 현재의 자원량 수준(X)의 비율이 0.8보다 작음으로써 남획된 상태에 있으며, 성장량 수준도 X_{MSY} 에서의 성장량 수준보다 낮음을 알 수 있다.

2) 어획량 함수

어획량 함수(harvest function)는 식 (5)와 같이 자원량 수준 (X)과 어획노력량 수준 (E)에 대해 선형적으로 비례하는 형태로 가정하였다.

$$H_t = q \cdot E \cdot X_t \quad (5)$$

여기서, q 는 어획능률계수(catchability coefficient)이고 E 는 어획노력량 수준을 의미한다.

제 I 절에서 설명한 바와 같이 1994년 이후 연승어업에서 Yellowedge Grouper 총생산량의 95% 정도를 어획해 오고 있기 때문에, 본 연구에서는 연승어선만이 Yellowedge Grouper를 어획한다고 가정하였다. 1999년~2002년 기간 동안의 NMFS Logbook에 의하면, 평균 105척의 연승어선이 어획을 하고 있으며, 출어횟수는 연간 4회 그리고 출어당 조업일수는 평균 10.2일로 나타났다. 어획노력량 수준 (E)은 어선척수, 출어횟수, 그리고 출어당 조업일수의 곱인 총조업일수로써 가정하였는데, 이에 따라 현재 총어획노력량 수준은 4,284 (일)로 계산되었다.

〈표 2〉 연승어선의 어획노력량

	어선척수 (척)	연간 출어횟수 (회)	출어당 조업일수 (일)	총어획노력량 (일)
연승어선	105	4	10.2	4,284

3) 자원동태함수

잉여생산량 모델을 사용한 자원동태함수(stock dynamics)는 일반적으로 다음의 식 (6)과 같은 형태를 가지게 된다.

$$X_{t+1} = X_t + G(X_t) - H_t \quad (6)$$

여기서 X_{t+1} 은 $t+1$ 년도의 자원량, X_t 는 t 년도의 자원량을 의미하고, $G(X_t)$ 는 t 년도의 성장량 그리고 H_t 는 t 년도의 어획량을 의미한다. 식 (4)와 (5)에서 가정된 성장량 함수와 어획량 함수를 고려하면 식 (6)은 다음과 같은 식 (7)의 형태로 바뀔 수 있다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E \cdot X_t \quad (7)$$

식으로부터 성장량 수준이 어획량 수준보다 크면 자원량은 증가하게 되고, 반대로 어획량 수준이 성장량 수준보다 높게 되면 자원량은 감소하게 된다.

4) 총수입함수

t 년도에 있어서의 총수입 (TR_t)은 식 (8)에서와 같이 어획량 함수에서 평가된 t 년도의 어획량 (H_t)에 시장가격 (p)을 곱함으로써 구하였다.

$$TR_t = H_t \cdot p \quad (8)$$

평균 Yellowedge Grouper의 시장가격 (p)은 2000년~2002년 기간 동안의 해양대기청(NOAA) 상업적 어업생산량 및 가격정보로부터 kg당 \$6로 평가되었다.

5) 총비용함수

t 년도의 총비용 (TC_t)은 총고정비용(TFC)과 총변동비용(TVC_t)의 합으로써 구하였다. t 년도의 총변동비용(TVC_t)은 식 (9)와 같이 출어횟수($Trip_t$)에 대한 함수로, 출어비용(trip cost: TTC)은 일정한 것으로 가정하였다.

$$TVC_t = TTC \cdot Trip_t \quad (9)$$

연승어선의 평균 출어비용을 1996년 멕시코만 어선을 대상으로 실시된 출어비용 조사보고서로부터 구하였는데(Waters, 1996), 출어비용은 \$2,200이고 고정비용은 \$29,139였다.⁴⁾

