

한국근해 참조기의 자원량 변동에 관한 연구

장창익 · 김용문* · 유신재 · 김종관 · 안순모
한국해양연구소 · *국립수산진흥원

A Study on Fluctuations in Biomass of Small Yellow Croaker, *Pseudosciaena polyactis*, off Korea

Chang-Ik ZHANG · Yong-Mun KIM · Sin-Jae YOO

Chong-Kwan KIM and Soon-Mo AHN

Korea Ocean Research and Development Institute Ansan, P. O. Box 29, Seoul, 425-600, Korea

*National Fisheries Research and Development Agency, Yangsan, Kyungnam, 626-900, Korea

Annual biomasses of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, were estimated by biomass-based cohort analysis (Zhang, 1987), using data on annual catch in weight at age for 1970-88 in Korean waters. Annual biomass of croaker was highest in 1974 with about 100,000 mt, declining to a level of 20,000-30,000 mt after 1981. Adult biomass also showed a peak in 1974 with about 50,000 mt. Afterwards, however, it continuously dropped. According to the estimates of biomass at age obtained from this analysis, the age composition of small yellow croaker in the 1980's differed greatly from that in the 1970's. The proportions of older croakers (>5 years) were very low in the 1980's and even the biomasses of young croakers (1-4 years) were at a very low level in the 1980's. Year classes of 1968, 1972 and 1978 appeared to be relatively dominant. The mean value of instantaneous fishing mortality (F) in the 1980's was twice that of the 1970's. Recruitment of croaker exhibited an unusually linear relationship with adult stock biomass.

서 론

우리 나라 근해에 분포하고 있는 참조기 자원은 1960년대까지 어종별 생산순위가 5위 이내에 있었으나, 남획으로 인한 자원감소로 말미암아 생산량은 점차 떨어지고 있는 추세이다. 또한 참조기 어업 자료로부터 추정된 상대적 자원량 지수인 단위노력당어획량(CPUE)도 계속하여 감소하는 경향을 나타내고 있다(국립수산진흥원, 1988). 참조기 자원변동에 관한 연구가 부분적으로 수행되어 오기는 하였으나(신, 1975; 국립수산진흥원, 1988) 연급군 분석방법을 이용한 자원량 추정으로 참조기 자원변동의 해석은 수행되지 않았다.

본 연구는 최근에 개발된 자원평가 방법인 생체량을 기초로한 코호트 분석법을 사용하여 참조기

자원의 연도별, 연령별 자원량을 추정하고 그 변동상태를 분석하여 참조기 자원의 관리를 위한 기초자료로서 활용하는데 목적을 두고 있다.

본 연구는 과학기술처의 특정연구과제의 일환으로 수행되었다.

자료 및 방법

한국 근해산 참조기의 자원량을 추정하는 데는 생체량을 기초로한 코호트 분석법(Zhang, 1987; Zhang and Sullivan, 1988)을 적용하여 자원량을 추정하였다. 이 방법에서는 대상 연도의 연도별 연령별 어획증량과 연령별 성장률, 순간자연사망계수, 마지막(terminal) 순간어획사망계수 등이 입력자료

로서 사용된다. 이 방법에서는 어업자원역학에서 사용되는 Baranov의 어획 방정식과 지수 함수적 생산식 및 지수 함수적 성장식 등 세 개의 식이 사용된다. 어획사망률이 연중 일정한 경우 생체량에 대한 Baranov의 어획 방정식은

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

여기서, C_{ij} 는 i 년 j 연령어의 어획증량
 B_{ij} 는 i 년초 j 연령어의 자원증량
 F_{ij} 는 i 년 j 연령어의 순간어획사망계수
 M 은 순간자연사망계수(상수)
 G_{ij} 는 i 년 j 연령어의 순간성장률

지수 함수적 생산식 및 성장식으로부터 구한 자원증량의 변화를 나타내는 식은 아래와 같다.

$$B_{i+1, j+1} = B_{ij} \exp\{-(F_{ij} + M - G_{ij})\} \dots\dots\dots (2)$$

위의 식 (2)를 식 (1)로 나누면

$$\frac{B_{i+1, j+1}}{C_{ij}} = \frac{(F_{ij} + M - G_{ij}) \exp\{-(F_{ij} + M - G_{ij})\}}{F_{ij} [1 - \exp\{-(F_{ij} + M - G_{ij})\}]} \dots (3)$$

위의 식들을 이용하여 모든 연도와 연령에 대하여 거꾸로 자원증량과 순간어획사망계수를 구하였다(장, 1991). 이 모델에 적용하기 위한 입력자료들은 다음과 같이 추정하였다.

