

한국 연근해 갈치의 자원평가 및 관리방안 연구

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

장 창 익

부경대학교 해양생산관리학과

A Study on the Stock Assessment and Management Implications of the Hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne in Korean Waters

1. Estimation of Population Ecological Characteristics of the Hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne in Korean Waters

Chang-Ik ZHANG

Department of Marine Production Management, Pukyong National University

Pusan 608-737, Korea

This study is to estimate population ecological parameters, including growth parameters, survival rates, instantaneous coefficients of natural and fishing mortalities, and age at first capture, as well as growth rates at age of the hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne in Korean waters. For describing the growth of the hairtail, three growth models were fitted, and the von Bertalanffy growth model was adopted for the purpose of the further stock assessment work. The von Bertalanffy growth parameters estimated from a nonlinear regression using EXCEL Solver were $L_{\infty}=46.01$ cm, $K=0.3868$, and $t_0=-0.3220$. Annual survival rate (S) of the hairtail was estimated to be 0.277 (variance=0.00035) and the instantaneous coefficient of natural mortality (M) was estimated to be 0.441/year. Instantaneous coefficient of fishing mortality (F) for the recent years was calculated as 0.843/year, implying an impact from fishing about two times greater than that of natural mortality. The age at first capture (t_c) was estimated to be 0.787 years, which is much younger age than 50% mature age. Finally, the growth rates at age were estimated.

Key words : population ecological parameters, growth parameters, survival rate, natural mortality, fishing mortality, age at first capture

서 론

갈치 (Hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne)는 난류성 어종으로 황해 및 동중국해에 널리 분포하며 우리나라에서는 남해안과 서해안에 분포한다 (Shin and Min, 1958). 이 어종은 전통적으로 참조기와 더불어 우리나라 연근해의 2대 저서어업자원으로서 어민소득에 아주 중요한 위치를 차지하여 왔다. 우리나라의 연근해에서 어획되는 갈치의 어획량을 1926년에서 1993년까지 살펴보면 1960년대 후반까지는 연간 5만톤이내

에서 연평균 약 3만톤 수준에서 약간의 연변동을 보였으나 1970년부터 어획량이 급격히 증가하여 1974년에는 16만톤을 초과하여 최대를 보이다가 감소하여 1977년에는 약 8만톤으로 감소하였다. 이 후 다시 증가를 보여 10만톤에서 15만톤 수준에 머물다가 최근에는 5만톤으로 격감되고 있는 실정이다 (Fig. 1).

한국 연근해의 갈치에 관한 연구를 살펴보면 분포 및 자원생태에 관해서 Shin and Min (1958), Joo (1971), Hwang and Hong (1985) 등의 연구가 있으며, 갈치의 어획과 해황에 관해서 Baik and Park (1986)의

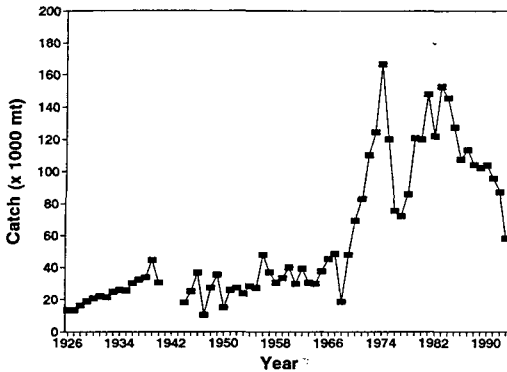


Fig. 1. Annual catches of the hairtail, *Trichiurus lepturus*, in Korean waters from 1926 to 1993.

연구가 있다. 근년에 들어와서 Yoo and Zhang (1993)은 시계열 분석에 의한 어획량 예측에 관한 연구를 수행한 바 있다.

갈치어업의 중심어장은 한반도 근해에서부터 점차 남하하는 경향을 보이고 있으며 단위노력당어획량(CPUE)도 1970년 이후 근년까지 점차 줄어들고 있는 것으로 보고되었다 (KORDI, 1990).

본 논문에서는 이와 같이 어획량과 상대자원량인 단위노력당어획량의 변동을 보이고 있는 한국근해 갈치자원에 대해서 자원평가의 기초로 사용되는 자원생태학적 특성치들인 성장매개변수와 생존율, 순간자연사망계수, 순간어획사망계수 및 어획개시연령을 추정하였다. 또한 생체량을 기초로 한 코호트 분석법에 의해 갈치자원의 연도별, 연령별 자원량을 추정하는데 입력자료로 사용되는 연령별 순간성장률을 추정하였다.