6) 총이익함수

t 년도의 총어업이익 (TP_t)은 총수입 (TR_t)에서 총비용 (TC_t)을 차감함으로써 구했고, 자원회복계획 하의 어업관리수단의 경제적 효과는 식 (10)과 같이 향후 25년간 발생할 연간 어업이익을 4% 사회적 이자율 (i)로 할인한 합으로써 분석하였다.⁵⁾

$$NPV = \sum_{t=1}^{25} \frac{TP_t}{(1+i)^t} \quad (10)$$

2. TAC 제도

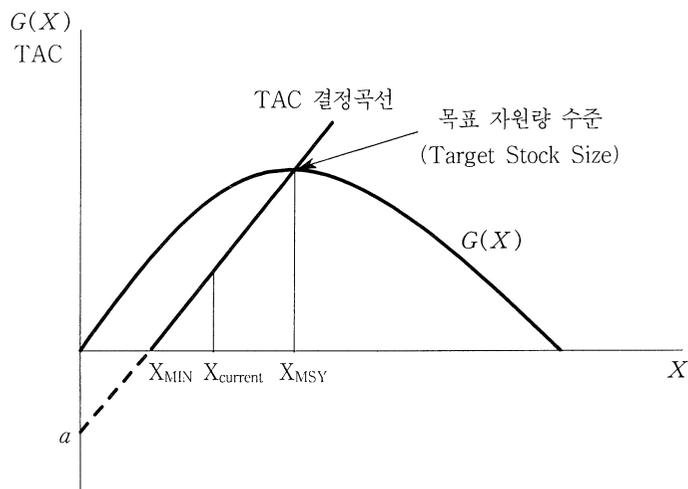
자원회복계획 하의 TAC제도는 목표 자원량 수준을 달성하기 위하여 정해진 기간 동안 연간 총허용어획량을 설정해 놓고 자원회복성과에 따라 이를 조절하면서 통제해 나가는 것이다. 만약 예측하지 못한 자원량 변동이 발생할 경우에는 다음 해의 TAC 물량을 조절하여 최대한 정해진 목표달성기간 내에 목표 자원량이 달성되도록 한다.

-
- 4) 보고서에서는 소형어선과 대형어선으로 나누어 각각의 출어비용을 조사하였기 때문에 본 연구에서는 모델의 적합성을 위해 가중평균을 이용해서 동일한 어선의 출어비용으로 하였다. 그리고 이 보고서가 어선의 어업비용을 파악할 수 있는 유일한 자료이므로 1996년 이후 현재까지의 어업비용은 동일한 것으로 하였다.
- 5) 미국연방은행의 2003년도 평균 사회적 할인율 4%에 따라 가정한 것으로, 사회적 이자율 변화에 따른 민감도 분석 결과는 <표 4>를 참조하기 바란다.

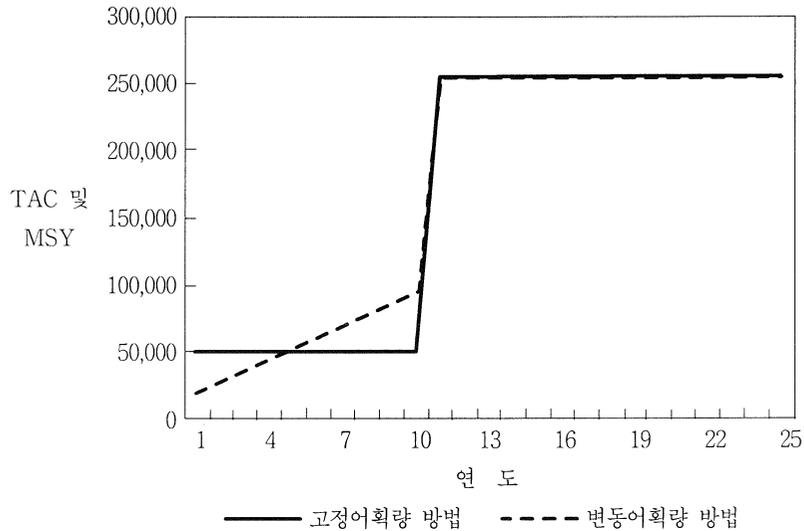
자원회복계획 하의 목표 자원량 달성을 위한 연간 TAC 물량 설정방법으로는 크게 고정어획량 방법(constant catch strategy)과 변동어획량 방법(variable catch strategy)이 있다. 고정어획량 방법은 정해진 기간 동안에 목표 자원량 달성을 위해 매년 고정된 어획량을 할당하는 방법으로 어업자들의 초기 어획량이 크게 줄어들지 않는다는 장점이 있지만, 자원량 증가에 따라 어획량이 증가하지 않는다는 단점이 있다. 변동어획량 방법은 고정어획량 방법과 달리 자원량 수준의 변화에 따라서 연간 할당량 수준도 달리 결정되는 방법으로 자원량 수준이 낮을 때는 허용 어획량이 적지만, 자원량 수준이 증가함에 따라 허용 어획량 수준은 높아지게 된다.

