

한국 동해안 기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)의 자원평가 및 적정어획량 추정

손명호 · 양재형¹ · 박정호 · 이해원¹ · 최영민 · 이재봉^{1*}

국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과 ¹국립수산과학원 동해수산연구소 독도수산연구센터

Stock Assessment and Optimal Catch of Blackfin Flounder *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea

Myoung Ho Sohn, Jae Hyeong Yang¹, Jeong-Ho Park, Haewon Lee¹,
Young Min Choi and Jae Bong Lee^{1*}

Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute,
National Fisheries Research & Development Institute, Gangnung 210-861, Korea

¹Dokdo Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang 791-110, Korea

The blackfin flounder *Glyptocephalus stelleri* is a commercially important species in the East Sea of Korea, but its catches and biomass have decreased gradually in recent years. This study estimated the optimal catch (acceptable biological catch, ABC) for the effective management of this species by estimating population ecology parameters and the stock biomass of blackfin flounder in the East Sea of Korea. The estimated instantaneous coefficient of total mortality (Z) of blackfin flounder was 1.0542/year, the survival rate (S) was 0.3485, and the instantaneous coefficient of natural mortality (M) was 0.3637/year. From the values of S and M , the instantaneous coefficient of fishing mortality (F) was calculated to be 0.6905/year. The age at first capture was 1.304 years, and the total length was 11.5 cm at that time. On the basis of these parameters, the annual biomass was estimated by a biomass-based cohort analysis using annual catch data in weight by year for 1991-2012 in the East Sea of Korea. The annual biomass peaked in 1997 at about 12,800 mt and then subsequently declined continuously to a level of 10,500 mt in 2004 and to 9,800 mt in 2011 and 2012. The maximum sustainable yield and $F_{0.1}$ were estimated as 3,547 mt and 0.3595/year, respectively. Using these estimations, the ABC was estimated to be 3,571 mt in tier 5, 3,397 mt in tier 4, and 2,622 mt in tier 3.

Key words: Blackfin flounder, Ecological parameters, Mortality, Biomass-based cohort analysis, Acceptable biological catch

서 론

기름가자미(*Glyptocephalus stelleri*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)에 속하는 어종으로 우리나라 동해, 남해, 일본, 사할린, 타타르 해협, 남쿠릴해협, 베링해에 분포한다(Choi et al., 2002). 기름가자미는 바닥이 펄이나 모래질인 수심 8-1600 m의 해역에 광범위하게 서식하는데(NFRDI, 2004), 주로 300 m보다 깊은 곳에 서식하는 저서성 어종으로 산란기에는 가까운 연안으로 이동한다(NFRDI, 2004; Choi et al., 2002).

가자미류는 동해안에서 자망, 연승, 저인망 및 트롤 등 여러

어업에서 어획되고 있고, 가자미류의 어획량은 최근 증가하는 경향을 보이고 있다. 국립수산과학원 동해수산연구소에서 수행한 어업자원조사 결과에서도 동해안에 기름가자미의 분포밀도가 높은 것으로 나타났고, 동해안에서 어획되는 가자미류 중 기름가자미의 어획비율이 54.9%에 이른다고 보고한 바 있다(NFRDI, 2010).

기름가자미는 주로 동해안 동해구외끝이중형저인망과 자망어업에 의해서 주로 어획되고 있으며, 우리나라 동해안의 연도별 어획량은 1990년대 초 1,600 mt의 수준에서 점차 증가하기 시작하여 1999년 4,050 mt으로 가장 높은 어획량을 보인 후 2009년까지 2,800 mt의 수준에서 변동을 보이다가 2010-2012

Article history;

Received 3 June 2013; Revised 12 August 2013; Accepted 20 August 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 724. 1010 Fax: +82. 51. 724. 1088

E-mail address: leejb@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(5) 598-606, October 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0598>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

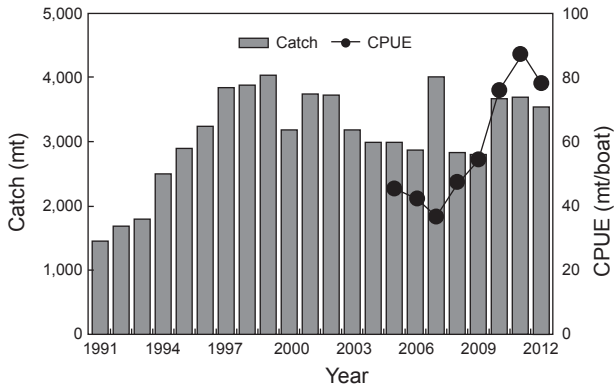


Fig. 1. Annual changes in total catch (mt) and CPUE of blackfin flounder *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea, 1991-2012. CPUE means catch per unit effort of the eastern sea Danish seine fishery.

년에는 3,500-3,700 mt의 어획량을 보여 최근 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 동해구외끝이중형저인망 어업의 CPUE는 2007년 이후 점차 증가하여 최근에는 적당 80-90 mt의 수준을 나타내고 있다(Fig. 1).

가자미류의 어획량 증가는 기름가자미의 어획량증가를 의미하며 기름가자미 주 어업인 동해구외끝이중형저인망과 자망 어업의 특성상 항상 남획의 가능성을 가지고 있으며, 최근 자원량이 서서히 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 기름가자미 자원보호와 관리를 위해 수산자원회복사업 대상종으로 선정하였고, 현재 본 종의 자원회복을 위한 생태학적 연구 등 많은 연구가 수행되고 있다.