1. 연도별 연령별 어획증량(C_{ij})

1970~1988년 동안의 기간에 대하여 장 등(1991)에 의하여 추정된 연도별 연령별 어획 개체수로부터 연도별 연령별 참조기의 어획증량을 추정하였다. 즉, 연도별 연령별 어획 개체수를 연도별 참조기의 어획증량과 체장-체중 관계식 및 von Bertalanffy의 성장식을 사용하여 다음의 식에 의해 연도별 연령별 어획증량(C_{ij})으로 환산하였다.

$$C_{ij} = \frac{C_i P_j \bar{W}_j}{\sum P_i \bar{W}_j}$$

여기서, P_j 는 전체 어획 개체수에 대한 j 세의 개체수의 비
 \bar{W}_j 는 j 세의 평균체중(여기서는 0에서 1세까지를 1세로 보았으므로 1세의 평균체중은 0.5세의 체중으로 간주함)
 C_i 는 i 년의 참조기 총어획증량

본 연구에서 사용된 von Bertalanffy의 성장계수는 장 등(1991)이 추정한 $L_\infty = 36.17 \text{ cm}$, $K = 0.3313/\text{년}$, $t_0 = -0.2389$, 체장-체중 관계식 $W = 0.0196 L^{2.802}$ (W : g, L : cm)을 이용했고, 1970~1988년간 추정된

연도별 연령별 어획증량은 Table 1과 같다.

2. 순간자연사망계수(M)와 마지막 순간어획사망계수(terminal F)

순간자연사망계수(M)는 장 등(1991)이 추정한 0.4/년을 사용하였으며, 마지막 순간어획사망계수(terminal F)는 장 등(1991)이 1986~1988년 간 연령조성자료에서 추정된 순간자연사망계수(1.51/년) 및 순간자연사망계수(0.4/년)를 제한 값인 1.11년을 마지막 해의 전연령 및 전연도의 마지막 연령에 대하여 사용하였다.

3. 순간성장률(G_i)

참조기의 연도별 성장에 관한 자료를 이용할 수 없었기 때문에 매년 성장에 큰 차이가 없을 것이라 가정하고, 연령별 순간 성장률(G_i)은 다음의 수식에 의하여 추정하였다.

$$G_j = \ln\left(\frac{W_{j+0.5}}{W_{j-0.5}}\right)$$

여기서 사용된 자료는 앞에서의 연도별 연령별 어획증량의 추정에 사용된 von Bertalanffy의 성장계수와 체장-체중 관계식이었다.

본 연구에서 자원량을 추정하는데는 비선형식을 반복적 방식(iterative procedure)으로 풀어야 하므로 한국해양연구소의 '주요 수산자원의 합리적 관리를 위한 이론 모델 및 소프트웨어 개발' 연구수행을 통하여 개발중인 컴퓨터 소프트웨어 FISHMAN을 사용하였다.

결 과

1. 연도별 자원량의 변동

생체량을 기초로한 코호트 분석에 의하여 추정된 한국 근해 참조기의 1970~1988년 간의 연도별 자원량과 완전성숙연령으로 간주한 3세 이상의 성어 자원량은 Fig. 1과 같다. 연도별 자원량은 1974년 약 10만톤으로 가장 높은 수준을 보이다가 1978년까지 점차 감소하였고, 1980년에는 약간의 증가 경향을 나타내었다. 그러나 1981년부터는 상당히 큰 폭으로 감소를 보여 2~3만톤의 수준으로 떨어졌다. 성어 자원량도 비슷한 경향을 보여 1974년 약 5만톤으로 최대수준을 나타내다가 전체 자원량의 변화 패턴과는 달리 계속 감소하여 1984년에는 만톤 이하의 수준까지 감소하였고 최근 약간의 증가 경향을 보이고 있다.