본 연구에서는 두 방법 모두 사용하여 TAC제도 효과를 분석하였는데, 10년 기간 동안 최대 지속적 생산가능한 자원량 수준(X_{MSY})을 목표 자원량으로 하고, 이를 달성하기 위한 연간 TAC 물량을 설정하였다. 그 이후의 할당량은 MSY(이것은 이미 ASPIC 잉여생산량 모델에서 254,340kg로 추정되었음)로 가정하였다. 고정어획량 방법의 경우는 Microsoft Excel 프로그램의 목표값 기능

<그림 5> 변동어획량 방법 하에서의 연간 TAC 물량 결정방법



<그림 6> 고정어획량 방법과 변동어획량 방법 하에서의 연간 TAC 물량 변화



을 이용해 연간 TAC 물량을 계산하였으며, 변동어획량 방법 하에서의 연간 TAC 물량설정은 Hilborn and Walters (2001)에 따라서 식 (11)과 같이 자원 회복기간 동안의 자원량 수준에 대한 일차 선형함수식(TAC 결정곡선)으로 가정하여 계산되었는데(Ray and Walters, 2001, pp. 454~456), 자원의 성장량 함수와 TAC 결정곡선 간의 관계를 도식화하면 <그림 5>와 같다.

$$TAC_t = a + b \cdot X_{t-1} \quad (11)$$

여기서, 만약 $X_{t-1} > X_{MIN}(=a/b)$ 이면 $TAC_t = a + b \cdot X_{t-1}$ 로 결정되고, 그렇지 않으면 연간 TAC 물량은 영(0)이 되어 어업을 행할 수 없게 된다.

목표 자원량 수준과 자원회복기간을 고려한 변동어획량 방법 하의 TAC 결정곡선은 $TAC_t = -115,820 + 0.021X_{t-1}$ 으로 정해졌고, ASPIC 잉여생산량 모델로부터 목표 자원량 수준(X_{MSY})은 8,998,000kg, 그리고 X_{MIN} 은 5,515,238kg

으로 결정되었다.

이상과 같이 결정된 자원회복계획 하의 고정어획량 방법과 변동어획량 방법 하에서의 연간 TAC 물량 변화를 나타내면 <그림 6>과 같다.

V. 생물경제학 모델 분석결과

생물경제학 모델을 이용하여 TAC제도가 없는 현상태유지 하에 있어서와 TAC제도 하에 있어서의 자원량 수준 변화, 어획량 변화, 그리고 경제적 어업 이익 변화에 대해 분석하였는데, 그 결과는 <표 3>과 <그림 7>에 요약되어 있다.

<표 3> 모델 분석 결과

	25년 후의 자원량 수준 (kg)	향후 25년 동안 발생할 총어업이익의 할인된 현재가치의 합 (백만 달러)
현상태유지	5,466,336	13.5
고정어획량 TAC제도	8,998,000	8.76 (-35.1%)
변동어획량 TAC제도	8,998,000	8.75 (-35.2%)

주: * 총어업이익의 현재가치를 구할 때 4%의 사회적 이자율이 적용되었음.

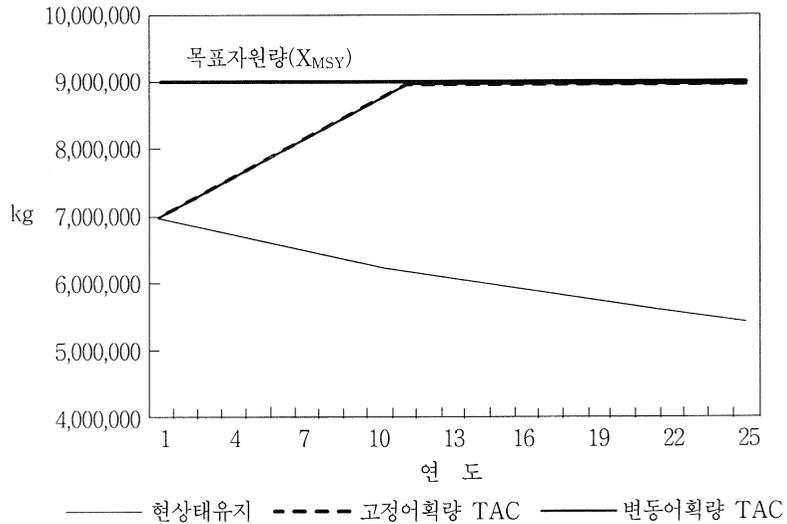
** 괄호 안의 퍼센트는 현상태유지 하에서부터의 변화 정도를 나타냄.