자료 및 방법

1. 성장계수

한국 연근해 갈치의 연령에 따르는 체장의 성장상태를 알아보기 위하여 Misu (1958)의 1,334개체의 어체표본을 사용하여 이석으로 측정된 연령별 평균체장 자료를 성장식의 추정에 사용하였다 (Table 1). 본 연구에서는 동물의 성장을 나타내는데 일반적으로 사용

Table 1. Total length at age of the hairtail in Korean waters

Age(year)	Total length(cm)
1	18.26
2	27.69
3	33.16
4	37.05
5	40.11
6	42.21

Data adopted from Misu (1958)

하는 von Bertalanffy 성장모델, Robertson 성장모델, Gompertz 성장모델을 선택하여 적합한 성장모델을 알아보고 또한 각 성장모델의 매개변수를 추정하였다. 먼저, von Bertalanffy 성장매개변수의 추정에는 전통적으로 사용되어 오는 Walford 정차도법에 의한 추정치와 Gulland-Holt 방법에 의한 추정치, von Bertalanffy 방법에 의한 추정치 및 컴퓨터 패키지인 EXCEL의 Solver를 이용한 비선형회귀방법에 의한 추정치들을 비교 분석하였으며, Robertson 성장모델의 경우에는 Morisita 방법, 선형대수화 방법, Eberhardt 방법, Zhang 방법 (Zhang, 1991), von Bertalanffy 방법 및 EXCEL의 Solver에 의한 비선형회귀방법 등을 사용하여 추정된 값들을 비교하였다. Gompertz 성장모델의 경우에는 von Bertalanffy 방법, Zhang 방법, 대수선형화 방법 및 EXCEL의 Solver에 의한 비선형회귀방법 등을 사용하여 얻은 값들을 비교하였다. 여기서, EXCEL의 Solver에 의한 비선형회귀방법을 사용하여 추정하기 위한 초기값으로는 $L_{\infty}=45.0$ cm, $K=0.4$, $t_0=0.2$ 였다. 각각의 추정방법들에 의하여 구한 추정치들을 비교하는 데는 이들 추정치들을 사용하여 계산한 연령별 체장 ($exp L_t$)과 관측된 연령별 체장 ($obs L_t$)과의 오차를 평방편차합 (sum of squared error : $SSQ = \sum (obs L_t - exp L_t)^2$)으로 비교하였다. 각 성장모델의 일반식은 다음과 같다.

$$\text{von Bertalanffy 성장식} : L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

$$\text{Robertson 성장식} : L_t = \frac{L_{\infty}}{1 + ae^{-Kt}}$$

$$\text{Gompertz 성장식} : L_t = L_{\infty}e^{-a \exp(-Kt)}$$

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

여기서, L_t : 연령 t 시의 체장, t : 연령, L_∞ : 이론적 최대체장, K , K' 및 K'' : 각 모델의 성장계수, t_0 : 체장이 0일 때의 이론적인 연령, a : 상수를 각각 나타낸다.

2. 생산율 (S)

생산율을 추정하는 데는 갈치의 연령조성자료를 사용하였다. 연령조성자료를 구하기 위하여 국립수산진흥원에서 1986~1988년의 대형기선저인망어업에 의해 어획된 갈치의 어획물로부터 조사한 체급별 총어획량과 체급별 평균체중, 체급별 체장조성 등을 사용하여 체장별 어획개체수를 구하였다 (KORDI, 1990). 여기에 연령-체장상관표 (age-length key)를 적용하여 연령조성을 구하였다. 이와 같이 추정된 1986~1988년의 연령조성 자료 (Table 2)를 이용하여 생산율을 추정하였다. 생산율의 추정에는 어획물곡선법, Jackson 방법, Heincke 방법, 평균연령이용법, Chapman and Robson 방법 및 Beverton and Holt 방법 등의 6가지를 사용하여 비교 분석하였다 (Zhang, 1991). 각각의 추정방법들에 의하여 구한 추정치들을 비교하는 데는 이들 추정치들을 사용하여 Table 2의 1세의 어획개체수를 기준으로 하여 2세에서 6세까지의 연령별 어획개체수를 계산한 후 이 계산치 ($exp C_t$)와 Table 2의 관측된 연령별 어획개체수 ($obs C_t$)와의 오차를 평방편차합 (sum of squared error: SSQ)으로 비교하였다. 평방편차합 (SSQ)은 연령별 어획개체수의 감소 경향이 지수적이라는 가정하에서 $SSQ = \sum [\ln(obs C_t) - \ln(exp C_t)]^2$ 으로 계산하였다. 생산율 추정에서 개체군이 평형상태에 있다는 가정을 전제로 하므로 인위적인 평형상태를 만들기 위하여 매년의 연령조성을

산술평균하여 구한 3개년의 연령조성 평균치를 사용하였다.

3. 순간자연사망계수 (M) 및 순간어획사망계수 (F)

자연사망은 가입이후에 일어나는 사망만을 의미하며 어획을 제외한 다른 요인들에 기인된 사망으로 간주하고 이입과 이출은 고려하지 않았다. 갈치자원의 순간자연사망계수 (M)를 추정하는 데는 Alvenson and Carney (1975) 방법 및 Alagaraja (1984) 방법을 채택하여 추정하였으며, 각각의 모델식은 다음과 같다.