기름가자미에 관한 연구는 국외에서 연령과 성장(Hashimoto, 1953; Ishida and Kotakata, 1953), 자치어의 변태(Okiyama, 1963), 산란생태(Ivankova, 1974), 섭식특성(Hayase and Hamai, 1974; Pushchina, 2000), 분포특성(Shvydkii and Vdovin, 2001; Tokranov, 2008) 등의 보고가 있고, 국내에서는 성숙과 산란(Cha et al., 2008), 연령과 성장(Lee et al., 2008; Yang et al., 2012), 자망과 삼중자망의 선택성 연구(Park et al., 2011) 등 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. 국내에서 수행된 가자미목에 속하는 종들에 관한 연구는 참가자미의 연령과 성장(Choi et al., 1986; Lee et al., 2006), 물가자미의 생물학적 연구(Hwnag et al., 1979), 범가자미의 연령과 성장(Jeon et al., 1996), 문치가자미의 연령과 성장(Park, 1997), 용가자미의 성장과 성숙(Choi et al., 1999), 돌가자미의 연령과 성장(Jun and Im, 2004) 등이 있으며, 대부분의 연구가 상업적 가치가 높은 종들이거나 중요생산을 위한 선행연구로 수행된 바 있다. 따라서 동해안의 주요 우점종인 기름가자미 자원의 지속적인 생산을 위한 기름가자미의 생태학적 특성치 및 자원량 추정 등 자원평가 및 관리방안 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 가장 최근에 추정된 성장계수(Yang et al., 2012)

Table 1. The von Bertalanffy growth parameters of the blackfin flounder *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea (from Yang et al., 2012)

Parameters	Estimated value
L_{∞} (cm)	39.92
k (/yr)	0.154
t_0 (years)	-0.905

를 초기자료로 사용하여 추정된 생산율, 사망계수, 어획개시연령 등의 자원생태학적 특성치와 어획물의 연령조성 및 어획량 자료를 이용하여 자원평가를 실시하고 적정어획량을 추정하여, 우리나라 동해안에 서식하는 주요 상업어종인 기름가자미의 효율적 관리방안 수립을 위한 과학적 근거를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

성장매개변수

기름가자미의 연령사정과 성장매개변수 추정은 2007년 강원도 해역에서 동해구외끝이중형저인망에 의해 채집된 표본을 대상으로 하였으며, 성장매개변수인 이론적 최대체장(L_{∞}), 순간성장계수(K), 체장이 0일때의 이론적 연령(t_0)은 Yang et al. (2012)의 연구결과를 이용하였다(Table 1).

순간전사망계수(Z) 및 생산율(S)

순간전사망계수는 최근 3년(2010-2012년) 동안 동해구외끝이중형저인망에서 어획된 기름가자미의 체장조성(TL, 전장) 자료와 Yang et al. (2012)에 의한 von Bertalanffy 성장매개변수(Table 1)를 적용하여 어획물곡선법(Pauly, 1984)으로 추정하였다. 즉, 최근 3년간의 체장자료를 성장매개변수에 의해 연령조성자료로 변환하고, 완전가입연령 이상에 해당하는 연령조성자료를 다음 식에 대입하여 직선회귀시켜 순간전사망계수를 추정하였다.

$$(C / \Delta t) = c \cdot Z(t + \Delta t / 2)$$

여기서, t 는 연령, C 는 실제 어획개체수, Δt 는 각 체장계급에 해당되는 연령간의 차이[$= t(L_{i+1}) - (L_i)$], c 는 상수를 각각 나타낸다. 순간전사망계수 추정은 개체군이 평형상태에 있다는 가정을 전제로 하므로 인위적인 평형상태를 만들기 위해 최근 3년간의 체장조성 자료를 산술평균하여 적용하였다. 그리고 생산율($S=e^{-Z}$)은 순간전사망계수로부터 변화하여 추정하였다.

순간자연사망계수(M) 및 순간어획사망계수(F)

일반적인 어류의 사망은 자연사망과 어획사망으로 구분되는데, 여기서 자연사망은 어획을 제외한 다른 요인에 의한 사망을

의미하며, 이입과 이출은 고려하지 않았다. 기름가자미의 순간 자연사망계수를 추정하기 위하여 Zhang and Megrey (2006) 방법을 적용하였으며, 그 모델식은 아래와 같다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb} + t_o)} - 1}$$

여기서 $t_{mb} = C_i \times t_{max}$ 이고, C_i 는 계수(저어류 0.440, 부어류 0.302), t_{max} 는 최고연령, K 는 von Bertalanffy 성장매개변수, t_o 는 체장이 0일때의 이론적 연령, β 는 체장-체중 관계식의 상수를 각각 나타낸다. 본 연구에 사용된 성장매개변수 K , t_o 와 체장-체중관계식의 상수 β 는 Yang et al. (2012)의 연구결과를 이용하였고, 최고연령은 Yang et al. (2012)에 의한 9세와 어체측정시 측정된 최대체장 33.1 cm를 연령으로 환산한 값이 10.6세임을 고려하여 최대연령을 11세로 간주하여 추정하였다. 순간 어획사망계수는 순간전사망계수에서 자연사망계수를 뺀 값으로 추정하였다.

어획개시연령(t_c)

일반적으로 어떤 자원의 어획개시연령은 망목시험을 통하여 추정하고 있으나 이에 관련된 자료가 없으므로 어획물의 체장조성과 von Bertalanffy의 성장식을 이용하여 추정하는 Pauly (1984) 방법을 사용하였다. 최근의 어업에 대한 어획개시연령을 추정하기 위하여 동해구의끝이중형저인망 어업의 2010-2012년간 체장조성자료를 이용하였다.

연도별 연령별 자원량

기름가자미의 자원량을 추정하는데는 성장개념을 포함시킨 생체량을 기초로 한 코흐트분석법(Zhang, 1987; Zhang and Sullivan, 1988)이 기존의 다른 모델에 비하여 생물학적 특성을 더 잘 반영한다는 장점을 가지고 있으므로 이 모델을 적용하여 자원량을 추정하였다. 먼저, 마지막 연도의 연령별 자원량은 다음의 모델로 추정하였다,

$$B_{ij} = C_{ij} \frac{F_{ij} + M + G_{ij}}{F_{ij} \{1 - \exp[-(F_{ij} + M + G_{ij})]\}}$$