1. 현상태유지

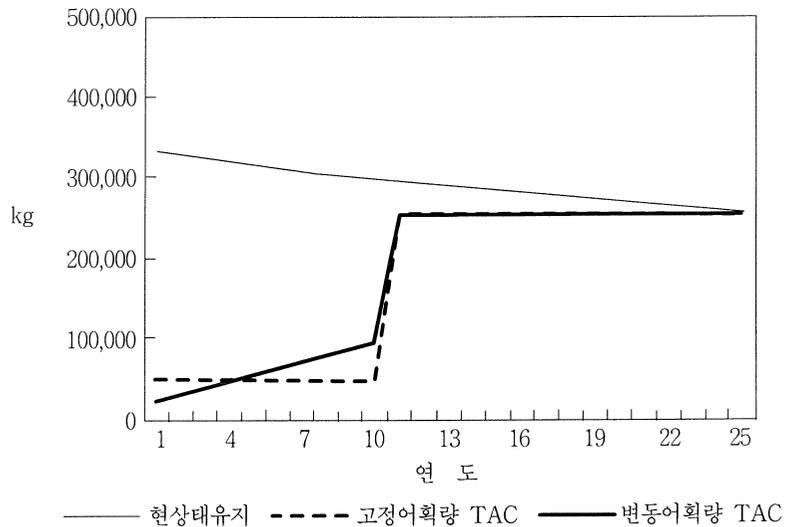
이미 ASPIC 잉여생산량 모델에서 평가된 바와 같이, 현재 상태(status quo), 즉 현행 어획강도수준이 유지된다면 자원량 수준은 계속적으로 감소하는 것으로 분석되었다(<그림 7-a>). 즉, 25년 후에는 목표 자원량 수준(X_{MSY})의 약

