

## 한국 연근해 보구치, *Argyrosomus argentatus*의 Leslie Matrix에 의한 자원변동 예측

이성일 · 장창익  
부경대학교 해양생산관리학과

### Prediction of the Variation in Annual Biomass of White Croaker *Argyrosomus argentatus* in Korean Waters using Leslie Matrix

Sung Il LEE and Chang Ik ZHANG

Department of Marine Production Management, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Prediction of the variation in annual biomass was conducted for the white croaker *Argyrosomus argentatus* in Korean waters using Leslie Matrix, based upon fishery data for the past 21 years and biological data. We used density-independent and density-dependent Leslie Matrix models. Similar parameters were estimated from two models except that the density-dependent model was influenced by the density effect variable,  $q(i,t)$ . The eigenvalue of the white croaker population for the 1984~1995 period was estimated to be 0.8, indicating a declining pattern of the population. The survival rate of 0-th year class was calculated to be 0.00005. Based on the schedule of the age-specific survival rate and fecundity, the future biomass and catch was predicted for various levels of fishing mortalities ( $F$ ). If  $F$  was set at 0.252/yr ( $F_{35x}$ ) or 0.368/yr ( $F_{0.1}$ ), the biomass and catch increased, and if  $F$  was set at 0.922 ( $F_{current}$ ), the biomass and catch decreased. The fishing mortality at equilibrium was estimated to be 0.7/yr. Finally, the management strategy of the white croaker was discussed.

Key words: White croaker, *Argyrosomus argentatus*, Leslie Matrix, Fishing mortality, Korean waters

#### 緒 論

최근 주요 어업자원의 감소로 인해 UN 해양법에서는 모든 연안국이 배타적 경제수역 (EEZ)을 설정할 때, 이 안에 존재하는 생물자원과 무생물자원에 대한 주권적 권리를 가짐과 동시에 (UN 해양법협약 제56, 57조) 생물자원에 대한 총허용어획량 (TAC)에 의한 자원의 보전과 어업관리 조치의 실시를 의무화하고 있다 (UN 해양법협약 제61조). 우리 나라에서도 현재 5개 어종을 대상으로 TAC를 시범 실시하고 있으므로 적정어획수준에 의한 자원량 및 어획량 변동을 예측하면 어업자원을 보다 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

Leslie Matrix는 1945년 Leslie가 처음으로 수산자원 역학에 도입하였다. 이후 Quinn (1981)은 태평양 넙치자원에 적용하여 자원변동을 분석하였고, Vaughan (1981)은 농어류에 적용하여 밀도 효과가 유생기에 발생한다고 가정해서 자원변동을 분석하였으며, Yeh and Low (1985)는 저어자원에 적용하여 잉여생산량 모델 (surplus production model)과 비교함으로써 자원관리 방안을 제시한 바 있다. 그러나 아직까지 우리 나라에서는 이 분야에 관한 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 현재 남획상태에 있는 보구치 자원을 대상으로 Leslie Matrix에 적용하여 자원량 및 어획량 변동을 예측하였다.

보구치 (white croaker, *Argyrosomus argentatus*)는 농어목 민어과에 속하는 난류성 어종으로 황해, 발해 및 동중국해에 널리 분포하며 우리 나라에서는 경남이남의 동해, 남해, 서해의 연안에

분포하는 저서어종으로 (Chyung, 1977), 상업적으로 중요한 고가 어종이다.

우리 나라 연근해에서 어획되는 보구치의 어획량은 1975년에서 1984년까지 증가하여 이때 가장 높은 수준을 보이다가 그 이후 감소하기 시작하여 1995년에는 급격히 감소한 것으로 나타났으며, 자원량은 1995년 아주 낮은 수준에 있는 것으로 추정되었다 (Zhang et al., 1999a). 또한 Zhang et al. (1999b)에 의해 추정된 어획사망계수 ( $F$ )로 볼 때, 보구치 자원은 심각한 남획상태에 있는 것으로 나타났다.

최근 한국 연근해 보구치에 관한 연구는 분포특성 (Baik et al., 1999), 연령과 성장 (Kwon et al., 1999), 성숙과 산란 (Kang et al., 1999), 자원생태학적 특성치 및 자원량 (Zhang et al., 1999a), 그리고 자원평가 및 관리방안 (Zhang et al., 1999b)에 대한 연구가 수행되었으며, 이러한 연구자료를 기초로 본 연구를 수행하였다.

따라서, 본 연구에서는 한국 연근해 보구치 자원의 자원생태학적 추정치와 자원량 자료를 사용하여 고유치와 초기생장율을 추정하고, 이를 기초로 하여 Leslie Matrix에 의한 자원량 및 어획량 변동을 예측하고 비교 분석함으로써, 보구치 자원의 적정어획수준을 추정하고 관리방안을 제시하고자 한다.