연도별 최고령의 자원량은

$$B_j = \frac{C_{ij} + (F_{ij} + M + G_{ij})}{F_{ij}}$$

마지막 연도와 연도별 최고령을 제외한 자원량은,

$$B_j = B_{i+1j+1} \exp(M - G_i) + C_{ij} \exp\left(\frac{M - G_i}{2}\right)$$

으로 각각 나타낼 수 있다. 여기서, B_{ij} 는 i 년초 j 연령어의 자원중량, C_{ij} 는 i 년 j 연령어의 어획중량, F_{ij} 는 i 년 j 연령어의 순간어획사망계수, M 은 순간자연사망계수, G_j 는 j 연령어의 순간성장률을 나타낸다. 또한 연도별, 연령별 순간어획사망계수는 아래의 식에 의거 추정하였다.

$$F_{ij} = \ln \frac{B_{ij}}{B_{i+1j+1}} - M + G_{ij}$$

이 방법에서는 대상연도의 연도별 연령별 어획중량과 연령별 성장률, 순간자연사망계수, 마지막 어획사망계수(terminal F)를 사용한다. 여기서, 기름가자미의 연도별 연령별 어획중량은 1991-2012년간 동해안(강원도, 경상북도)의 통계청 어업생산통계자료와 동해에서 어획되는 가자미류 중 기름가자미의 어획비율이 54.9%인 결과를 적용하여(NFRDI, 2010) 추정하였다.

연령별 성장률(G_j)은 Yang et al. (2012)이 추정한 기름가자미의 체장-체중관계식을 이용하여 연령별 체중을 구한 후, 다음의 수식에 의해 추정하였다.

$$G_{ij} = \ln \left(\frac{W_{i+1}}{W_j} \right)$$

순간자연사망계수는 추정된 성장매개변수를 입력자료로 사용하였으며, 마지막 어획사망계수는 추정된 F 값을 마지막 연도의 전(全)연령 및 전(全)연도의 마지막 연령에 대하여 사용하였다.

마지막 어획사망계수의 경우, 동일한 값을 사용하였으므로 1차로 추정된 연도별 연령별 어획사망계수를 사용하여 실제의 자원구조를 반영하는 자원량과 어획사망계수를 구하기 위하여 다음과 같이 반복계산에 의해 보정하였다. 첫째, 어획사망계수는 연령별로 어구의 선택비가 다를 것 [$F(a) = s(a)F$]으로 가정하여 마지막 연도의 전(全)연령과 전(全)연도의 마지막 연령을 제외한 연령별 평균 F 로부터 연령별 선택비 [$s(a)$]를 구해서 마지막 연도의 F 값을 각 연령별로 보정하였다. 둘째, 어획사망계수는 연도별로 어획강도가 다를 것 [$F(t) = qf(t)$]으로 가정하여 마지막 연도의 전(全)연령과 전(全)연도의 마지막 연령을 제외한 연도별 평균 F 로부터 구한 연도별 어획강도비 [$f(t)$]를 구해서 전체 연도의 마지막 F 값을 보정하였다. 이와 같이 보정된 값들을 다시 입력자료로 사용하여 모델식에 의하여 연도별 연령별 자원량과 어획사망계수를 추정하였다.

최대지속적생산량(MSY)의 추정

기름가자미의 최대지속적생산량(MSY)과 MSY시의 어획노력량(f_{MSY})은 2005-2012년간 연도별 어획량 자료와 적당어획량(CPUE) 자료를 사용하여 Fox (1974) 모델과 Schaefer (1954) 모델에 각각 적용시켜 추정하였다.

Fox 모델은 $Y^* = U_{\infty} \exp\left(-\frac{qf}{r}\right) f$ 로 표현할 수 있으며, 여기서, Y^* 는 연간평형생산량, U_{∞} 는 평형 단위노력당 어획량, q 는 어획능률계수, r 은 자원의 내적 증가율, f 는 어획노력량을 나타낸다.

위 식을 f 에 대해 미분하면 $\frac{dy^*}{df} = -\frac{q}{r} U_{\infty} \exp\left(-\frac{qf}{r}\right) f + U_{\infty} \exp\left(-\frac{qf}{r}\right)$ 가 되며, $\frac{dy^*}{df} = 0$ 일 때, $f = -\frac{r}{q}$ 이 되고, $Y^* = \frac{U_{\infty} r}{eq}$ 이 되는데, 이때의 Y^* 가 최대지속적 생산량(MSY)이고, f 가 MSY시의 노력량(f_{MSY})이다.

Schaefer 모델은 $Y^* = U_\infty f - [U_\infty (\frac{q}{r})] f^2$ 로 나타낼 수 있으며, f 에 대해 미분하면 $\frac{dY^*}{df} = U_\infty - 2[U_\infty (\frac{q}{r})] f$ 가 되며, $\frac{dY^*}{df} = 0$ 일 때, $f = \frac{r}{2q}$ 이 되고, $Y^* = \frac{U_\infty r}{4q}$ 이 되는데, Fox 모델과 마찬가지로 이때의 Y^* 가 최대지속적생산량(MSY)이고, f 가 MSY시의 노력량(f_{MSY})이 된다.

적정어획사망계수($F_{0.1}$)의 추정

$F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 생산량 곡선에 대한 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당되는 어획사망계수를 의미한다. $F_{0.1}$ 값의 추정은 Beverton and Holt (1957) 방법과 Deriso (1987) 방법이 있는데, 본 연구에서는 Deriso에 의해서 제안된 방법으로, 수산 자원관리에 사용되고 있는 $F_{0.1}$ 값에 대해 다음과 같은 가정을 바탕으로 하고 있다. 즉, $F_{0.1}$ 방법을 Beverton and Holt (1957) 이론에 적용할 때, 가입당생산량을 최대화시키는 고유의 어획개시체장이 존재하므로 이와 관련되는 두 개의 매개변수(어획개시체장과 $F_{0.1}$ 값)는 개개의 자원생물의 고유한 특성치인 M/K (순간자연사망계수와 von Bertalanffy 성장계수의 비)에 따라 결정이 된다는 것이다. 따라서, 이 값을 사용하여 한 자원의 적정개발율($E_{0.1}$)이나 적정가입체장 등을 다음의 다항식을 사용하여 개략적으로 추정한다(Zhang, 2010). 적정개발율($E_{0.1}$) 추정식은 아래와 같다.