<그림 7> 모델 분석 결과

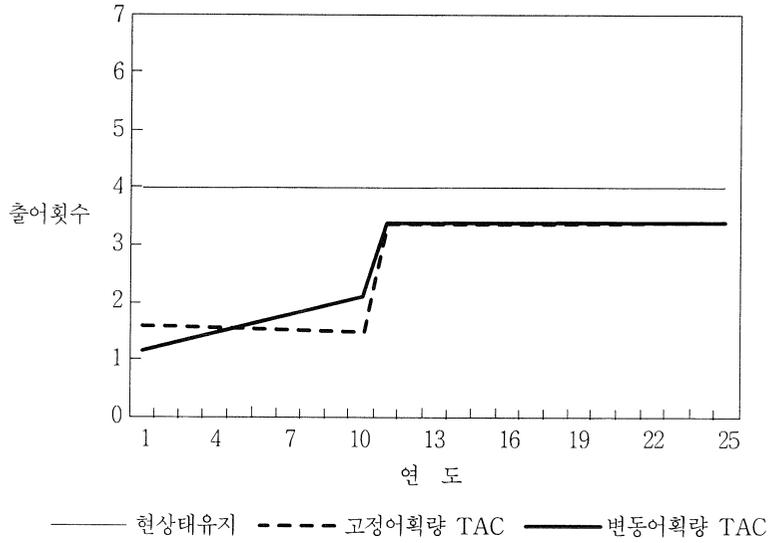
(a) 자원량 수준의 변화



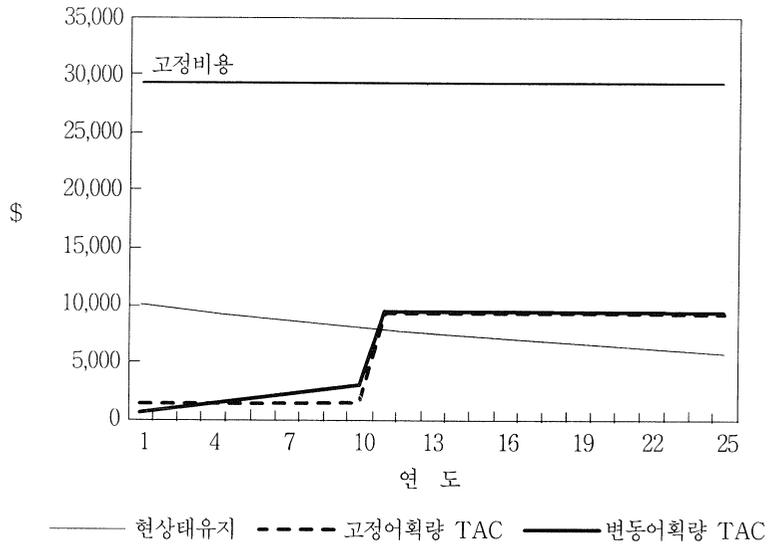
(b) 어획량 수준의 변화



(c) 출어횟수의 변화



(d) 단기어업이익의 변화



60% 수준인 5,500,000(kg)으로 감소되는 것으로 나타났다. 자원량의 감소에 따라 어획량도 점차 감소될 것으로 나타났는데, 현재 어획량 수준(332,304kg)은 대략 259,000(kg) 수준으로 감소될 것으로 분석되었다.

고정비용을 제외한 단기어업이익도 자원량 수준 및 어획량 감소에 따라 차츰 적어질 것으로 나타났다. <그림 7-d>에서 단기어업이익이 고정비용보다 훨씬 낮은 것으로 나타났지만, 연승어선은 Yellowedge Grouper 어종 이외에도 다른 어종을 동시에 어획하고 있기 때문에 실제 연승어선의 총단기어업이익은 모델에서 평가된 것보다 훨씬 높다.⁶⁾

2. TAC 제도

TAC제도 하에서는 자원량 회복을 위한 어획량 제한 때문에 출어횟수가 현상유지 하에서보다 크게 줄어들었다(<그림 7-c>). 자원회복기간 동안에는 현상유지 하의 연 4회 출어횟수에서 대략 1~2회 출어로 줄어들었고, 자원회복기간 이후에는 할당량 증가에 따라 출어횟수 또한 3~4회 수준으로 증가하였다. 자원회복기간 초기에는 고정어획량 TAC제도 하의 출어횟수가 변동어획량 TAC제도 하에서보다 높았지만, 자원량 증가에 따른 허용어획량 수준 증가로 시간이 지남에 따라 변동어획량 TAC제도 하에서의 출어횟수가 고정어획량 TAC제도 하에서보다 높게 되었다.

이러한 출어횟수 감소에 따른 어획량 수준의 감소로 자원량은 꾸준히 증가하여 변동어획량 TAC제도 및 고정어획량 TAC제도 하에서 목표 달성기간 동안 목표 자원량이 달성되었다. 하지만, 변동어획량 TAC제도 하에서 자원회복기간 동안 자원량 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 어획량 수준의 감소에 따라 어업 이익도 감소하였는데, 자원회복기간 이후에는 자원량 증가에 힘입어 단기어업이

6) 1998년~2001년까지의 Reefish Logbook Data에 의하면 연승어선은 Yellowedge Grouper 외에도 red grouper, shark, gag, black grouper, scamp, mutton snapper, snowy grouper, yellowfin grouper 등 다양한 어종을 어획하고 있다.

익이 증가하였다. 특히 자원회복기간 이후에는 단기어업이익이 현상태유지 하에서보다 크게 증가하는 것으로 분석되었다(<그림 7-d>). 그러나 <표 3>에서 나타난 바와 같이 자원회복기간 동안의 현저한 어획량 감소로 인하여 향후 25년 동안의 경제적인 총어업이익은 현상태유지 하에서보다 적은 것으로 분석되었다.