#### 資料 및 方法

##### 1. Leslie Matrix

모델 개체군 내 각 개체들의 사망률과 출산수는 서로 다르며,

이에 대해 동물에게는 연령이 매우 큰 변수로 작용한다. Leslie (1945)는 개체군 변동을 추정하는데 연령별 생산율과 출생율을 이용하는 방법을 제시하였다. Leslie Matrix는 전이행렬 (transition matrix)  $M$ 을 사용하여 시간에 따른 개체군 변동을 나타내는데, 모델식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} N_{1,t+1} \\ N_{2,t+1} \\ N_{3,t+1} \\ \vdots \\ N_{i,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 S_0 & f_2 S_0 & \cdots & f_{i-1} S_0 & f_i S_0 \\ S_1 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & S_{i-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{1,t} \\ N_{2,t} \\ N_{3,t} \\ \vdots \\ N_{i,t} \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 모델에서는 암컷만 고려하며,  $N_{i,t}$ 는  $t$ 년도에 연령이  $i$ 세인 암컷 개체수이고,  $S_i$ 는 연령  $i$ 세의 생산율이며,  $f_i$ 는 연령  $i$ 세의 암컷이 낳는 암컷 자손수이다. 위 식을 정리하면,  $N_{t+1} = MN_t$ 이고,  $M$ 이 일정하다면,  $t$ 년 후의 자원개체수  $N_{t+r} = M^r N_t$ 가 된다.

Leslie Matrix는 일정한 생산율, 출생율을 가지며 지수함수적으로 증가하는 연령구조 모델로, 결국 안정연령분포로 정착된다. 따라서,  $N_{t+1} = \lambda N_t$ 가 되고, 이것은 식 (2)와 같이 쓸 수 있으며,

$$N_t = \lambda^t N_0 = e^{rt} N_0 \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ 는  $M$ 의 고유치이고,  $r$ 은 개체군의 내적자연증가율이다.

식 (1)은 개체군 밀도에 관계없이 개체 각각의 생산율과 출생율만을 고려하지만, 제한된 환경에서의 밀도 증가 역시 개체군 성장에 어떤 영향을 미칠 것이다. 즉, 밀도종속적인 경우 Leslie Matrix의 시간에 대한 함수  $M_t = M Q_t^{-1}$ 로 표현되고,

$$Q_t^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{q(0,t)} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{1}{q(1,t)} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \frac{1}{q(i,t)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

인 대각행렬이다 (Leslie 1959).

밀도 종속적인 안정연령분포에서  $N_{t+1} = M Q_t^{-1} N_t$ 는

$$N(t+1) = \frac{1}{q} \lambda N(t) = \frac{\lambda}{1 + \alpha N(t)} N(t) \quad (4)$$

와 같은 관계가 되고, 밀도 독립적인 경우와는 달리  $\lambda$ 를 종속적인 함수  $\lambda'(N) = \frac{1}{q} \lambda$ 로 나타내며, 여기서,  $q$ 는 밀도효과를 나타내는 함수이고,  $\alpha$ 는 상수이다.

결국, 두 경우 모두 자원량의 증감은  $\lambda$ 의 값에 의해서 결정되어 지는데, 만약  $\lambda > 1$ 이면 자원량은 증가하게 되고,  $\lambda = 1$ 이면 자원량은 증가도 감소도 하지 않는 평형상태에 도달하게 되며,  $\lambda < 1$ 이면 자원량은 감소하게 된다.

이 모델에서 구해야 하는 매개변수 (parameter)는 연령별 생산율 ( $S_i$ ), 연령별 출산수 ( $f_i$ ), 그리고 개체군의 고유치 ( $\lambda$ )이고, 밀도 종속적인 경우는 상수  $\alpha$ 값도 포함된다.

## 2. 매개변수 추정

### 1) 연령별 자원개체수 ( $N_{i,t}$ )

Leslie Matrix에 사용된 초기 자원개체수는 Zhang et al. (1999 a)에 의해 추정된 1995년 자원량을 사용하였다. 1995년 자원량은 Kwon et al. (1999)에 의한 연령별 평균체중 ( $W_i$ )과 성비 ( $\rho$ )를 사용하여 식 (5)에 의해 암컷개체수로 나타내었다.

$$N_{i,t} = \frac{B_{i,t}}{W_i} \times \rho \quad (5)$$

여기서, 성비는 1:1로 가정하였다.

### 2) 고유치 ( $\lambda$ )

밀도 독립적인 Leslie Matrix에 대한 고유치 ( $\lambda$ )는 식 (2)로부터 내적자연증가율 ( $r$ )과의 관계식을 사용하여 구할 수 있다. 즉, 곱의 오차구조를 가정하여  $N_t = N_0 e^{rt} e^{\epsilon_t}$ 식에 대수를 취하여 선형화하면,

$$\ln N_t = \ln N_0 + rt + \epsilon_t \quad (6)$$

이며, 여기서  $\epsilon_t$ 는 오차항을 나타내고,  $t$ 와  $\ln N_t$ 의 자료를 사용해 직선회귀시켜 매개변수  $r$ 과  $N_0$ 를 추정할 수 있다. 고유치 ( $\lambda$ )는 내적자연증가율 ( $r$ )로부터 변환하여 ( $\lambda = e^r$ ) 구하였다.

또한, 밀도 종속적인 Leslie Matrix에 대한 고유치 ( $\lambda$ )는 식 (4)를 다시 정리하면 식 (7)과 같고, 이 식을 사용하여 구하였다.

$$\frac{N(t)}{N(t+1)} = \lambda^{-1} + \lambda^{-1} \alpha N(t) \quad (7)$$

이 식은  $N(t)/N(t+1)$ 와  $N(t)$ 간의 선형관계로 직선회귀시켜  $\lambda$ 와  $\alpha$ 를 추정할 수 있다.