$$E_{0.1} = \exp[-0.400 - 0.263 (\frac{M}{K}) + 0.079 (\frac{M}{K})^2 - 0.009 (\frac{M}{K})^3]$$

또한, 적정가입체장(L_{opt})을 추정하기 위하여 먼저 적정가입체장비($C_{opt} = L_{opt}/L_\infty$)를 다음의 수식으로 구한다.

$$C_{opt} = \exp[-0.072 - 0.392 (\frac{M}{K}) + 0.063 (\frac{M}{K})^2 - 0.006 (\frac{M}{K})^3]$$

위의 수식을 사용하여 $E_{0.1}$ 과 L_{opt} 를 추정하기 위하여 순간자연사망계수(M)와 순간성장계수(K) 추정값을 적용하였으며, $F_{0.1}$ 은 $F_{0.1} = E_{0.1} \times \frac{M}{1 - E_{0.1}}$ 을 이용하여 추정하였다.

생물학적허용어획량(ABC)의 추정

기름가자미의 생물학적허용어획량은 Zhang and Lee (2001) 이 제시한 이용가능 정보의 질적수준에 따른 단계별 ABC 추정시스템을 이용하여 추정하였으며, 본 연구에서는 이용가능한 기름가자미의 정보수준에 따라 3-5단계의 관리수준을 이용하였다.

3단계 추정방법은 최근년도 자원량(B), 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기가 10%가 되는 기울기에 해당되는 어획사망계수($F_{0.1}$), 그리고 순간자연사망계수(M)의 자료를 이용하여 아래와 같이 추정하였다.

$$ABC = \frac{B \times F_{0.1}}{M + F_{0.1}} \times \{1 - \exp[-(M + F_{0.1})]\}$$

4단계 추정방법은 연도별 어획량과 노력량 자료를 이용하여 최

Table 2. Estimation of instantaneous coefficient of natural mortality (M) of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea

Method	Estimation of M	Input data
Zhang and Megrey (2006)	0.3637/year	$K = 0.154$ $t_{max} = 11$ years $t_0 = -0.905$ years $\beta = 3.359$

대지속적생산량을 추정하여 적정어획량의 기준으로 사용하였다.

5단계 방법은 가장 간단한 방법으로 단지 대상어종의 연도별 어획량 정보만을 필요로 한다. 적정어획량을 산출함에 있어서 자원량의 변동을 예측할만한 충분한 자료가 없을 경우에 예방적 접근방법이 최근 많이 적용되고 있다. 특히 어느 정도의 자료가 있다 하더라도 자료의 불확실성이나 자원붕괴의 위험성이 존재할 경우 이러한 예방적 접근이 자원붕괴를 방지하는데 효율적일 수 있다.

결 과

순간전사망계수(Z) 및 생산율(S)

기름가자미의 순간전사망계수는 2010년부터 2012년까지 3개년 에 대한 동해구외끝이중형저인망 어획물의 체장조성 평균치를 사용하여 어획물곡선법(Pauly, 1984)에 의해 1.0542/year로 추정되었고, 이 값을 생산율(S)로 환산한 결과 0.3485로 추정되었다.

순간자연사망계수(M) 및 순간어획사망계수(F)

기름가자미의 순간자연사망계수는 von Bertalanffy 성장매개변수 K 와 t_0 체장-체중관계식의 상수 β 및 최대연령 t_{max} 를 적용하여 Zhang and Megrey (2006) 방법으로 추정된 결과 0.3637/year이었으며(Table 2), 순간어획사망계수는 순간어획사망계수에서 순간자연사망계수를 제한 값인 0.6905/year로 추정되었다.

어획개시연령(t_c)

Table 3. Estimated instantaneous growth rate (G_t) of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea

Age (t)	L_t (cm)	W_t (g)	G_t (/yr)
1	10.15	4.81	1.1746
2	14.40	15.55	0.7575
3	18.04	33.18	0.5362
4	21.16	56.72	0.4001
5	23.84	84.62	0.3087
6	26.14	115.22	0.2438
7	28.10	147.03	0.1958
8	29.79	178.83	0.1592
9	31.24	209.69	0.1307

Table 4. Tuned instantaneous rate of fishing mortality by age of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea, 1991-2012

Age	G_a	Mean F_a	$S(a)$	F'_a
1	1.1746	0.015	0.030	0.021
2	0.7575	0.075	0.154	0.107
3	0.5362	0.269	0.556	0.384
4	0.4001	0.514	1.063	0.734
5	0.3087	0.522	1.078	0.744
6	0.2438	0.451	0.932	0.644
7	0.1958	1.176	2.429	1.677
8	0.1592	0.850	1.757	1.213
9	0.1307	0.484	1.000	0.691

동해구의끌이중형저인망 어업의 2010-2012년(3년간)의 체장조성자료와 von Bertalanffy 성장매개변수(Table 1)를 적용하여 Pauly의 어획물곡선법으로 추정된 동해안 기름가자미의 50% 어구가입연령 혹은 어획개시연령은 1.304 year이었고(Fig. 2), 이 때의 연령을 체장으로 환산한 결과 11.5 cm이었다.

연도별 연령별 자원량

한국 동해산 기름가자미의 자원량을 추정하기 위해 먼저 연령별 순간성장율을 구하였고, Yang et al. (2012)에 의한 연령별 체장조성자료와 체장-체중 관계식을 이용하여 연령별 체중으로 전환한 후 순간성장율을 구하였다(Table 3).

1991-2012년간 연도별 연령별 순간어획사망계수를 추정하였는데, 연령별 성장률, 1차 추정된 어획사망계수로부터 마지막 해의 전(全)연령을 제외한 연령별 평균 F 와 이로부터 추정된 연령별 선택비, 연령별로 보정된 마지막 F 를 구하였다(Table 4).

마지막 연령의 전(全)연도에 해당되는 F 값을 제외한 연도별 F 와 이로부터 추정된 연도별 어획강도비 및 마지막 어획사망계수 값을 구하였다(Table 5).