Alvenson and Carney (1975) 모델식

$$\hat{M} = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{max})} - 1}$$

K: von Bertalanffy 성장식의 성장계수,

t_{max} : 최고연령.

Alagaraja (1984) 모델식:

$$M = -\ln(0.01)/T_m$$

T_m : 자연수명, 여기서는 어획물에서 나타난 최고연령이 9세였으므로 10세로 간주하였다.

순간어획사망계수 (F)는 순간자연사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)를 제함으로써 추정하였고, 순간자연사망계수는 앞에서 추정된 생산율 ($S = e^{-Z}$)값에서 변환하였다.

4. 어획개시연령 (t_c)

일반적으로 한 자원의 어획개시연령은 망목시험을 통하여 추정하는 방법이 가장 효율적이다 (Zhang, 1991). 그러나 여기서는 망목시험에 의한 자료의 사

Table 2. Age composition of the hairtail population derived from the Korean large trawl fishery, 1986~1988

Age	1986	1987	1988	Combined Mean
1	8,968	8,731	8,803	8,834
2	692	851	859	801
3	214	278	231	241
4	84	97	74	85
5	32	33	25	30
6	11	11	8	10

Data source: National Fisheries Research and Development Agency, Korea

Table 3. Catch in number at length of the hairtail by the Korean large trawl fishery, 1986~1988

Class(cm)	1986	1987	1988	Combined Mean
13	39,000	34,984	51,137	41,707
14	104,700	109,703	138,691	117,698
15	206,900	218,629	278,631	234,720
16	349,100	366,522	477,610	397,744
17	503,900	523,968	706,773	578,214
18	632,900	649,259	916,905	733,021
19	687,300	697,312	1,031,625	805,412
20	667,700	674,302	1,042,800	794,934
21	543,000	540,439	889,317	657,585
22	404,800	404,190	703,440	504,143
23	242,500	236,742	470,925	316,722
24	104,900	137,214	257,062	166,392
25	85,100	112,713	207,509	135,107
26	75,600	102,586	172,984	117,057
27	66,600	96,669	138,367	100,545
28	60,000	88,909	119,894	89,601
29	51,500	76,676	100,596	76,257
30	41,800	61,402	78,078	60,427
31	32,100	46,290	57,503	45,298
32	22,800	32,316	36,572	30,563
33	14,500	19,051	19,676	17,742
34	11,500	12,881	14,618	13,000
35	10,500	11,856	13,432	11,929
36	9,300	10,273	11,722	10,432
37	7,500	8,315	9,703	8,506
38	5,200	6,325	7,590	6,372
39	4,300	4,511	5,703	4,838
40	2,800	2,922	3,946	3,223
41	1,700	1,416	2,448	1,855
42	100	168	618	295

Data source: National Fisheries Research and Development Agency, Korea

용이 불가능하였으므로 어획물의 체장조성과 von Bertalanffy의 성장식을 이용하여 추정하는 Pauly (1984)의 방법을 사용하였다. 최근의 어업에 대한 어획 개시연령 (t_c)을 추정하기 위하여 1986~1988년의 대형기선저인망어업에 의한 한국 연근해 갈치의 체장조 성장자료를 이용하였다 (Table 3).

5. 순간성장률 (G_i)

갈치의 연도별 연령별 체중에 관한 자료를 이용할 수 없었기 때문에 매년 성장에 큰 차이가 없을 것이라 가정하고, 연령 (i)별 순간성장률 (G_i)은 연령별 체중 (W_i) 자료를 사용하여 다음의 수식에 의하여 추정하였다.

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

Table 4. Comparison of von Bertalanffy parameters of the hairtail in Korean waters estimated from the Walford graph method, the von Bertalanffy method, the Gulland-Holt method and the EXCEL-Solver nonlinear regression method

Methods	Parameters				
	L_{∞}	K	t_0	SSQ	R^2
Walford	45.74cm	0.4015	-0.2342	0.6797	0.9960
von Bertalanffy	46.99cm	0.3540	-0.4381	0.5498	0.9994
Gulland-Holt	45.74cm	0.4015	-0.2342	0.6797	0.9839
Nonlinear	46.01cm	0.3868	-0.3220	0.3518	-

$$G_i = \ln\left(\frac{W_{i+1}}{W_i}\right)$$

여기서 사용된 연령별 체중자료는 von Bertalanffy의 체중성장식을 이용하여 추정하였다.

결 과

1. 성장계수

Misu (1958)의 자료를 이용하여 von Bertalanffy의 성장식과 매개변수들을 Walford의 정착도법, von Bertalanffy의 방법, Gulland-Holt 방법 및 EXCEL의 Solver를 이용한 비선형회귀분석법으로 각각 추정하였다 (Table 4).