### 3) 연령별 출생율 ( $f_i$ )

연령별 출생율 ( $f_i$ )을 추정하기 위해서는 산란된 난의 성비 (0.5로 가정), 성숙된 암컷당 낳는 포란수 ( $F_c$ ), 그리고 암컷의 연령별 성숙비 ( $m_i$ ) 자료가 필요하다. 즉,

$$f_i = 0.5 \times F_c \times m_i \quad (8)$$

로 (Quinn, 1981), 성숙된 암컷당 낳는 포란수는 체장 ( $BL$ )과 포란수 ( $F_c$ ) 관계식,  $F_c = 14.5123 BL^{3.2777}$ 을 이용하였고 (Kang et al., 1999), 연령별 성숙비 ( $m_i$ )는 1세 0.04, 2세 0.35, 3세 0.64, 4세 0.80, 5세 0.89, 그리고 6세 1.00을 이용하였다 (Kang et al., 1999).

### 4) 연령별 생산율 ( $S_i$ )

연령별 생산율 ( $S_i$ )은 연령별 어획사망계수 ( $F_i$ )와 자연사망계수 ( $M$ )와의 관계 ( $S_i = e^{-(F_i + M)}$ )를 사용해서 1세에서 5세까지 구하였다. 연령별 어획사망계수 ( $F_i$ )는 1995년 평균어획사망계수 0.922/yr에 연령별 선택비 ( $S_a$ )를 사용하여 구하였고 (Zhang et al., 1999a), 자연사망계수 0.458/yr는 모든 연령에 동일하게 적용하였다 (Zhang et al., 1999a).

그러나 어류 개체군의 첫 해 (年) 생산율, 즉 알에서 부화되어 자어기와 치어기를 거치면서 1세가 될 때까지의 초기생산율 ( $S_0$ )은 추정하기가 상당히 어렵다. 이 경우 초기생산율 ( $S_0$ )은 개체군의 고유치  $\lambda$ 를 이용하여 추정할 수 있다. 초기생산율 추정식

(Vaughan and Saila, 1976)은 식 (9)와 같고,

$$S_0 = \left( \sum_{i=1}^x f_i L_i \lambda^{-i} \right)^{-1} \quad (9)$$

여기서,  $i$ 는 연령,  $x$ 는 최고연령,  $L_i$ 는 1세에서  $i$ 세까지 살아남을 생존율로  $L_i = \prod_{j=1}^{i-1} S_j$ 이며  $L_1=1$ 이다.

3. 자원량 및 어획량 예측

연도별 자원량을 예측하기 위해, 먼저 암수를 합한 연령별 총자원개체수 ( $TN_{it}$ )는 식 (1)에 의해서 추정된 연령별 자원개체수 ( $N_{it}$ )에 성비 ( $\rho$ )를 이용하여 식 (10)으로 구하였다.

$$TN_{it} = N_{it} / \rho \quad (10)$$

따라서, 연도별 연령별 자원량 ( $B_{it}$ )은 식 (10)에서 계산된 총자원개체수에 연령별 평균체중 ( $W_i$ )을 곱하여 식 (11)과 (12)에 의해 추정하였다.

$$B_{it} = TN_{it} \times W_i \quad (11)$$

$$B_t = \sum_{i=1}^x B_{it} \quad (12)$$

여기서,  $x$ 는 최고연령이다.

어획량 ( $C_t$ )은 추정된 자원량 ( $B_t$ )과 연령별 어획사망계수 ( $F_i$ ), 자연사망계수 ( $M$ )를 사용하여 Baranov의 어획방정식인 식 (13)으로 구하였다.

$$C_t = \sum_{i=1}^M B_{it} \cdot \frac{F_i}{F_i + M} (1 - e^{-(F_i + M)}) \quad (13)$$

4. 적정어획사망계수 추정

한국 연근해 보구치 자원의 적정어획사망계수는 4개의 어획사망계수 ( $F=0.252, 0.368, 0.461, 0.922/\text{yr}$ )와 자원이 증가도 감소도 하지 않는 수준인 평형상태시의 어획사망계수를 구하여 이를 사용해서 추정하였다. 사용된 어획사망계수 ( $F$ ) 중  $0.252/\text{yr}$ 와  $0.368/\text{yr}$ 는 Zhang et al. (1999b)에서 각각 가입당산란자원량 모델에 의한  $F_{35\%}$ 의 어획사망계수, 그리고 가입당생산량 모델에 의한  $F_{0.1}$ 의 어획사망계수이다 (보구치 자원이 1세부터 어획되었으므로, 어획개시연령을 1세로 기준). 그리고,  $F=0.922/\text{yr}$ 는 1995년의  $F_{\text{current}}$  수준이고,  $0.461/\text{yr}$ 는  $\frac{1}{2} F_{\text{current}}$  수준이다.

結 果

1. 매개변수

1) 연령별 자원개체수 ( $N_{it}$ ) 및 고유치 ( $\lambda$ )

1995년 자원개체수는 식 (5)에 의해 1세 45,877,811미, 2세 7,997,881미, 3세 29,697미, 4세 522미, 5세 415미, 그리고 6세 344미였다 (Table 1).