생체량을 기초로 한 코호트분석법에 의해 추정된 1991-2012

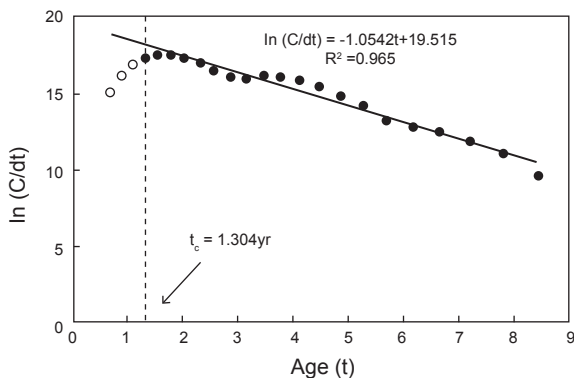


Fig. 2. Estimation of the selection ogive of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea from a length converted catch curve using the Pauly (1984) method.

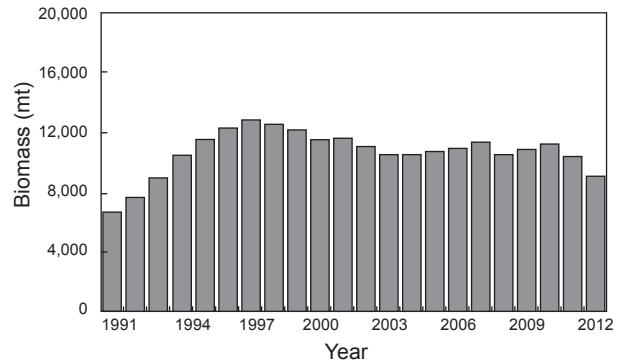


Fig. 3. Annual changes in biomass (mt) by year of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea, 1991-2012.

년간 한국 동해안 기름가자미의 연도별 연령별 자원량 변동을 나타내면(Fig. 3, Fig. 4), 1991년에 6,570 mt에서 점차 증가하기 시작하여 1997년 12,800 mt로 최고 수준을 보인 후, 약간 감소하기 시작하여 2004년 10,500 mt까지 감소하였고 최근 2011-2012년 평균 9,800 mt의 수준을 나타내고 있다(Fig. 3). 단위노력당어획량(CPUE) 변동은 2005년 45.7 mt/boat에서 점차 증가하여 2011년 87.6 mt/boat로 가장 높았고 2012년에는 78.4 mt/boat로 약간 감소한 수준을 나타내고 있다(Fig. 1).

Table 5. Tuned instantaneous rate of fishing mortality by year of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea, 1991-2012

Year	Mean F_t	$f(t)$	F'_t
1991	0.420	0.778	0.600
1992	0.424	0.784	0.604
1993	0.372	0.689	0.531
1994	0.431	0.798	0.615
1995	0.443	0.820	0.632
1996	0.444	0.822	0.634
1997	0.504	0.933	0.719
1998	0.513	0.950	0.732
1999	0.572	1.059	0.816
2000	0.456	0.843	0.650
2001	0.530	0.982	0.757
2002	0.570	1.056	0.814
2003	0.524	0.969	0.747
2004	0.497	0.919	0.708
2005	0.486	0.900	0.693
2006	0.428	0.793	0.611
2007	0.621	1.150	0.886
2008	0.467	0.865	0.667
2009	0.413	0.765	0.589
2010	0.513	0.950	0.732
2011	0.540	1.115	0.771
2012	0.484	1.000	0.691

Mean F_t : mean F by year excluding F 's for the last age (age 9)

$f(t)$: fishing intensity ratio by year.

F'_t : terminal F tuned by year.

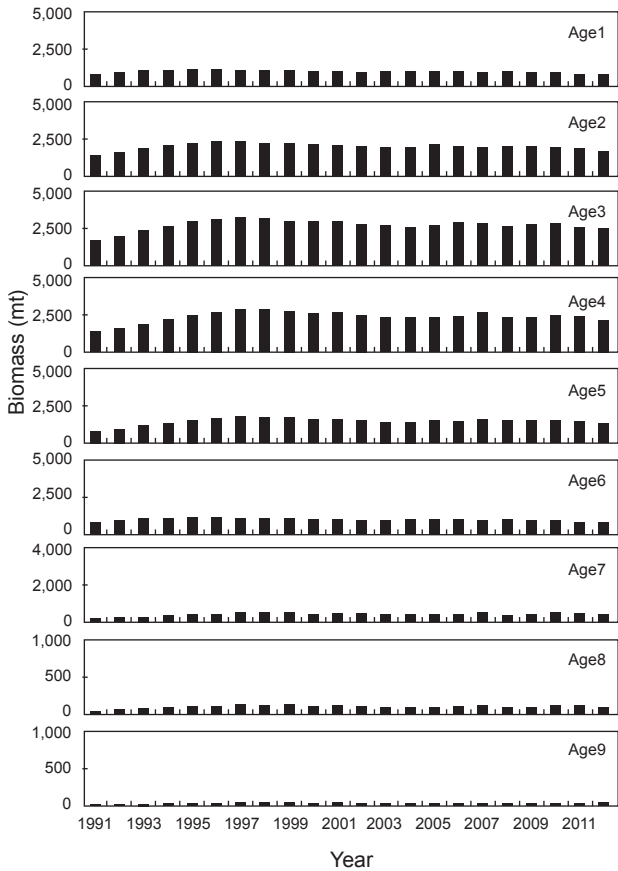


Fig. 4. Annual changes in biomass (mt) by age of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea, 1991-2012.

연령별 자원량은 3세의 자원량이 전체 자원량의 25%로 가장 높았고 4세가 22%, 2세가 18%, 5세가 13%의 순으로 나타나 2-5세의 자원량이 전체의 78%를 차지하고 있었다. 6세 이후의 자원량은 급격히 감소하여 8-9세의 자원량이 전체의 1.3%로 고령어의 생존율이 매우 낮은 것으로 나타났고(Fig. 4), 연령별 자원량 추정치에서 뚜렷한 탁월연급군은 출현하지 않았다.