내 추정치간의 평방편차합 (SSQ)은 Table 4에서 보는 바와 같이 Walford 정착도법과 Gulland-Holt 방법에 의한 오차가 EXCEL-Solver를 이용한 비선형회귀분석에 의한 것보다 약 2배를 나타냈으며, von Bertalanffy에 의한 오차는 상대적으로 작은 편이었으나 이 값도 역시 비선형회귀방법을 이용한 오차보다 크게 나타났다. 결정계수에 있어서는 von Bertalanffy, Walford, Gulland-Holt 순으로 높았다. Walford 정착도법은 Gulland-Holt 방법에 비하여 적합도를 나타내는 결정계수는 조금 더 큰 값을 보였으나 오차의 크기를 나타내는 평방편차합은 같은 값을 나타내었다. 따라서, von Bertalanffy 성장식의 매개변수들은 EXCEL-Solver를 이용한 비선형회귀분석방법에 의한 추정값이 오차가 가장 작았다. 체장-체중 관계식은 국립수산진흥원 (1994)의 $W=0.06321L^{2.5456}$ (W: g, L: cm)을 이용하였다. 비선형회귀방법에 의해 추정된 von Bertalanffy 성장식의 이론적 최대체장을 사용하여 계산

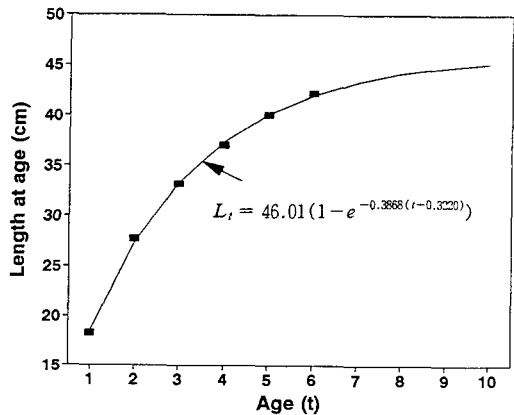


Fig. 2. The von Bertalanffy growth curve of the hairtail in Korean waters estimated from the non linear regression method.

된 이론적 최대체중인 W_{∞} 는 1080.79g으로 추정되었다 (Fig. 2). 가장 오차가 작은 비선형회귀방법에 의한 von Bertalanffy 성장모델의 추정식과 성장곡선은 Fig. 2에 나타나 있다.

Gompertz 성장식의 매개변수 추정치들은 Table 5에 나타나 있다. Gompertz 성장식의 매개변수 추정에서 각 방법에 의한 평방오차합은 Table 5에서 보는 바와 같다. 대수선형화 방법에 의한 오차가 가장 크게 나타났으며 가장 오차가 작은 경우에 속하는 비선형회귀방법에 비하여 오차의 크기가 약 6배에 달하였다. 그 다음으로 큰 오차를 초래한 방법은 Zhang 방법이었으며 비선형회귀방법보다 오차의 크기가 약 4배였다. von Bertalanffy 방법은 비선형회귀방법에 비해서는 평방오차합이 컸으나 다른 두 방법에 비해서는 훨씬 작게 나타났다. 한편, 결정계수에 있어서는 von Bertalanffy 방법이 가장 큰 값을 보였으며, 평방편차합에서는 더 양호한 값을 보였던 Zhang 방법이 대

Table 5. Comparison of Gompertz parameters of the hairtail in Korean waters estimated from the von Bertalanffy method, the linearization method, the Zhang method and the nonlinear regression method

Methods	Parameters				
	L_{∞}	K	a	SSQ	R ²
von Bertalanffy	45.26cm	0.4996	1.4258	1.6168	0.9978
Linearization	43.19cm	0.6280	1.7791	5.9212	0.9873
Zhang	43.12cm	0.6246	1.7325	4.3879	0.9673
Nonlinear	44.05cm	0.5630	1.5132	1.0931	—

Table 6. Comparison of Robertson parameters of the hairtail in Korean waters estimated from the von Bertalanffy method, the Morisita method, the linearization method, the Eberhardt method, the Zhang method and the nonlinear regression method

Methods	Parameters				
	L_{∞}	K	a	SSQ	R ²
von Bertalanffy	44.25cm	0.6494	2.4767	3.0991	0.9951
Morisita	42.33cm	0.8333	1.2911	158.4227	0.8867
Linearization	40.45cm	0.8504	1.0237	165.4227	0.9231
Eberhardt	42.39cm	0.8224	1.2626	162.1201	0.9623
Zhang	42.19cm	0.8142	1.0383	212.2832	0.9368
Nonlinear	42.97cm	0.7424	2.6923	2.2056	—

수선형화 방법보다 오히려 더 낮은 값을 나타내었다. Gompertz 성장식에 의한 이론적 최대체장은 43.1 cm~45.3 cm으로 추정되었고 성장계수는 0.500에서 0.628 사이로 나타났다.