1975~1995년 (21년)간 한국 연근해 보구치의 총자원개체수 변동은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 1984년을 중심으로 그 이전 10년간은 자원량이 증가하는 추세를 나타내지만, 그 이후 10년간은 감소하는 것으로 나타나 크게 두 가지로 나누어 내적자연증가율 ( $r$ )을 추정하였다.

Table 1. The population number and biomass by age of the white croaker females in Korean waters, 1995

Age	Biomass (mt)	Mean weight (g)	The number of females (inds.)
1	2,733.0	29.79	45,877,811
2	1,208.0	75.52	7,997,881
3	8.0	127.96	29,697
4	0.2	191.54	522
5	0.2	241.13	415
6	0.2	290.78	344
Total	3,949.6	-	53,906,670

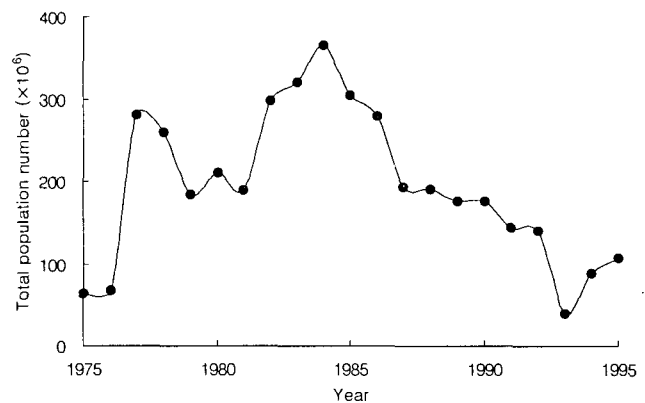


Fig. 1. Annual changes in total population number of the white croaker in Korean waters, 1975~1995.

먼저 밀도 독립적인 Leslie Matrix에 대한 내적자연증가율 ( $r$ )은 식 (6)으로부터 1984년 이전  $r_1=0.1595$ 였고, 1984년 이후  $r_2=-0.1425$ 였다 (Table 2). 이 값을 고유치 ( $\lambda$ )로 환산하면 각각  $\lambda_1=1.1729$ ,  $\lambda_2=0.8672$ 이며, 여기서  $\lambda_2$ 를 한국 연근해 보구치 자원의 1995년도 고유치로 간주하였다.

밀도 종속적인 Leslie Matrix에 대한 고유치 ( $\lambda$ )는 식 (7)로부터 1984년 이전  $\lambda_1=1.9742$ ,  $\alpha_1=3.732 \times 10^{-9}$ 였고, 1984년 이후  $\lambda_2=0.8692$ ,  $\alpha_2=5.234 \times 10^{-10}$ 으로 나타났다. 마찬가지로 1995년도 보구치 자원에 대한 고유치와 상수  $\alpha$ 를  $\lambda_2$ 와  $\alpha_2$ 로 간주하였다.

식 (6)과 (7)로부터 추정된 고유치 ( $\lambda$ )를 보면, 1984년 이후에는 비슷한 수준을 나타내었으나, 1984년 이전에는 다소 차이가 있었

Table 2. Regression statistics for the relationship between population number and the intrinsic rate of natural increase of the white croaker in Korean waters

Statistics	Before 1984 year	After 1984 year
$\ln N_0 \pm SE$	$18.3702 \pm 0.2433$	$20.9525 \pm 0.4129$
95% CI for $\ln N_0$	(17.8090, 18.9313)	(20.0325, 21.8724)
$r \pm SE$	$0.1595 \pm 0.0456$	$-0.1425 \pm 0.0277$
95% CI for $r$	(0.0543, 0.2646)	(-0.2042, -0.0807)
$N_0 = \exp(\ln N_0)$	$95 \times 10^6$	$1,257 \times 10^6$
95% CI for $N_0$	( $54 \times 10^6, 166 \times 10^6$ )	( $501 \times 10^6, 3,155 \times 10^6$ )
n	10	12
R <sup>2</sup>	0.6047	0.7257

다. 이것은 1984년 이전의 개체군 변화율이 일정하지 않기 때문인 것으로 (Fig. 1), 이러한 결과는 결정계수 ( $R^2$ )가 1984년 이후보다 낮은 수치를 나타내었다 (Table 2).

2) 연령별 출생율 ( $f_i$ ) 및 생존율 ( $S_i$ )

연령별 포란수는 Kwon et al. (1999)에 의한 연령별 평균체장 ( $BL$ )을 이용하여 체장 ( $BL$ )과 포란수 ( $F_c$ ) 관계식에 적용한 결과, 1세 52,635 eggs에서 6세 621,605 eggs의 범위였다. 따라서, 연령별 출생율 ( $f_i$ )은 식 (8)에 의해 1세 1,053, 2세 25,221, 3세 81,708, 4세 158,160, 5세 225,626, 그리고 6세 310,803였다 (Table 3).