Table 1. Annual changes in catch in weight(in *mt*) at age of small yellow croaker off Korea, 1970~1988

Age	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
1	2945	1731	1725	2309	3213	3224	3723	2747	1607	3096
2	16490	11888	12436	14522	29723	21446	26179	12729	10556	16235
3	7475	7411	8083	4912	16711	11602	10170	6706	5506	5091
4	2390	2149	1991	1676	3131	2583	3472	2319	3174	2092
5	986	711	977	657	635	637	1109	910	1617	1420
6	535	307	241	326	273	227	376	371	913	1463
7	337	160	127	199	179	111	172	159	608	1427
8	236	91	70	136	98	82	95	87	438	1294
9	180	49	50	87	52	84	50	2	312	1091
10	113	25	26	61	55	46	53	33	210	876
11	78	26	27	31	57	14	16	34	145	668

Age	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
1	4568	2298	1953	1069	633	739	1189	1481	1444
2	28902	13556	7839	4431	3994	3898	6182	9228	8193
3	11450	12783	5123	2780	1787	1467	1700	7283	6671
4	2527	3565	1671	1004	699	440	409	1436	1773
5	742	1195	635	402	276	162	98	270	403
6	302	494	348	184	129	70	30	75	127
7	148	243	254	100	77	37	11	34	48
8	109	148	199	66	46	24	13	19	18
9	58	95	149	47	33	17	5	6	19
10	24	66	89	25	17	9	4	2	6
11	13	34	69	25	18	9	3	1	2

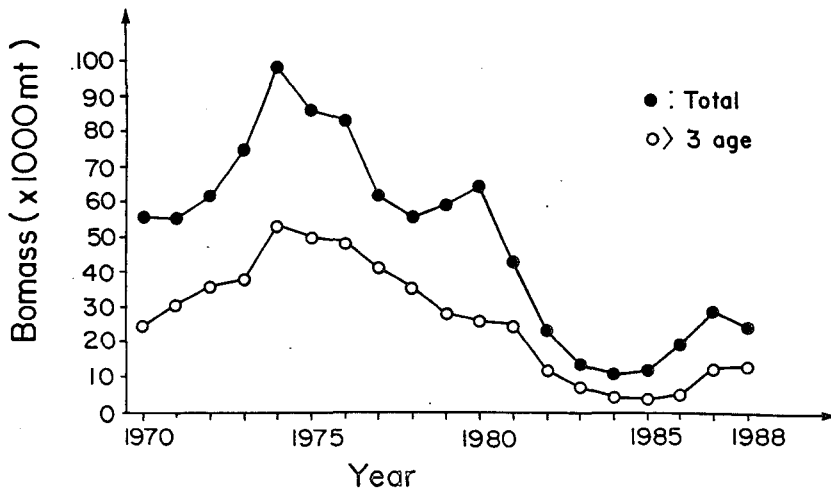


Fig. 1. Annual changes in total biomass and adult (>3 years) biomass of small yellow croaker off Korea, 1970-1988.

Fig. 2는 Zhang 모델에 의하여 추정된 참조기 자원량과 국립수산진흥원(1990)에서 한국 대형기선 저인망 쌍끌이 어업으로부터 구한 1970~1988년의 참조기의 인망당 어획량 자료의 관계를 보여 준다.

절대 자원량 추정치는 상대 자원량 지수인 CPUE와 정상관($R^2=0.66$)의 관계를 보여 자원량이 높은 수준에 있을 때 CPUE도 대체로 높은 값을 나타내었다.