Robertson 성장식의 매개변수 추정치들은 Table 6에 나타나 있다. Robertson 성장식의 매개변수 추정에 사용된 여섯가지 방법의 각각에 대한 SSQ를 비교해 보면 Zhang 방법이 212로 가장 높은 값을 보였으며 그 다음으로 대수선형화 방법, Eberhardt 방법, Morisita 방법, von Bertalanffy 방법, 비선형회귀방법의 순이었다. 이들의 결정계수를 비교해 보면 von Bertalanffy 방법이 0.9951로 가장 높게 나타났고 Morisita 방법이 0.8867로 가장 낮게 나타났다. 이론적 최대체장은 각각 40 cm에서 45 cm 사이로 추정되었으며, 성장계수는 0.65에서 0.85사이로 나타났다.

2. 생잔율

1986~1988년의 대형기선저인망에서 어획된 어획물의 연령조성자료 (Table 2)를 이용하여 추정된 생잔율은 0.11에서 0.28의 범위를 나타냈다 (Table 7).

생잔율 추정방법 중 어획물곡선법에 의한 생잔율 추정치가 가장 높은 값을 보였으며, Jackson 방법과 Heincke 방법은 아주 비슷한 0.1168과 0.1167을 나타내었다. 계산공식이 유사한 평균연령법과 Chapman and Robson 방법에 의한 생잔율 추정치는 각각 0.1459였다.

적용된 다섯가지 방법중 어획물 곡선법, Heincke 방법 및 Chapman and Robson 방법은 분산값을 추정할 수 있었으며, 추정된 분산값은 어획물 곡선법이 가장 컸고 Heincke 방법이 가장 작았다. 각 방법에 대한 평방오차합은 어획물곡선법이 가장 작았으며 Jackson 방법과 Heincke 방법이 중간 수준으로 어획물곡선법에 의한 오차의 약 2배를 보였고, 평균연령법과 Chapman and Robson 방법은 가장 큰 오차를 보였다. Fig. 3은 평방오차합이 가장 작게 나타난 어획물곡선법에 의한 생잔율 곡선을 보여주고 있다.

3. 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수

한국 연근해 갈치의 순간자연사망계수 (M)를 추정함에 있어서 Alverson and Carney 방법에 적용한 성

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

Table 7. Estimates of survival rates and their sum of squared errors of the hairtail in Korean waters using mean age composition for three years by five different methods

Methods	S	Var(S)	SSQ
Catch-curve	0.2779	0.000350	1.4077
Jackson	0.1168	NA	4.5034
Heincke	0.1167	0.0000103	4.5102
Average age	0.1459	NA	2.9922
Chapman and Robson	0.1459	0.0000106	2.9922

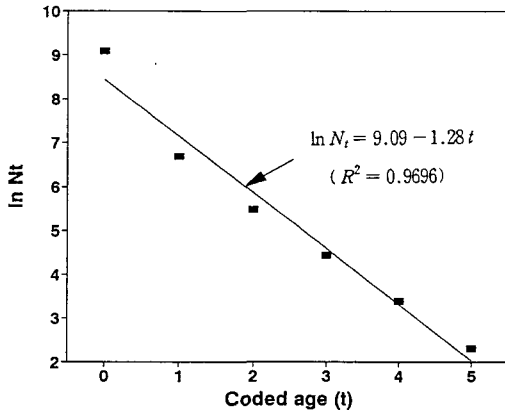


Fig. 3. The survivorship of the hairtail in Korean waters estimated from the catch curve method.

장계수(K)는 앞에서 비선형회귀방법을 사용하여 추정된 von Bertalanffy식의 계수이며 이 어종의 최대연령은 연령조성자료로부터 9년으로 나타났으므로 이 값을 사용하였다. 이 방법에 의해 추정된 순간자연사망계수(M)는 0.421/년 이었다. 또, 자연수명을 이용하는 Alagaraja 방법에 의한 순간자연사망계수의 추정치는 Alverson and Carney의 값과 비슷한 0.461/년이었다(Table 8). 따라서, 순간자연사망계수는 이 두 값을 산술평균한 0.441/년으로 추정하였다.

순간어획사망계수는 앞에서 어획물곡선법으로 추정된 생산율($S=e^{-Z}$)값에서 변환하여 추정한 순간전

사망계수(Z)의 값 1.284/년에서 위의 두가지 방법에 의해 추정된 순간자연사망계수(M)의 평균치 0.441/년을 제하여 추정하였으며, 그 결과 순간어획사망계수는 0.843/년이었다.

4. 어획개시연령

Table 3의 한국 대형기선저인망어업에 의한 체장조성자료를 사용하여 한국 연근해 갈치자원의 어획개시연령(t_c), 혹은 50% 어구가입연령을 Pauly의 방법에 의하여 추정하였다. 여기서 사용된 von Bertalanffy의 성장계수는 앞에서 비선형회귀방법에 의해서 추정된 값이다. 체장조성자료는 이 성장계수에 의하여 연령조성으로 변환되었으며, 변환된 연령조성을 이용하여 어획물곡선식에 의해 순간전사망계수를 먼저 추정하였다(Fig. 4). 여기서 연령에 관계없이 일정한 사망계수를 가진다는 가정하에서 가입, 혹은 어구선택이 되지 않을 상태를 예상한 기대어획계수와 실제어획계수와와의 비를 사용하여 50% 어구가입연령을 추정하였다. 계산된 어구가입연령은 0.787세이었다(Fig. 4).