출어횟수의 변화에 따라 자원회복기간 초기에는 고정어획량 TAC제도 하에서의 어획량 및 어업이익 수준이 변동어획량 TAC제도 하에서보다 높지만, 시간이 지남에 따른 자원량 증가에 따라 변동어획량 TAC제도 하에서의 어획량 및 어업이익이 고정어획량 방법 하에서보다 크게 증가하였다.

VI. 요약 및 결론

천해 그루퍼류의 자원량 감소에 따라 연승어선들의 심해 그루퍼류 어종에 대한 어획이 꾸준히 증가해 왔다. 최근에 들어서부터 어획량 수준의 감소와 자원 특성상 수명이 긴 저서류 어종에 따른 자원남획의 우려에 따라 2002년 처음으로 심해 그루퍼류의 대표적 어종인 Yellowedge Grouper에 대한 자원조사평가가 이루어졌다. 하지만 연령구조모델 사용에 대한 필요한 생물학적 데이터의 부족으로 현재 자원량 수준에 대한 아무런 결론이 내려지지 못하였고, 이에 따라 어떠한 관리정책도 수립되지 못하였다.

이에 본 연구에서는 주어진 적은 자료로 자원량 평가를 할 수 있는 잉여생산량 모델을 사용하여 Yellowedge Grouper 자원량 수준을 재평가해 보았다. 그 결과 현재 자원량 수준이 최대 지속적 생산가능한 자원량 수준의 80% 미만으로 평가됨으로써 자원평가 기준상 남획상태에 있는 것으로 판명되었으며, 이에 따라 어업법에서 규정하는 바와 같이 자원량 회복을 위한 관리계획이 수립되어야 함이 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 최대 지속적 생산가능한 자원량 수

준을 목표 자원량으로 하고, 10년 기간 동안 TAC제도를 사용하는 자원회복계획을 수립하였다. 그리고 생물경제학 모델을 만들어 이 계획에 대한 생물학적·경제학적 효과를 분석하였다.

연간 TAC 몰량 설정방법인 고정어획량 방법과 변동어획량 방법 모두 추정하여 그 효과를 분석하였는데, 자원회복기간 동안의 연간 TAC 몰량은 자원회복을 위해 현재의 어획량 수준보다 크게 감소되어야 하는 것으로 분석되었다. 2002년 Yellowedge Grouper 자원조사평가 보고서에서 NMFS는 현재 자원량 수준에 대한 평가가 이루어지지 않는 않지만, 향후 어획량 수준이 현재 어획량 수준과 비슷한 342,000kg을 넘지 않도록 제안하였다. 하지만, NMFS가 제안한 어획량 수준은 ASPIC 잉어생산량 모델에 의해 추정된 MSY 수준보다 훨씬 높을 뿐만 아니라 분석된 연간 TAC 몰량수준보다도 훨씬 높았다. 따라서 만약 ASPIC 잉어생산량 모델 결과에 따라 자원회복계획이 수립된다면 어획량 수준이 현재 NMFS가 권고한 어획량 수준보다 크게 낮아져야 한다.

생물경제학 모델 분석 결과 어획량 통제에 따라 자원회복기간 동안 출어횟수가 크게 줄어드는 것으로 분석되었고, 이에 따라 어획량 수준 및 어업이익도 현상태유지 하에서 보다 크게 감소하는 것으로 나타났다. 변동어획량 TAC제도 하에서는 고정어획량 TAC제도 하에서보다 초기에 출어횟수가 줄어들게 되지만 자원량이 증가함에 따라 고정어획량 TAC제도 하에서보다 크게 증가하였다. 어업이익 및 어획량 수준 변화도 같은 양상을 보였다.

현상태유지 하에서와 TAC제도 하에서의 생물적 그리고 경제적 효과를 비교·분석해 보면 TAC제도 하에서 자원량 수준은 현상태유지 하에서보다 크게 증가하였지만, 향후 25년간 발생할 할인된 총어업이익은 자원회복기간 동안의 낮은 어획량으로 인하여 현상태유지 하에서보다 적은 것으로 분석되었다. 고정어획량 TAC제도와 변동어획량 TAC제도의 비교에서는 변동어획량 TAC제도 하에서 자원량 증가가 빨리 이루어졌지만 10년의 자원회복기간 이후에는 자원량 수준이 동일하였다. 경제적 효과에 있어서는 고정어획량 TAC제도 하에서 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나 이것은 사회적 할인율에 따라 달라질 수 있는데,