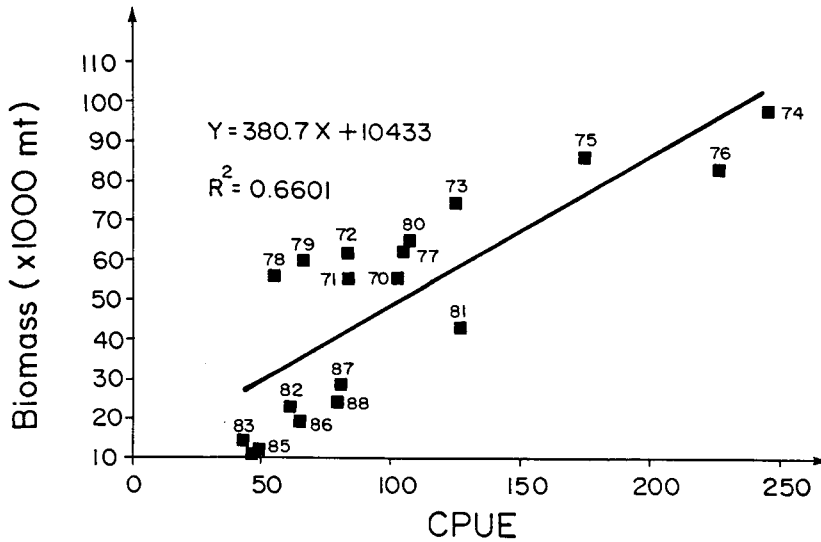


Fig. 2. Relationship between biomass estimates and CPUE of small yellow croaker by the Korean large pair bottom trawl fishery, 1970-1988.

2. 연령별 자원량의 경년 변동

생체량을 기초로한 코호트 분석에 의하여 추정된 한국 근해 참조기의 1970~1988년 간의 연도별 연령별 자원증량을 보면(Fig. 3), 연령별 자원량은 2세에서 가장 높게 나타났으며, 3세와 4세가 그 다음이었으며, 가입 대상인 1세의 자원량은 5세와 비슷한 수준이었다. 연도별 자원량을 보면 70년대와 80년대 간에 큰 차이를 보여주고 있다. 특히 1980년대에는 연령 5세 이상의 대형어는 거의 나타나지 않고 있으며, 1세에서 4세까지의 소형어 수준도 70년대 수준에 크게 못미치고 있다. 가장 두드러지게 나타나는 연급군은 1968 연급군과 1972 연급군 및 1978 연급군이였다. 1968 연급군은 1970년부터 1978년까지 탁월 연급군으로 나타났고, 4세 이상이 되면서부터는 계속해서 가장 뚜렷한 우점 연급군이였다. 1972 연급군은 1970~1988년의 기간중 가장 큰 가입량을 보였으며 2세까지는 가장 우점하였다가 3세가 되면서 상대적으로 약해졌다. 1978 연급군은 1972 연급군 다음으로 큰 가입량과 2세에서 우점하였으나, 역시 3세가 되면서 크게 약해져서 4세부터는 거의 소멸하였다.

3. 연도별 순간어획사망계수(F)의 변동

1970~1988년의 연도별 순간어획사망계수(F)의 추정치(Fig. 4)를 보면, 1979년을 경계로 하여 1970년에서 1978년까지는 평균순간어획사망계수가 0.567(분산: 0.0154)이었으나, 1980년에서 1988년까지는 0.996(분산: 0.0578)으로 뚜렷이 다르게 나타났다. 따라서 이 두 시기의 평균치에 대한 차이를 검정하기 위하여 귀무가설, 즉($H_0: F_{70's} = F_{80's}$)에 대한 분산분석(ANOVA) 결과, 아주 유의한 차이($P < 0.0005$)가 있었다. 더우기 1980년대의 계수가 1970년대의 계수의 2배가 되는지를 알아보려고 귀무가설인 $H_0: F_{80's} = 2F_{70's}$ 에 대해 검정 결과, 유의한 차이가 인정되지 않았다($P > 0.25$).