5. 연령별 순간성장률

연령별 순간성장률을 구하기 위하여 국립수산진흥원(1994)의 체장-체중관계식을 이용하여 연령별 체중을 구하였으며 추정된 순간성장률은 Table 9에 나타내었다.

Table 8. Estimated instantaneous coefficients of natural mortality (M) of the hairtail in Korean waters by two different methods and their input data

Methods	Estimates of M	Input data
Alverson and Carney	0.421	K=0.3868/year $t_{max}=9$ years $L_{\infty}=46.01$ cm
Alagaraja	0.461	$T_m=10$ years

Table 9. Estimated instantaneous growth rate (G) of the hairtail in Korean waters

Age (i)	Li (cm)	Wi (g)	Gi
1	18.42	105.10	0.9989
2	27.27	285.38	0.5072
3	33.28	473.89	0.2946
4	37.36	636.23	0.1823
5	40.14	763.45	0.1168
6	42.02	858.00	-

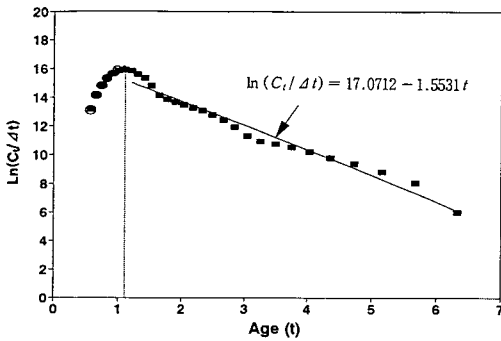


Fig. 4. The selection ogive of the hairtail in Korean waters estimated from the length converted catch curve using the Pauly method.

고 찰

수산자원생물의 양적인 변동에 관련되는 요소인 개체의 성장에 의한 증중량과 개체군의 자연요인에 의한 사망량, 재생산에 의한 가입량 및 어획에 의한 사망량 등의 개체군역학에 관련되는 특성치들을 추정하는 연구는 개발이용되고 있는 수산자원을 평가하여 자원상태를 진단하고 나아가서 자원을 관리하기 위한 과학적인 대책수립에 기본적인 역할을 하기 때문에 필수적인 것이다.

본 연구에서는 세 종류의 성장모델에 의한 모델식들의 매개변수들을 추정하고 각 추정방법들을 비교하였다. 각 모델들에서 공통적으로 컴퓨터에 의한 비선형회귀방법이 가장 정확한 매개변수를 추정하게 된다는 사실이 본 연구결과 확인이 되었다. 수산생물의 성장을 나타내는데는 세종류의 모델이 다 사용될 수 있겠지만 전통적으로 수산자원연구에서는 von Bertalanffy의 성장모델이 가장 많이 이용되고 있다. 왜냐하

면 이 성장모델은 앞에서 본바와 같이 순간자연사망계수를 추정하거나 어획개시연령을 추정하는 수식의 입력자료로서 사용되고 있을 뿐만 아니라 자원평가방법의 하나인 가입당생산량 모델에서도 입력자료로서 von Bertalanffy 모델의 매개변수들이 사용되고 있다 (Zhang, 1991).

von Bertalanffy 성장모델의 매개변수의 추정에는 전통적으로 Walford의 정착도법과 Gulland-Holt 방법 등이 주로 사용되어 오고 있는 실정이다. 이들 전통적인 추정방법들을 비선형회귀방법과 비교하여 본 결과, 비록 전통적 방법들의 모델식에 대한 적합도는 이 방법들의 결정계수가 높은 것으로 ($R^2=0.9839$ 및 0.9960) 보아 적합도가 높은 것으로 인식될 수 있겠지만, 이 결정계수는 모델식의 선형화 과정에서 제 3의 매개변수인 t_0 가 제거된 상태에서 두개의 매개변수인 L_{∞} 와 K 만 고려하여 직선식을 얻는데 있어서의 적합도를 의미한다. 세개의 매개변수를 동시에 고려하는 오차를 나타내는 평방편차합 (SSQ)에서는 비선형회귀방법에 비하여 두배 이상의 오차를 나타내었다. 이 결과는 앞으로 자원평가에 사용되는 von Bertalanffy의 성장계수 추정시 반드시 비선형회귀방법이 필수적임을 시사하고 있다. 따라서, 본 연구의 순간자연사망계수 추정이나 어획개시연령 추정에 입력자료로 사용된 von Bertalanffy 모델의 매개변수는 EXCEL 프로그램의 Solver를 이용하여 비선형회귀방법으로 추정한 값들을 선택하여 사용하였다.