Table 3. The age-specific fertility, maturity ratio and fecundity of the white croaker in Korean waters

Age	Fertility ( $F_c$ )	Maturity ratio ( $m_i$ )	Fecundity ( $f_i$ )
1	52,635	0.04	1,053
2	144,117	0.35	25,221
3	255,342	0.64	81,708
4	395,399	0.80	158,160
5	507,046	0.89	225,636
6	621,605	1.00	310,803

1995년 한국 연근해 보구치 자원의 연령별 생존율 ( $S_i$ )은 선택비 ( $S_a$ )에 의해 계산된 연령별 어획사망계수와 자연사망계수를 사용하여 계산되었으며, 그 값은 Table 4와 같다.

Table 4. The age-specific selectivity, fishing mortality and survival rate of the white croaker in Korean waters, 1995

Age	Selectivity ( $S_a$ )	Fishing mortality ( $F_i$ )	Survival rate ( $S_i$ )
1	1.000	0.921	0.252
2	1.760	1.622	0.125
3	0.811	0.748	0.299
4	0.705	0.650	0.330
5	0.724	0.668	0.324
6	1.000	0.922	-

초기생산물 ( $S_0$ )은 연령별 생존율 (Table 4)과 연령별 출생율 추정치 (Table 3), 그리고 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 고유치 ( $\lambda$ ) 값 0.8672와 0.8692를 이용하여 식 (9)에 의해 각각 0.0000543, 0.0000547로 계산되었다 (Table 5).

2. Leslie Matrix

1995년도의 한국 연근해 보구치 자원에 대한 Leslie Matrix는 추정된 연령별 생존율과 출생율을 사용하여 나타내면, 밀도 독립적인 경우는 식 (14)와 같고,

$$M = \begin{bmatrix} 0.057 & 1.370 & 4.440 & 8.594 & 12.260 & 16.888 \\ 0.252 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.299 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.330 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.324 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Table 5. Estimated 0th-year survival rate of the white croaker in Korean waters (a) Density independence

Age	$f_i$	$S_i$	$L_i$	$\lambda^{-i}$	$f_i L_i \lambda^{-i}$
0	-	0.0000543	-	-	-
1	1,053	0.252	1.000	1.153	1,214
2	25,221	0.125	0.252	1.330	8,446
3	81,709	0.299	0.031	1.533	3,942
4	158,160	0.330	0.009	1.768	2,634
5	225,636	0.324	0.003	2.039	1,431
6	310,803	-	0.001	2.351	737
Total	-	-	-	-	18,404

(b) Density dependence

Age	$f_i$	$S_i$	$L_i$	$\lambda^{-i}$	$f_i L_i \lambda^{-i}$
0	-	0.0000547	-	-	-
1	1,053	0.252	1.000	1.150	1,211
2	25,221	0.125	0.252	1.324	8,406
3	81,709	0.299	0.031	1.523	3,915
4	158,160	0.330	0.009	1.752	2,610
5	225,636	0.324	0.003	2.015	1,415
6	310,803	-	0.001	2.319	727
Total	-	-	-	-	18,283

$f_i$ , net fecundity of age  $i$  females;  $S_i$ , survival rate of age  $i$ ;  $L_i$ , survival from 1 to age  $i$ ;  $\lambda$ , eigenvalue.

밀도 종속적인 경우는 식 (15)와 같다.

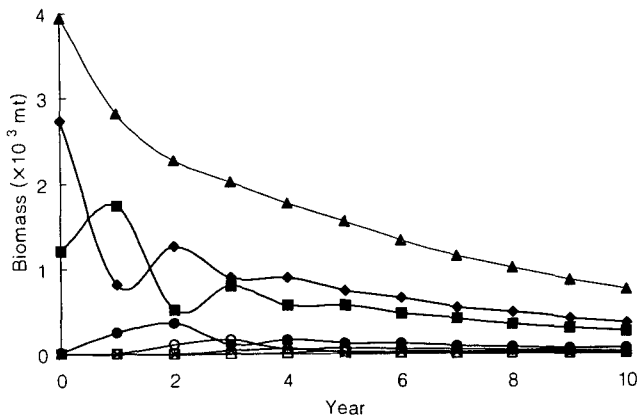
$$MQ_i^{-1} = \begin{bmatrix} 0.058 & 1.379 & 4.469 & 8.650 & 12.341 & 16.999 \\ 0.252 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.125 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.299 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.330 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.324 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q(0,t)^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q(1,t)^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q(2,t)^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q(3,t)^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q(4,t)^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q(5,t)^{-1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

3. 자원량 및 어획량

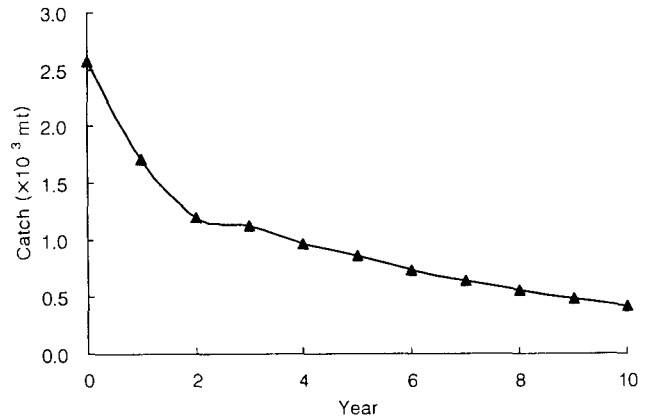
1995년도 이후의 자원량은 Leslie Matrix, 1995년의 연령별 자원개체수, 성비, 연령별 평균체중 등을 사용하여 식 (10), (11) 그리고 (12)에 의해 추정하였다.