4. 성어 자원량과 가입량의 관계

한국 근해 참조기의 어업에 가입되는 가입량이 성어 자원량과 어떠한 관계를 가지는지에 대하여 알아보기 위하여 생체량을 기초로한 코호트 분석에 의하여 추정된 연령별 자원량 자료를 사용하여 분석하였다. 참조기는 2세부터 성숙이 시작되는 것(국립수산진흥원, 1990)으로 알려져 있으므로 3세

이상을 성어자원량으로 하고, 가입량은 장 등(1991)이 추정 한 어획개시연령이 0.604세였으나 여기서는 1세의 자원량으로 간주하였다(Fig. 5). 본 연구에서의 성어자원량과 가입량의 관계는 대개의

수산자원에서 밀도종속적인 효과를 나타내는 Ricker 곡선이나 Beverton-Holt 곡선보다는 오히려 밀도독립적임을 암시하는 직선관계식에 가장 적합되었다($R^2=0.4967$, $P<0.05$).

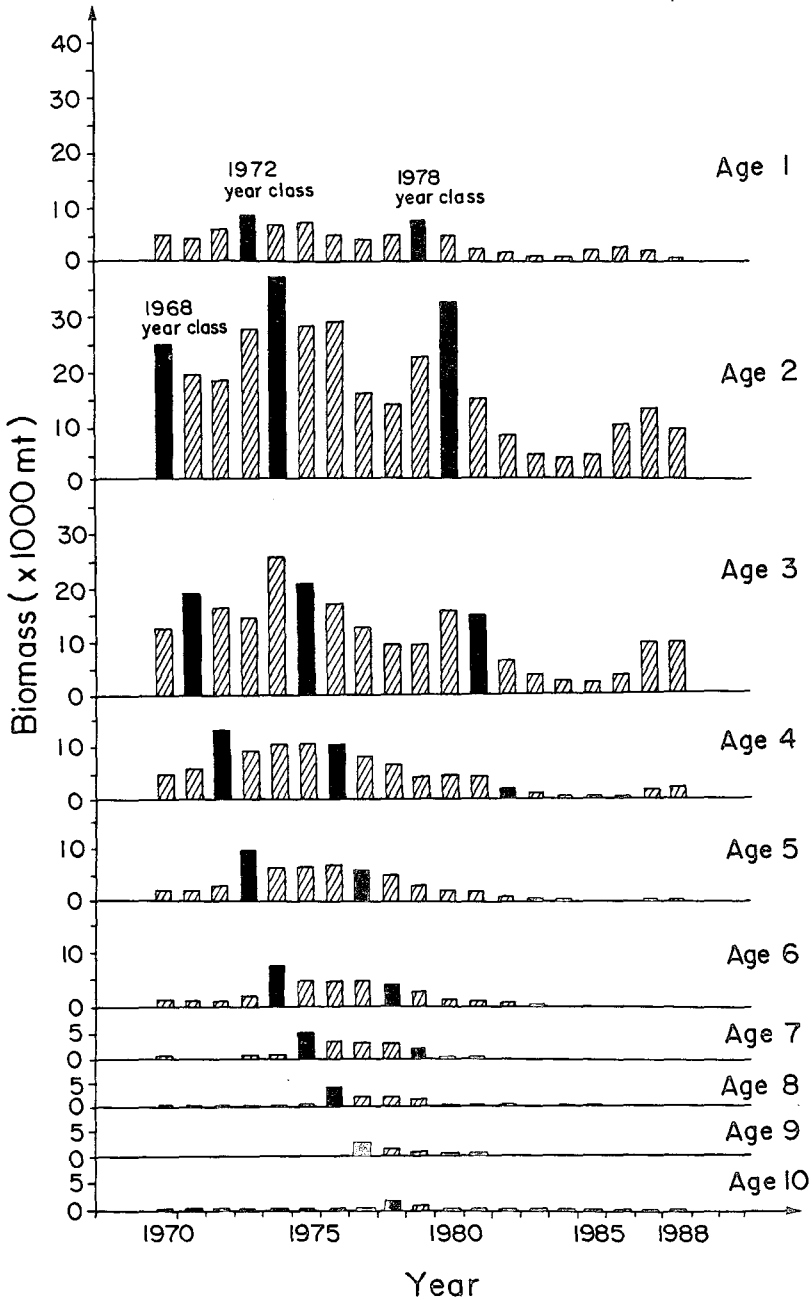


Fig. 3. Annual changes in biomass by age of small yellow croaker off Korea, 1970-1988.