한편, Robertson 성장모델이나 Gompertz 성장모델의 매개변수 추정시 나타난 평방편차합 (SSQ)의 크기와 결정계수의 크기를 통하여 알 수 있는 바와 같이 두개의 매개변수에 대한 적합도를 나타내주는 결정계수값은 세개의 매개변수를 가지는 모델식의 적합도를 나타내는 지수로 사용하는 데는 무리이며 이 경우에는

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

오히려 세계의 매개변수를 동시에 고려하여 오차의 크기를 나타내는 평방편차합이 더 효율적인 지수로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

자원평가를 위한 파라미터 추정에 사용되는 자료로는 가능하면 최근의 것으로서 시기적으로 적합한 채집표본을 사용하는 편이 현실성에 있어서나 생태학적인 모든 면에서 바람직하다. 본 연구에서 성장계수의 추정에는 Misu의 1958년 자료가 사용되었으므로 현재의 갈치자원을 평가하는데 다소 오차가 있을 가능성을 배제할 수 없다. 그러나, 본 연구의 목적은 연령과 성장파라미터의 추정에만 초점을 맞추어 이에 대한 심도있는 연구를 하는 것이 아니라, 현실점에서 모든 이용가능한 정보나 자료를 사용해서 자원평가를 위한 기초자료로서 여러가지의 파라미터를 더 나은 방법으로 추정하는데 있었다. 따라서, 본 연구는 이용가능한 자료와 정보의 한계를 가지고 있다. 그렇지만 갈치의 성장관련 자료로서는 현재의 지식 범위내에서 가장 좋은 연령형질로 알려진 이석에 의한 연령측정 자료를 이용하였다. 또한 연령에 관한 파라미터는 일반적으로 자원평가를 위한 다른 파라미터들에 비하여 정확도나 정밀도에 있어서 상대적으로 양호한 것으로 인식되고 있다. 따라서, 많은 종류의 파라미터들이 요구되는 자원평가를 수행함에 있어서는 특별히 자원생물들의 서식처 환경이 바뀌었다는 증거가 없다면 채집시기가 다르다고 해도 상대적으로 다른 파라미터가 가질 수 있는 오차의 크기에 비해서 그다지 큰 오차가 초래되지는 않을 것으로 보인다. 그러나, 자원평가의 결과를 해석할 때에는 이러한 오차의 가능성을 충분히 고려하여야 할 것으로 생각된다.

생산물을 추정하기 위하여 사용되는 연령조성자료는 원칙적으로 한 코호트(동일발생연급군)에 대해 일생을 통하여 추적한 자료를 사용하여야 한다. 그러나 대개는 한 코호트에 대한 자료를 얻기가 힘들기 때문에 자원의 평형상태를 가정하여 한, 두 해의 채집자료를 사용하게 된다. 이러한 가정은 사실상 현실상황을 무시하고 있기 때문에 자원평가에 있어 무리가 따른다. 그러므로 본 연구에서는 1986~1988년의 3개년 동안의 대형기선저인망 어획물의 연령조성자료(Table 2)를 합쳐서 인위적으로 평형상태를 만들어서 생산을 추정해 사용하였다. 다섯가지의 추정방법 중에서 평방편차합이 가장 낮은 어획물곡선법의 생산을

추정치인 0.2779가 가장 적합한 값으로 여겨진다. 그러나 기타의 네가지 방법에 의한 값들이 모두 0.11~0.15의 범위에 속하므로 이를 확인하기 위한 앞으로의 연구가 필요할 것으로 보인다.

수산자원 연구에 있어서 순간자연사망계수(M)는 거의 대부분의 자원평가 방법이나 관리모델을 사용하는데 필수적인 특성치인데도 불구하고 일반적으로 연구대상으로 크게 주목을 받지 못해서 정확한 값을 얻기가 매우 어려운 상태이다. 본 연구에서 추정된 순간자연사망계수인 0.441/년과 앞에서 추정된 생산율의 관계를 이용하여 최근년의 순간어획사망계수를 0.843/년으로 추정 가능하였다. 이 값들을 통하여 갈치는 전체 개체수 가운데 연간 약 72%가 죽게 되는데, 이 죽는 개체중 66%는 어획에 의해 죽게 되고 34%가 기타 요인에 의하여 자연사하는 것으로 나타났다. $F_{MSY} \approx M$ 이라는 Gulland (1971)의 가정으로 볼 때, 현재의 어획에 의한 사망은 MSY 수준의 거의 2배에 달하는 남획수준으로 볼 수 있다.