한국 연근해 보구치에 대한 Leslie Matrix의 추정에 사용된 생존율 ( $S = e^{(M+F)}$ )은 Zhang et al. (1999a)에 의한 추정치로 자연사망계수 ( $M$ )가 0.458/yr이고, 어획사망계수 ( $F$ )는 0.922/yr이다. 이 어획사망계수는 한국 연근해 보구치의 1995년의  $F$  수준을 나타내는 것으로, 1995년의 자원개체수를 Leslie Matrix에 적용하여 이 어획강도에 의한 자원변동을 예측하였다.

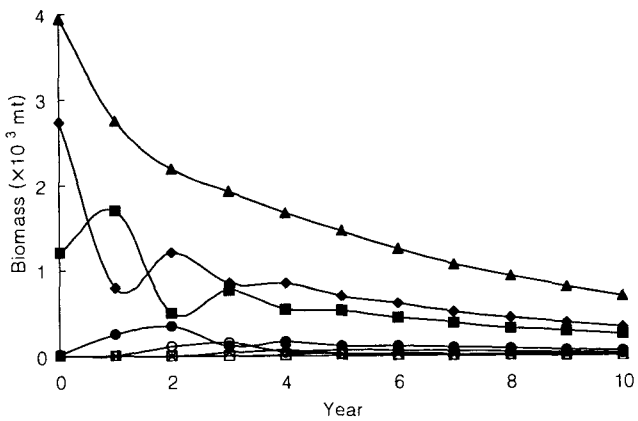
밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 자원 변동은 Fig. 2



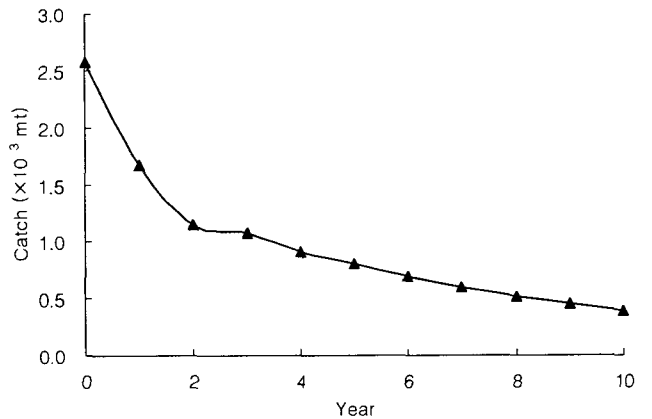
(a) Density independence



(a) Density independence



(b) Density dependence



(b) Density dependence

Fig. 2. Prediction of changes in annual biomass by age of the white croaker in Korean waters using Leslie Matrix. ◆, age 1; ■, age 2; ●, age 3; ○, age 4; ×, age 5; □, age 6; ▲, total.

Fig. 3. Prediction of changes in annual catch of the white croaker in Korean waters using Leslie Matrix.

에 나타내었다.

한국 연근해 보구치 자원의 1995년 자원량은 약 4,000 mt이었으나, 1995년의 어획강도로 계속 어획한다면, 두 경우 모두 자원량이 10년 후에는 1,000 mt 이하 수준까지 감소하는 것으로 나타났다.

1995년 어획사망계수  $F=0.922/\text{yr}$ 에 의한 어획량 변동은 Fig. 3에 나타내었는데, 두 경우 모두 자원량의 감소로 인해 어획량도 급격히 감소하였다.

#### 4. 적정어획사망계수

Leslie Matrix에 의해 추정된 평형상태시 ( $\lambda=1$ )의 어획사망계수 ( $F$ )는 밀도 독립적인 경우  $F=0.731/\text{yr}$ 이었고, 밀도 종속적인 경우  $F=0.712/\text{yr}$ 로 약 0.7/yr 정도로 추정되었다.

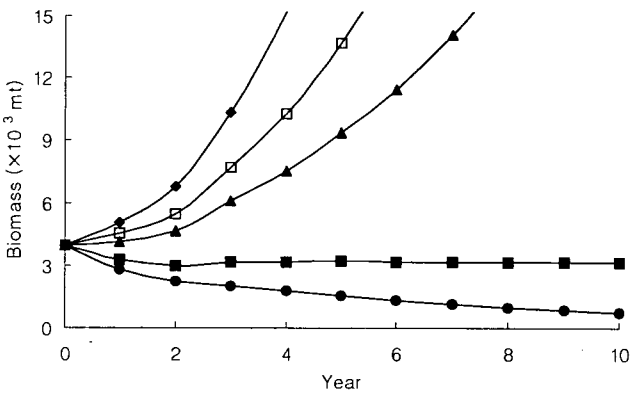
여러 수준의 어획사망계수 ( $F$ )에 대한 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 자원량 변동은 Fig. 4와 같다. 밀도 독립적인 경우의 자원량은 어획수준이 가입당산란자원량 모델과 가입당생

산량 모델에 의한 어획수준인  $F=0.252, 0.368/\text{yr}$ 에서 급격히 증가하였으며,  $F=0.252/\text{yr}$ 에서 더 큰 증가율을 나타내었다.