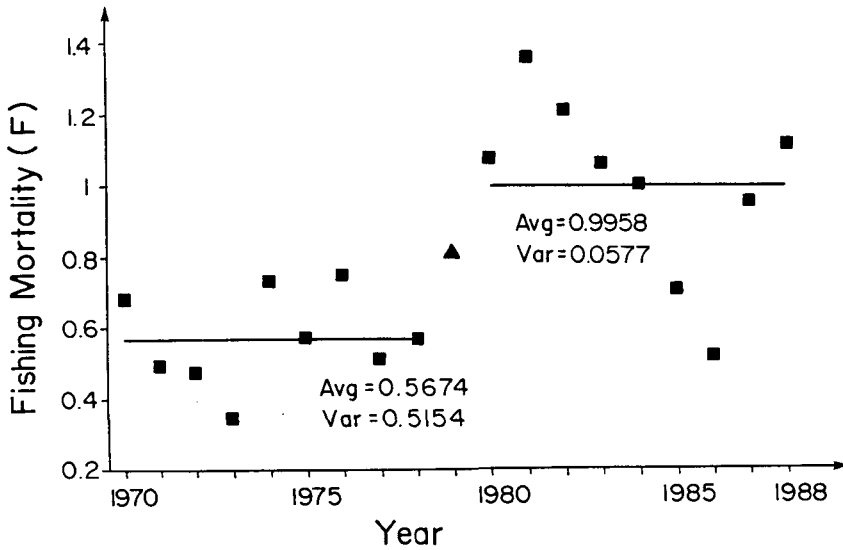


Fig. 4. Annual changes in fishing mortality of small yellow croaker off Korea, 1970–1988.

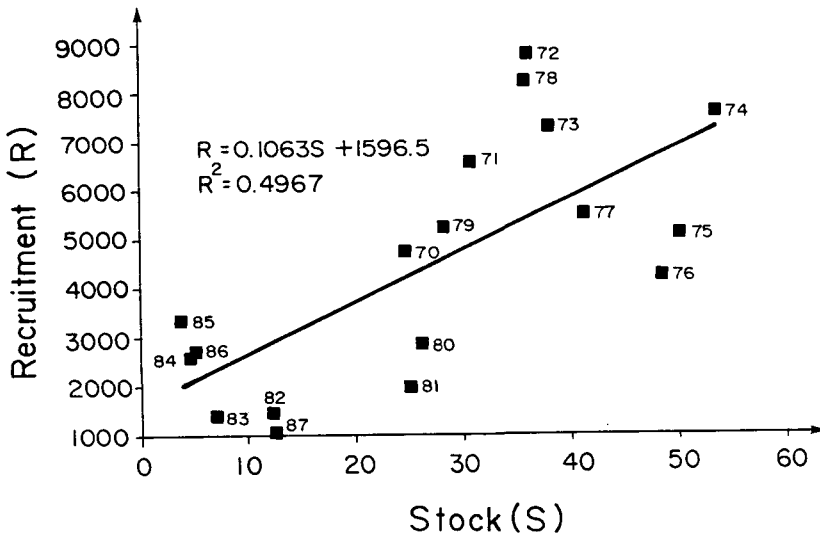


Fig. 5. Relationship between stock and recruitment of small yellow croaker off Korea, 1970–1988.