50%의 어구가입연령의 추정은 망목시험을 통하여 대상어구에 대해 체장별로 어느 정도 선택이 있는지를 계산함으로써 가능하다. 그러나 Pauly (1984)는 이러한 자료가 없을 경우 단 하나의 체장조성자료를 사용하여 추정가능한 방법을 제시하였다. 이 방법은 순간전사망계수가 가입 이전의 연령을 포함한 모든 연령에서 동일하다는 비현실적인 가정을 바탕으로 이용이 가능하다. 한편으로는 순간전사망계수를 구성하는 순간어획사망계수는 망목선택 단계에서 완전가입 이후에 비하여 더 작고, 순간자연사망계수는 완전가입 이후보다는 망목선택 이전인 작은 어체에서 더 높을 것이므로 이 가정이 큰 무리는 없을 것으로 보인다(Zhang, 1991). 따라서 인위적으로 평형상태를 만드는 방법으로 1986~1988년의 3개년 체장조성자료를 합쳐서 추정된 $t_e=0.787$ 세는 가입당생산량 모델 등에 입력자료로서 적용되는데 적절한 추정치로 볼 수 있다. 이 어획개시연령은 수산진흥원에서 연구된 170세에 비하여 훨씬 작은 값으로 점차 어획개시연령이 낮아져서 소형어의 어획이 증가하고 있는 성장남획(growth overfishing)의 현실을 반영해 주고 있다. 또한, 이 연령은 50% 성숙연령인 2.3세(Misu, 1959)와 비교해 볼 때 훨씬 어린 미성숙 연령에서 어획이 되고 있으므로 가입남획(recruitment overfishing)의 징후를 암

시하고 있다.

이와 같이 본 연구를 통하여 나타난 남획의 징후를 확인해 줄 수 있는 보다 상세하고 정확한 자원평가가 자원이 감소하여 붕괴에 이르기 전에 조속히 수행되어야 하며 이 자원평가의 결과를 바탕으로 합리적이고 효율적인 자원관리 및 어업관리가 정책적으로 이루어져야 될 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성적인 성장계수와 생산율, 순간자연 및 어획사망계수, 어획개시연령 및 연령별 성장률을 추정하는 것이다. 갈치의 성장을 나타내는 데는 세가지의 성장모델에 적합시켰으며, 이 중 차후의 자원평가연구를 목적으로 von Bertalanffy 성장식을 채택하였다. von Bertalanffy 성장계수는 EXCEL의 Solver를 사용하여 비선형회귀 방법에 의하여 다음과 같이 추정되었다. $L_{\infty}=46.01$ cm, $K=0.3868$, $t_0=-0.3220$. 갈치의 연간생산율 (S)은 0.277 (분산=0.00035)로 추정되었으며 순간자연사망계수 (M)는 0.441/년으로 추정되었다. 근년의 순간어획사망계수 (F)는 0.843/년으로서 자연사망보다 어획에 의한 영향이 약 2배나 되고 있음을 암시하였다. 어획개시연령 (t_c)은 0.787세로 50% 성숙연령보다 훨씬 어린 연령이었다. 마지막으로 갈치의 연령별 성장률이 추정되었다.

감사의 글

이 논문은 1995년 한국학술진흥재단의 신진교수 연구비에 의하여 연구되었으며, 이 논문의 자료정리 및 분석과정에 도움을 주신 손명호군에게 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.*, 31, 177~208.
- Alverson, D. L. and M. I. Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 36(2), 133~143.
- Baik, C. I. and J. H. Park. 1986. Relationship between oceanographic and catch of the hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne from the stow net. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 39, 29~41 (in Korean).
- Gulland, J. A. 1971. The fish resources of the ocean. Fishing News Books, West Byfleet. 255 pp.
- Hwang, B. I. and B. Q. Hong. 1985. On the seasonal distribution, movement and abundance of hairtail, *Trichiurus lepturus* Linne, in the East China Sea and Yellow Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 36, 13~22 (in Korean).
- Joo, W. I. 1971. A study on stow-net fishery resources on the Korean west coast. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 7, 79~95 (in Korean).
- KORDI. 1990. Studies on Models for Fisheries Resources Assessment and Management and Their Software. BSPG 00097-306-3, 237 p (in Korean).
- Misu, H. 1958. Studies on the fisheries biology of the ribbon fish (*Trichiurus lepturus* Linne) in the East China and Yellow Seas. 1. on the age and growth. *Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory*, 15, 1~14.
- Misu, H. 1959. Studies on the fisheries biology of the ribbon fish (*Trichiurus lepturus* Linne) in the East China and Yellow Seas. 2. on the maturation and spawning. *Contributions from the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory*, 16, 21~33.
- Pauly, D. 1984. Length-converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). *ICLARM Fishbyte*, 2(3), 9~10.
- Yoo, S. and C. I. Zhang. 1993. Forecasting of hairtail (*Trichiurus lepturus*) landings in Korean waters by time series analysis. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26(4), 363~368 (in Korean).

1. 한국 연근해 갈치의 자원생태학적 특성치 추정

- Zang, C. I. 1991. Fisheries Resources Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea. 399 p (in Korean).
국립수산진흥원. 1994. 연근해 주요어종의 생태와 어장. 예문사, 304 p.
신광윤, 민상기. 1958. 갈치 자원조사보고. 중앙수산시협장 수산자원조사보고, 3, 71~84.
-
- 1996년 1월 16일 접수
1996년 7월 2일 수리