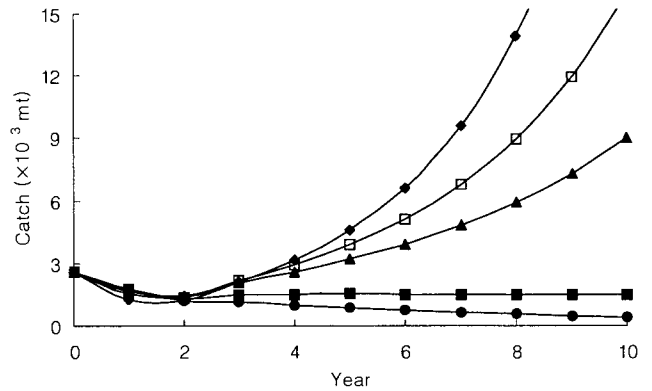
밀도 독립적인 경우도 마찬가지로 자원량이  $F=0.252, 0.368/\text{yr}$  수준에서 증가하였으며,  $F=0.252/\text{yr}$ 에서 더 큰 증가율을 나타내었다. 그러나 밀도 종속적인 경우의 자원량은 일정기간이 지난 후에는 밀도 효과에 의해 증가율이 감소하여 일정수준에 수렴하였다. 이 수준은  $F=0.252/\text{yr}$ 에서는 약 90,000 mt,  $F=0.368/\text{yr}$ 에서는 63,000 mt 정도였다.

여러 수준의 어획사망계수 ( $F$ )에 대한 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 어획량 변동은 Fig. 5와 같다. 밀도 독립적인 경우의 어획량은  $F=0.252, 0.368, 0.461/\text{yr}$  수준시 2년 이후부터 증가하기 시작하여 5년 이후 1995년의 어획수준을 넘어서는 것으로 나타났으며  $F$  값이 낮을수록 더 큰 증가율을 보였다.

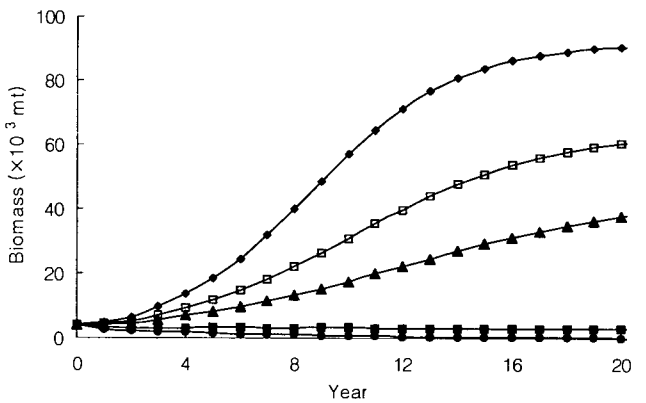
밀도 종속적인 경우의 어획량도  $F=0.252, 0.368, 0.461/\text{yr}$  수준시 2년 이후부터 증가하기 시작하여 5년 이후 1995년의 어획수준을 넘어서는 것으로 나타났으며  $F$  값이 낮을수록 큰 증가율을 보였



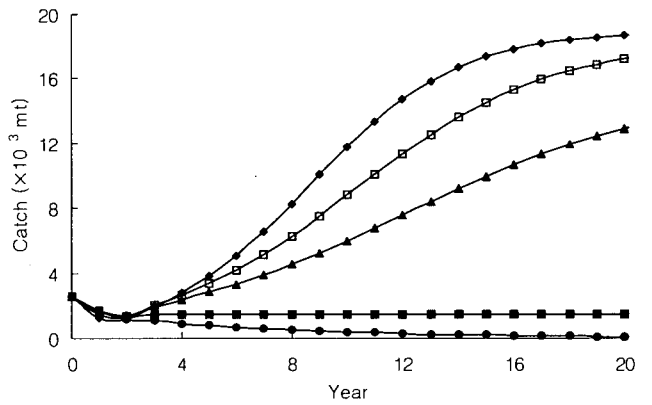
◆, F=0.252; □, F=0.368; ▲, F=0.461; ■, F=0.731; ●, F=0.922.  
(a) Density independence



◆, F=0.252; □, F=0.368; ▲, F=0.461; ■, F=0.731; ●, F=0.922.  
(a) Density independence



◆, F=0.252; □, F=0.368; ▲, F=0.461; ■, F=0.712; ●, F=0.922.  
(b) Density dependence



◆, F=0.252; □, F=0.368; ▲, F=0.461; ■, F=0.712; ●, F=0.922.  
(b) Density dependence

**Fig. 4.** Prediction of changes in annual biomass of the white croaker in Korean waters under the various fishing mortalities (F).

**Fig. 5.** Prediction of changes in annual catch of the white croaker in Korean waters under the various fishing mortalities (F).

으나  $F=0.252$ 와  $0.368/\text{yr}$ 의 어획량은 밀도 독립적인 경우와는 달리 큰 차이가 나지 않았다.