최대지속적생산량(MSY)의 추정

2005-2012년의 연도별 어획량 자료와 척당 어획량(CPUE) 자료를 Scheafer 모델과 Fox 모델에 적용하여 추정된 동해안 기름가자미의 최대지속적생산량(MSY)은 각각 3,686 mt ($R^2=0.54$, $P<0.05$), 3,547 mt ($R^2=0.63$, $P<0.05$)이었으며, MSY시의 어획노력량(f_{MSY})은 73 boats와 81 boats로 추정되었으나(Fig. 5), 결정계수(R^2)의 값이 좀 더 높은 Fox 모델의 값을 MSY로 이용하였다.

적정어획사망계수($F_{0.1}$)의 추정

Deriso (1987)가 제안한 어획개시체장과 $F_{0.1}$ 값은 각 생물자원의 고유한 특성치인 M/K 에 따라 결정이 되므로 $M=0.3637/yr$,

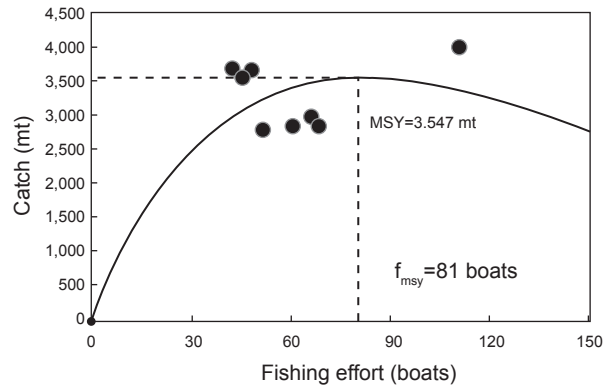


Fig. 5. Relationship between catch and fishing effort of *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea by Fox model during 2005-2012.

$K=0.154/yr$ 값을 사용하여 기름가자미의 적정개발율($E_{0.1}$)과 적정가입체장(L_{opt})을 추정했다. 여기서, 적정개발율 $E_{0.1} = 0.497$, 적정가입체장비(C_{opt})는 0.484로, 적정가입체장은 19.3 cm로 각각 계산되었으며 이때의 연령은 von Bertalanffy 성장식을 이용하여 3.49세로 추정되었고, 따라서 $F_{0.1} = E_{0.1} \times \frac{M}{1-E_{0.1}}$ 은 0.3595/year로 추정되었다.

생물학적허용어획량(ABC)의 추정

기름가자미의 생물학적허용어획량은 Zhang and Lee (2001) 이 제시한 단계별 ABC 추정시스템을 이용하여 추정하였으며, 본 연구에서는 3-5단계의 관리수준을 이용하였다.

3단계 추정방법은 최근년도 자원량(B), 어획사망계수($F_{0.1}$), 그리고 순간자연사망계수 (M)의 자료를 이용하였으며, 이에 따른 생물학적허용어획량은 2,622 mt로 추정되었다.

4단계 추정방법에서 기름가자미의 생물학적허용어획량은 결정계수(R^2) 값이 높은 Fox 모델에 의해 추정된 최대지속적생산량(MSY)의 95% 신뢰구간의 하한값인 3,397 mt를 ABC로 추정하였다.

5단계 방법은 가장 간단한 방법으로 기름가자미의 생물학적허용어획량을 추정하기 위하여 2010-2012년간의 3개년 어획량자료의 산술평균치(Y_{AM}) 3,636 mt의 표준편차 하한값을 적용하여 3,571 mt로 각각 추정하였다(Table 6).

고 찰

Table 6. ABC estimates of *Glyptocephalus stelleri* by tiers in the East Sea, Korea

	Stock Status	ABC (mt)
Tier 3	$F_{ABC} \leq F_{0.1} = 0.3595/yr$ $M = 0.3637/yr$	2,622
Tier 4	MSY = 3,457mt (Fox model) Optimal catch = low 95% C.I.×MSY	3,397
Tier 5	Using average catch (low STD value)	3,571

본 연구는 한국 동해안산 기름가자미의 자원생태학적 특성치, 자원량 및 적정어획량(ABC)를 추정하여 현재 과도어획이 우려되고 있는 기름가자미의 효율적 관리방안 수립에 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다.

생잔율을 추정하기 위하여 사용되는 연령조성자료는 원칙적으로 한 코호트(동일발생연급군)에 대해 일생을 통하여 추적한 자료를 사용하여야 하지만, 대부분은 한 코호트에 대한 자료를 얻기가 힘들기 때문에 자원의 평형상태를 가정하여 동해구의 끝이중형저인망 어업에 의한 최근 3개년(2010-2012년)의 체장조성자료를 평균하여 Pauly (1984)의 어획물곡선법으로 순간전사망계수($Z=1.0542/\text{year}$) 및 생잔율($S=0.3485$)을 추정하였다. 그러나 이러한 가정은 사실상 비평형상태가 상존하는 현실 상황을 무시하고 있기 때문에 자원평가에 있어 현실적인 문제가 있다.

순간자연사망계수(M)는 연급군 분석이나 대부분의 자원평가 및 관리모델에서 필수적으로 이용되는 자원특성치임에도 불구하고 지금까지 직접적인 추정방법이 개발되지 않아 간접적인 추정방법에 의존하고 있다. 순간자연사망계수 추정은 하나의 개체군이 지수적으로 감소하는 현상(자연사망만 고려, $Z=M$)과 그 개체군에 속해 있는 각 개체들은 von Bertalanffy 성장을 한다는 가정하에 추정하는 Alverson and Carney (1975) 방법, 순간자연사망계수는 수명과 깊은 관계가 있다는 가정하에 추정하는 Alagaraja (1984) 방법을 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 대상어종에 대한 체장-체중관계를 통해 구할 수 있는 β 값을 사용하여 어종별 특징을 보다 잘 반영한 Zhang and Megrey (2006)방법을 적용하였고, 그 결과 순간자연사망계수는 0.3637/년으로 추정되었다.