<표 4> 사회적 이자율에 따른 향후 25년 동안의 할인된 총어업이익의 변화

(단위: 달러)

할인율	현상태유지	고정어획량 TAC제도	변동어획량 TAC제도
2%	16,477,547	11,868,943	11,878,634
4%	13,467,154	8,755,917	8,745,500
8%	9,555,668	5,043,555	5,004,565
12%	7,239,653	3,124,524	3,067,781
20%	4,766,400	1,461,035	1,387,418

<표 4>에서 보는 바와 같이, 고정어획량 TAC제도 하에서는 초기에 보다 큰 어업이익이 발생하고, 변동어획량 TAC제도 하에서는 시간이 지남에 따라 보다 큰 어업이익이 발생하게 되므로 할인율이 낮을 때는 변동어획량 TAC제도 하에서 보다 큰 경제적 효과가, 그러나 할인율이 높아질수록 고정어획량 TAC제도 하에서 경제적 효과가 큰 것으로 분석되었다.

본 연구를 바탕으로 향후 어획량 변화를 고려하면서 Yellowedge Grouper에 대한 보다 구체적인 어획량 통제가 이루어져야 할 것이다. 또한 더 많은 생물학적 자료를 수집하여 연령구조모델에 의한 자원평가 결과와 본 연구 결과를 비교·검증하여 보다 정확한 자원평가가 행해져야 할 것이다. 그 결과에 따라서 어업환경에 맞는 다양한 어업관리수단이 강구되는 등 보다 구체적인 자원회복 계획이 수립되어야 한다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. Anderson, L. G., "Open Access Fisheries Utilization with an Endogenous Regulatory Structure: An Expanded Analysis," *Annals of Operations Research*, 94, 2000, pp. 231 ~ 257.
2. _____, *The Economics of Fisheries Management*, Revised and Enlarged Edition, Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press, 1986.
3. Cass-Calay, S. L. and M. Bahnick, "Status of the Yellowedge Grouper Fishery in the Gulf of Mexico," Sustainable Fisheries Division Contribution, No. SFD-02/03-172, NMFS, Southeast Fisheries Science Center, Miami, FL, 2002.
4. Danielsson, A., Stefansson, G., Baldursson, F. M. and K. Thorarinsson, "Utilization of the Icelandic Cod Stock in a Multispecies Context," *Marine Resource Economics*, 12, 1997, pp. 329 ~ 344.
5. Eggert, H. and M. Ulmestrand, "Bioeconomic Analysis of Swedish Fishery for Norway Lobster," *Marine Resource Economics*, 14(3), 1999, pp. 225 ~ 244.
6. GMFMC, "Report of the Socioeconomic Panel Meeting on Draft Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan to set A 10-year Rebuilding Plan for Red Grouper and Charter/Headboat Study," Tampa, FL, 2002a.
7. _____, "Draft Supplemental Environmental Impact Statement Scoping Document and Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan to set A 10-year Rebuilding Plan for Red Grouper," Tampa, FL, 2002b.
8. _____, "September 2002 Report of the Reef Fish Fishery Stock Assessment Panel: Final Draft," Prepared by the Reef Fish Stock Assessment Panel, Tampa, FL, 2002c.
9. Griffin, L. W. *et al.*, "A Bio-Economic Assessment of Gulf of Mexico Red Snapper Management Policies," *Transaction of the American Fisheries Society*, 30, 2001, pp. 117 ~ 119.
10. Haddon, M., *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*, Chapman & Hall/CRC, 2001.