고찰

어류의 절대자원량을 추정하는 방법들은 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 구분을 하고 있다. 직접적인 방법으로는 트롤탐사법과 어류플랑크톤 조사법, 음향탐사법 등이 주로 많이 쓰이고 있는 방법들이며(김, 1991), 간접적인 방법에는 연령구조를 가진 어획량 자료를 사용하여 추정하는 코호트 분석(광의로는 연령구조 모델이라 함)법과 표

지방법, 조성변화법, CPUE 이용법 등이 있다(장, 1991). 근래에 들어와서는 여러가지의 방법 가운데서도 특히 연령구조 모델이 상당히 많은 연구가 이루어져서 실제 자원량 추정에 많이(거의 90% 이상) 사용되고 있으며, 또한 호평을 받아오고 있다. 이 방법은 원래 Gulland(1965)와 Murphy(1965)에 의해 처음으로 소개되어 Pope(1972)에 의해 간략화된 모델이 개발이 되면서 수산자원평가에 실용화되기 시작하였다. 그러나 Zhang(1987)은 이

전에 개발된 모델들에서는 성장개념을 무시하고 있다고 지적하여 성장개념을 모델에 포함시킨 생체량을 기초로한 코호트 분석 방법을 제시하였다. 이 방법은 이전의 방법들에 비하여 몇 가지의 장점들을 가지고 있으므로(Zhang and Sullivan, 1988), 본 연구에서는 자원량을 추정하는데 이 방법을 선택하였다.

본 연구를 통해서 밝혀진 바와 같이, 한국 근해의 참조기의 자원은 자원이 감소되었다는 몇 가지의 증거가 나타났다. 먼저, 자원량이 있어서 1972~1976년의 평균자원량은 81,000톤 수준에 있었으나, 10년 후인 1982~1986년에는 16,000톤으로 5배 이상이 감소하였다. 코호트 분석에 의한 자원량 추정치는 보통 불명확한 마지막 F값을 사용하는 경우 추정되는 마지막 3개년의 추정치는 마지막 F값에 영향을 받게 되어 신뢰성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 1987년과 1988년의 자원량은 신뢰도가 좀 떨어지는 것으로 보이며, 실제로 자원량이 증가되었는지는 불확실해 보인다. 그러나 Fig. 2의 CPUE에 의하면 84년 이후 증가하는 경향을 보이므로 이 두 가지의 추정치에서 동일한 경향을 보이고 있다. 또한, 최근의 어획량은 피크를 보인 1939년의 어획량에 비하면 약 16% 밖에 되지 않으므로, 역시 어획량에 있어서도 5배 이상의 감소가 나타났다. 참조기 자원의 재생산에 관련되는 3세 이상의 성어 자원도 역시 1972~1976년에 비하여 1982~1986년에는 45,400톤에서 6,700톤으로 약 7배 가량이 감소하였다. 또 하나의 자원 감소를 나타내는 징후는 우리나라 대형기선저인망어업의 단위노력당 어획량(CPUE)에서도 볼 수 있다. Fig. 2에서의 연도별 CPUE를 보면 1982~1986년에는 53.6 kg/haul로서 1972~1976년의 171.1 kg/haul에 비하여 3배 이상 떨어진 것으로 나타났다. 또한 1980년을 제외하고는 Fig. 2에 나타난 1980년대의 점들은 모두 아래에 몰려 있었다. 이 현상도 역시 참조기 자원의 명백한 감소를 보여주는 것이다. 이러한 영향으로 인해 우리나라 참조기 어업의 주 어장은 동지나해 쪽으로 점차 남하되어 가고 있으며, 또한 참조기의 주 산란장도 남하된 것으로 보고되고 있다(국립수산진흥원, 1990).

Fig. 4에서 나타난 바와 같이, 본 연구에서 추정된 순간어획사망계수(F)가 1970년대에 비해 1980년대에 2배 정도 증가된 것은 어획강도가 증가함으로 말미암아 참조기 자원이 감소된 것으로 보여진다. 그러나 다른 요인, 즉 성숙단계에 이르지 않은 미성어의 무분별한 남획 등도 자원 감소의 중

요한 원인이 될 것으로 보이며, 이 점은 가입당생산량 분석 등을 통하여 밝혀져야 할 것으로 보인다.