동해구외끝이중형저인망 어업에 의한 기름가자미의 50% 어구가입연령은 대상어구에 대한 체급별 망목선택성 자료가 없는 경우에 체장조성자료를 사용하여 추정가능한 Pauly (1984) 방법을 사용하여 1.304세로 추정되었고 이때의 체장은 11.5 cm로 계산되었다.

기름가자미 어획량은 동해구외끝이중형저인망 47%, 연안자망 36%로 전체 어획량의 83%를 점유하고 있는데(NFRDI, 2012), 동해구외끝이중형저인망 어업이 연안자망 어업에 비해 미성숙개체의 어획비율이 높아 어획강도가 높은 것으로 생각되기 때문에 망목선택성 등 각 어구의 특성이 기름가자미 자원에 미치는 영향은 추후 검토되어야 할 것이다.

본 연구에서 1991년 이전의 기름가자미 어획량(가자미류 어획량 중 기름가자미의 어획비율) 자료가 없어 기름가자미의 자원변동 경향은 파악할 수 없었지만, 기름가자미의 연도별 자원량은 1991년 6,570 mt를 나타낸 이후 점차 증가하기 시작하여 1997년 12,800 mt로 최고값을 보인 후 증감을 반복하면서 점차 감소하여 최근 2011-2012년 평균 10,300 mt의 수준을 보이고 있다. 또한, 기름가자미의 어획량은 1990년대 초반(1991-1993 평균) 약 1,640 mt 수준에서 2012년에 3,560 mt으로 약 2.2배 정도 증가한 것으로 나타났는데, 이는 어획노력량의 증가에 의

한 것으로 판단되며, 기름가자미의 자원량에 대한 어획량 수준을 고려해 볼 때 자원이 감소하고 있다는 뚜렷한 징후는 아직까지 보이지 않고 있다.

동해구외끝이중형저인망 어업의 노력량인 적당 어획량과 총어획량 자료를 이용하여 기름가자미의 최대지속생산량(MSY)을 구한 결과, Schaefer 모델에서 MSY는 3,686 mt, f_{MSY} 는 73 boats ($R^2=0.54$, $P<0.05$), Fox 모델에서 MSY는 3,547 mt, f_{MSY} 는 81 boats ($R^2=0.63$, $P<0.05$)로 추정되었다. Schaefer 모델에 의한 추정값이 Fox 모델보다 MSY의 경우 139 mt 많았고, f_{MSY} 는 8 boats 적은 것으로 나타났다. 하지만 두 모델의 결정계수(R^2)를 비교해 볼 때 결정계수 값이 더 높은 Fox 모델의 결과가 좀 더 유용할 것으로 판단되어, 최종 MSY 값으로 채택하였다.

Deriso (1987)의 적정어획사망계수($F_{0.1}$)의 추정방법에 의한 기름가자미의 적정개발율($E_{0.1}$)은 0.497, 적정가입체장비(C_{opt})는 0.484, 적정가입체장은 19.3 cm로 각각 계산되었으며, $F_{0.1}$ 은 0.3595/year로 추정되었다. 하지만 이 방법은 단지 순간자연사망계수(M)와 순간성장계수(K) 값만을 이용하여 개략적으로 적절한 가입체장과 개발율을 추정하려고 할 때 적용가능하다는 단점이 있는 것으로 알려져 있다(Zhang, 2010).

기름가자미의 생물학적허용어획량(ABC)은 최근년도 자원량(B), 적정어획사망계수 및 순간자연사망계수의 자료를 이용하는 3단계 방법에서 2,622 mt, Fox 모델에 의한 MSY 3,547 mt, 3년(2010-2012년)간의 어획량자료 산술평균치(Y_{AM}) 3,636 mt의 표준편차 하한값을 적용하여 3,571 mt로 각각 추정하였다.

일반적으로, MSY 수준의 자원량이 현재의 자원량과 비교하여 그 차이가 미미하거나 더 클 경우에는 과도개발의 우려가 있으므로 자원보존을 위한 조치가 필요하다(Gulland, 1983). 그러므로 실제 생물학적허용어획량은 Fox 모델에 의한 MSY 값의 95% 신뢰구간의 하한값인 3,397 mt를 ABC로 추정하였다. 따라서, ABC 추정시스템 3-5단계에 의해 ABC는 2,622-3,571 mt로 최종 결정되었다.

이와 같이 본 연구를 통하여 밝혀진 한국 동해안 기름가자미의 자원생태학적 특성치와 어획량 및 자원량의 변동양상, 생물학적허용어획량 등의 자료를 이용하여 현재의 자원상태를 확인해 볼 수 있는 자원평가를 수행하고, 자원평가 결과를 바탕으로 기름가자미 자원보존을 위한 합리적이고 효율적인 자원관리 및 어업관리 정책이 수립되고 시행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(2013 동해연안어업 및 환경생태조사, RP-2013-FR-063)의 지원으로 수행되었으며, 연구의 수행에 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