11. Hilborn, R. and C. J. Walters, *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics & Uncertainty*, Kluwer Academic Publisher, 2001.
12. Lee, D. J., Larkin, S. L. and C. M. Adams, "A Bioeconomic Analysis of Management Alternatives for the U.S. North Atlantic Swordfish Fishery," *Marine Resource Economics*, 15(2), 2000, pp. 77~96.
13. National Marine Fisheries Service (NMFS), "Secretarial Amendment 1 to the Reef Fish Fishery Management Plan for Red Grouper, with associated Impacts on Gag and Other Groupers And Draft Supplemental Environmental Impact Statement," National Oceanographic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, MD, 2002.
14. Poffenberger, J., *Fishing Activity for Groupers in the Gulf of Mexico*, NMFS, Southeast Fisheries Science Center, Sustainable Fisheries Division, Miami, FL, 2000.
15. Prager, M. H. "Users Manual for ASPIC: A Stock-production Model Incorporating Covariates," SEFSC Miami Laboratory Document, MIA-92/93-55, 1995.
16. Ray Hilborn and Carl J. Walters, *Quantitative Fisheries Stock Assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 454~456.
17. Schirripa, M. J., Legault, C. M. and M. Ortiz, *The Red Grouper Fishery of the Gulf of Mexico: Assessment 3.0*, Southeast Fisheries Science Center, Sustainable Fisheries Division, Miami, FL, 1999.
18. Thunberg, E. M., Helsen, T. E. and R. K. Mayo, "Bioeconomic Analysis of Alternative Selection Patterns in the United States Atlantic Silver Hake Fishery," *Marine Resource Economics*, 13(1), 1998, pp. 51~74.
19. Waters, J. R., *An Economic Survey of Commercial Reef Fish Vessels in the U.S. Gulf of Mexico*, U.S. Department of Commerce, NOAA, NMFS, Beaufort, NC, 1996.
20. Yew T. S. and T. Heaps, "Effort Dynamics and Alternative Management Policies for the Small Pelagic Fisheries of Northwest Peninsular Malaysia," *Marine Resource Economics*, 11, 1996, pp. 85~103.

A Bioeconomic Analysis on the Effectiveness of Total Allowable Catch(TAC) Policy under the Rebuilding Plan

Dohoon Kim

This study is aimed at analyzing the effectiveness of TAC policy using a bioeconomic model. A surplus-production model is used as a population dynamic model, from which the yellowedge grouper is estimated to be overfished. As a result, a 10-year rebuilding plan using the TAC policy is established.

According to the result of model, under the well-enforced system, the target stock biomass is achieved during the rebuilding period. Especially, in order to accomplish the target stock biomass, the annual quota should be allocated much less than 342 tons that NMFS recommended.

The NPV over a 25-year under the TAC policy is predicted to be less than under the status quo. The economic gains under the variable-catch TAC policy is less than under the constant-catch TAC policy as the interest rate decreases, while the NPV under the constant-catch is greater than under the variable-catch TAC policy when the interest rate is high.

Keywords : Total Allowable Catch, Surplus Production Model,
Bioeconomic Model, Age-Structured Model,
Constant-Catch TAC, Variable-Catch TAC

자원회복계획 하에서의 총허용어획량(TAC)
어업정책 효과에 관한 생물경제학적 분석
— 미국 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업을 사례로 —

김도훈

본 연구는 미국 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업을 사례로 생물경제학 모델을 이용하여 자원회복계획 하의 총허용어획량(TAC) 어업관리정책 효과를 분석하였다. 생물학적 자원평가모델인 잉여생산량 모델의 추정 결과 자원이 남획상태인 것으로 나타났고, 그 결과 10년 기간 동안 TAC제도를 이용하여 목표 자원량 달성을 위한 자원회복계획이 수립되어졌다.

모델 분석 결과, 통제관리가 잘 이루어진다면 자원회복기간 이후에 목표 자원량 수준이 달성되는 것으로 분석되었다. 하지만, 목표 자원량 달성을 위해서는 자원회복 기간 동안의 어획량이 크게 감소되어야 하는 것으로 나타났는데, 특히 NMFS가 권고한 연간 342톤 어획량보다 더 크게 어획량이 감소해야 하는 것으로 분석되었다.

향후 25년 동안 발생할 어업이익은 자원회복기간 동안의 어획량 감소로 인하여 현 상태유지 하에서보다 적은 것으로 나타났다. 그리고 사회적 할인율이 낮을 때는 변동어획량 TAC제도 하에서 고정어획량 TAC제도 하에서보다 큰 어업이익이 발생하였지만, 할인율이 높아질수록 고정어획량 TAC제도 하에서 변동어획량 TAC제도 하에서보다 큰 어업이익이 발생하였다.

주제어 : 총허용어획량(TAC)제도, 생물경제학 모델, 잉여생산량 모델