연도별 연령별 자원 중량에 의하면, 가입되는 1세의 자원량보다 2세~4세의 자원량이 더 많았는데, 이는 자원미수를 보면 1세가 더 많았지만 성장을 고려한 자원 중량으로 나타내었기 때문이다. 즉 2세에서 4세까지는 어획되거나 자연사망하는 중량보다 어체의 성장에 의해서 늘어나는 중량이 1세에 비하여 더 크기 때문이다. 1980년대에 5세 이상의 고령어가 거의 나타나지 않았는데, 이는 어체가 충분히 성장되기 이전의 단계에서 어획되는 성장남획 현상을 보여주고 있다. 또한 1980년대에는 3세 이상의 성어자원량도 크게 떨어지는 것으로 나타났는데, 이것은 참조기 자원의 정상적인 재생산을 유지할 수 없을 만큼 자원이 허약해진 상태에 처해 있는 것으로 보인다. 이러한 결과로 자원량-가입량 관계에서도 밀도종속적 효과를 보여주는 Ricker 곡선이나 Beverton-Holt 곡선보다는 오히려 밀도독립적인 직선관계식이 더 적합한 것으로 나타났다(Fig. 5).

이러한 상황에서 한국 근해 참조기 자원의 적절한 관리와 아울러 자원을 재건시키기 위한 구체적인 연구가 절실히 필요한 것으로 보이며, 시급히 자원관리를 위한 방안의 마련이 요구된다.

요 약

한국근해 참조기 자원의 연도별 연령별 어획량 자료를 사용하여 생체량을 기초로한 코호트 분석법(Zhang, 1987)에 의하여 참조기의 1970~1988년 자원량을 추정하였다. 연도별 자원량은 1974년 약 10만톤으로 가장 높은 수준을 보였으며, 1981년부터는 2~3만톤의 수준으로 떨어졌다. 성어자원량에 있어서는 1974년 약 5만톤의 최대수준을 보인 이후, 계속 감소되어 낮은 수준에 머물러 있다. 연령별 자원량의 경년변동에 의하면 1970년대와 80년의 연령조성은 큰 차이를 나타내었다. 1980년대의 연령조성에서는 5세 이상의 대형어는 거의 나타나지 않고 있으며, 1세~4세까지의 소형어 수준도 70년대 수준에 크게 못미치고 있다. 1968, 1972 및 1978 연급군이 비교적 탁월연급군으로 나타났다. 코호트 분석에 의해 추정된 연도별 순간어획사망계수에 있어서도 1980년대는 70년대 수준의 2배가 되는 것으로 나타났다. 성어자원량-가입량 관계는 직선식으로 적합되었다.

참 고 문 헌

- Murphy, G. I. 1965. A solution of the catch equation. J. Fish. Res. Bd. Can. 22: 191~202.
- Pope, J. G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. International Commission for the North-west Atlantic Fisheries, Research Bulletin, 9: 65~74.
- Gulland, J. A. 1965. Estimation of mortality rate. Annex to arctic fisheries workshop group report. International Council for the Exploration of the Sea, C. M. 1965/3, Copenhagen.
- Zhang, C. I. 1987. Biology and population dynamics of Alaska plaice, *Pleuronectes quadrituberculatus*, in the eastern Bering Sea. Doctoral dissertation. University of Washington, Seattle, 225 p.
- Zhang, C. I. and P. J. Sullivan. 1988. Biomass-based cohort analysis that incorporates growth. Trans. Amer. Fish. Soc. 117(2): 180~189.
- 국립수산진흥원. 1988. 연근해 어업자원평가. 수산자원조사보고, 제10호, 254 p.
- 국립수산진흥원. 1990. 연근해 어업자원의 적정어획강도. 수산자원조사보고, 제11호, 147 p.
- 김수암. 1991. 해양 조사에 의한 수산자원 평가론. 우성문화사, 175 p.
- 신상택. 1975. 황해 및 동지나해 참조기 자원량 해석. 한국수산학회지, 8(1): 11~19.
- 장창익. 1991. 수산자원 생태학. 우성문화사, 399 p.
- 장창익 · 김용문 · 유신재 · 박차수 · 김수암 · 김종관 · 윤성봉. 1991. 한국 근해 참조기의 자원생태학적 특성치 추정. 한국수산학회지.

1991년 8월 27일 접수

1992년 1월 10일 수리