- Alagaraja K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J Fish* 31, 177-208.
- Alverson DL and Carney MI. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J Cons int Explor Mer* 36, 133-143.
- Beverton RJH and Holt SJ. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery investigations, Series II, Marine Fisheries*, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19, 309-329, reprinted Chapman and Hall Press, 1993.
- Cha HK, Kwon HC, Lee SI, Yang JH, Chang DS and Chun YY. 2008. Maturity and spawning of Korean flounder, *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt) in the East Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 20, 263-271.
- Choi SH, Chun YY, Gong YG and Son SJ. 1986. Studies on the age, growth and maturity of the flounder *Limanda herzensteini* Jordan et Snyder in Yong-il Bay of the Eastern Sea of Korea. *Bull Nat Fish Res Dev Agency* 39, 43-51.
- Choi SH, Hur YH, Chun YY and Zhang CI. 1999. Growth and Maturity of Pointedhead Flounder, *Cleisthenes pinetorum herzensteini* (Schmidt) in the East Sea. *J Korean Soc Fish Res* 2, 1-13.
- Choi Y, Kim JH and Park JY. 2002. Marine fishes of Korea. Kyo Hak Pub, Seoul, Korea, 529-545.
- Deriso RB. 1987. Optimal $F_{0.1}$ criteria and their relationship to maximum sustainable yield. *Can J Fish Aquat Sci* 44, 339-348.
- Fox WW Jr. 1974. An overview of production modelling. Working document submitted to the workshop on population dynamics of Tuna, sponsored by the ICCAT, Nantes/74/13, Nantes, France, 143-156.
- Gulland JA. 1983. Fish Stock Assessment: a manual of basic methods. Chichester, U.K. Wiley Interscience Press, Italy, FAO/Wiley Series of Food and Agriculture 1, 1-223.
- Hashimoto R. 1953. Studies on the age of *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt). *Bull Tohoku Reg Fish Res Lab* 2, 49-55.
- Hayase S and Hamai I. 1974. Studies on feeding habits of three flatfishes, *Cleisthenes pinetorum herzensteini* (Schmidt), *Hippoglossoides dubius* (Schmidt) and *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt). *Bull Fac of Fish Hokkaido Univ* 25, 82-99.
- Hwang BN, Choi SH and Hong ST. 1979. Biological study of Flounder (*Eopsetta grigirjewi* HERZESTEIN) in the South-Western Sea of Korea (II). *Korean Bull Nat Fish Res Dev Ag* 21, 23-33.
- Ishida R and Kitakata M. 1953. Studies on the age determination of flatfishes in Hokkaido, *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt). *Bull Hokkaido Reg Fish Res Lab* 8, 63-84.
- Ivankova ZG. 1974. Fecundity and pattern of spawning in *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt) from Peter the Great Bay. In studies on Fish Biology and Commercial Oceanography. Vol. 4. Kizevetter IV ed/ TINRO Annual Report, Vladivostok, Russia, 118-121.
- Jeon BS, Park BH, Jeon IK and Kang YJ. 1996. Age and Growth of Spotted halibut, *Verasper variegatus*. *Korean J Ichthyol* 8, 56-63.
- Jun JC and Im YJ. 2004. Age and growth of Stone flounder, *Kareius bicoloratus*, in the Western Coastal Waters of Korea. *Korean J Ichthyol* 16, 173-180.
- Lee JM. 2008. Age and growth of Korean flounder (*Glyptocephalus stelleri*) in the East Sea of Korea. Master's Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Lee SI, Park KY, Kim YS, Park HW, Yang JH and Choi SH. 2006. Age and growth of Brown sole, *Pleuronectes herzensteini* (Jordan et Snyder) in the East Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 18, 355-362.
- NFRDI. 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. Hangul Press, Busan, Korea, 253-255.
- NFRDI. 2010. Proceedings of the symposium for stock rebuilding in the East Sea. PD-2010-FR-003, Dong-Woo Press, Gangneung, Korea, 65-77.
- NFRDI. 2012. Stock state of rebuilding species and recommendations. SP-2012-FR-003, GM Communication Press, Busan, Korea, 82-89.
- Okiyama M. 1963. Larvae and young of the witch flounder, *Glyptocephalus stelleri* (Schmidt) at metamorphosis stages. *Bull Jpn Sea Reg Fish Res Lab* 11, 101-108.
- Park HH, Millar RB, Bae BS, An HC, Chun YY, Yang JH and Yoon SC. 2011. Size selectivity of Korean flounder (*Glyptocephalus stelleri*) by gillnets and trammel nets using an extension of SELECT for experiments with differing mesh sizes. *Fish Res* 107, 196-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2010.10.020>.
- Park JS. 1997. Age and Growth of the Marbled sole, *Pleuronectes yokohmae*, in approaches to Kyongyolbiyoldo of the Yellow Sea, Korea. *Bull Korean Soc Fish Tech* 33, 85-89.
- Pauly D. 1984. Length-converted catch data. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). *ICLARM Fishbyte* 2, 9-10.
- Pushchina OI. 2000. Specific features of feeding of the *Glyptocephalus stelleri* and *Acanthopsetta nadeshnyi* in the north-western Sea of Japan. *J Ichthyol* 40, 247-252.
- Schaefer KB. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Inter Am Trop Tuna Comm Bull* 1, 25-56.
- Shvydkii GV and Vdovin AN. 2001. Seasonal distribution of the Korean flounder *Glyptocephalus stelleri* in the northwestern part of the Sea of Japan. *Oceanology* 41, 565-569.
- Tokranov AM. 2008. Specific features of distribution and some features of biology of Korean flounder *Glyptocephalus stelleri* (Pleuronectidae) in waters off Kamchatka in the Sea of Okhotsk. *J Ichthyol* 48, 759-769. <http://dx.doi.org/10.1134/S0032945208090075>.
- Yang JH, Yoon SC, Lee SL, Cha HK, Kim JB, Choi YM and Park JH. 2012. Age and Growth of Blackfin Flounder, *Glyptocephalus stelleri* in the East Sea, Korea. *Fish Aquat Sci* 15, 169-176. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2012.0619>.
- Zhang CI. 1987. Biology and population dynamics of Alaska

- plaice in the eastern Bering Sea. Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle, U.S.A.
- Zhang CI. 1996. A study on the stock assessment and management implication of the hairtail in the Korean waters. 1. Estimation of population ecological characteristics of the hairtail in Korean waters. *J Korean Fish Soc* 28, 567-577.
- Zhang CI. 2010. *Marine Fisheries Resources Ecology*. Fisheries Science Series #1, Pukyong National University Press, Busan, Korea, 422-423.
- Zhang CI and Lee JB. 2001. Stock assessment and management implications of horse mackerel in Korean waters, based on the relationships between recruitment and the ocean environment. *Progress in Oceanography* 49, 513-537.
- Zhang CI and Megrey BA. 2006. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. *Trans Amer Fish Soc* 135, 620-633. <http://dx.doi.org/10.1577/T04-173.1>.
- Zhang CI and Sullivan PJ. 1988. Biomass-based cohort analysis that incorporates growth. *Trans Amer Fish Soc* 117, 180-189.