考 察

1995년 현재까지의 한국 연근해 보구치 자원의 개체군 변동 추세는 1984년 이전에는 개체군의 고유치 ( $\lambda$ )가 1보다 큰 값으로 증가하는 경향을 보였으나, 1984년 이후에는 고유치 ( $\lambda$ )가 1보다 작은 값으로 감소하는 경향을 보였다. 또한, 국립수산진흥원의 자료에 의하면 최근 1996~1999년간 4년동안의 어획량은 각각 2,509 mt, 1,565 mt, 1,777 mt, 2,196 mt으로, 아주 낮은 수준에 있다. 따라서, 한국 연근해 보구치 자원은 심각한 남획상태에 있으며, 보구치 자원회복에 대한 관리방안이 시급히 요구되는 실정이다.

가입당산란자원량 모델과 가입당생산량 모델에 의한 두 적정어

획사망계수는 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우 모두 자원량을 증가시키고 생산량도 증가시켰다. 그러나 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 자원량 및 어획량 변동에는 차이가 있었다. 밀도 독립적인 경우의 자원량은 지수함수적으로 계속 증가하는 경향을 나타내었으나 밀도 종속적인 경우의 자원량은 일정기간이 지난 후에는 밀도 효과에 의해 환경수용력 (carrying capacity)에 이르는 것으로 나타났다. 이것은 실제 생태계내의 영향을 보다 현실적으로 나타내는 것임을 알 수 있다.

밀도 종속적인 경우의 자원량 및 어획량 변동은  $F=0.252/\text{yr}$  수준에서 가장 높은 값을 보였다. 따라서 한국 연근해 보구치 자원을 회복시키고, 가장 효율적으로 이용할 수 있는 적정어획사망계수는  $0.2\sim 0.3/\text{yr}$  수준일 것이다. 그리고 보구치 자원을 현재 수준보다 증가시키기 위해서는 최소한 평형상태시의 어획사망계수인  $0.7/\text{yr}$  보다는 낮아야 한다.

지금까지 연령별 생산율과 출생율을 이용하는 연령구조 모델인 Leslie Matrix를 사용해서 한국 연근해 보구치 자원의 자원량 및 어획량 변동을 예측하여 자원관리 방안에 대해 모색해 보았다. 일반적으로, 수산생물의 생산율과 출생율은 당시의 해양환경 조건에 따라 다르기 때문에, Leslie Matrix 적용시 매년 다른 매개변수를 적용시켜야 한다. 그러나 본 연구에서는 자원변동을 예측하기 위해서 현재의 유용한 정보수준인 1995년 자료를 매년 일정하다는 가정하에서 사용하였으므로, 일반 모델과 마찬가지로 자원변동 해석에 있어서 이러한 점은 고려되어야 한다. 하지만, 일반적인 역학 모델은 개체군 성장에 제한하여 가입량 역시 일정하다는 가정하에서 분석하나 Leslie Matrix 모델은 연령별 재생산까지 고려할 수 있고, 또한 생산율도 연령별로 고려하므로 개체군 성장에 보다 합리적으로 접근할 수 있다는 이점이 있다. 또한 밀도 종속성의 부여는 개체군내의 상호작용을 포함시켜 보다 생물학적으로 감도 높은 분석을 할 수 있다. 이러한 밀도 종속적인 영향은 여러 측면에서 고려해 볼 수 있는데, 밀도 효과가 출생율과 생산율 모두에게 영향을 미치는가? 연령별로 각각의 개체에 영향을 미치는가? 또는 밀도 효과가 그 개체군에 즉시 영향을 미치는가 아니면 일정시간이 지나서 미치는가? 등의 문제가 대두된다. 여기서는 밀도 효과가 보구치 자원의 출생율과 생산율 모두에게 즉시 영향을 미치는 것으로 간주하여 시간지연을 고려하지 않았다. 만약 시간지연을 고려한다면, 시간에 대한 개체군 크기는 진동하면서 수렴하는 형태가 될 것이다.

본 연구는 고갈되어 가는 한국 연근해 보구치 자원에 대한 관리방안의 필요성 인식과 이로 인한 자원증대 및 생산증대에 대한 근거 자료를 제시할 수 있을 것으로 생각된다.

## 要 約

한국 연근해 보구치 자원의 지난 21년간 (1975~1995년) 자원량을 이용하여 추정된 고유치는 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우 약 0.8 정도로 감소하는 추세에 있었으며, 밀도 종속적인 경우 상수  $\alpha$ 는  $5.234 \times 10^{-10}$ 이었다. 그리고 보구치 자원의 연령별 출생율은 1세 1.053에서 6세 310,803의 범위였고, 연령별 생산율은 1세 1.053에서 6세 310,803의 범위였으며, 초기생산율은 0.00005였다.

자원량 및 어획량 예측치는 추정된 매개변수를 사용하여 밀도 독립적인 경우와 밀도 종속적인 경우의 Leslie Matrix에 적용해서 추정하였는데, 이때 어획사망계수가  $F_{35\%}$ 와  $F_{0.1}$  수준인 0.252/yr와 0.368/yr에서 자원량과 어획량이 급격히 증가하였으며, 밀도 종속적인 경우 밀도 효과의 부여는 환경수용력 (carrying capacity)을 산출하므로 보다 현실적으로 접근할 수 있다. 평형상태시의 어획

사망계수는 약 0.7/yr였다. 따라서, 본 연구는 현재 남획상태에 있는 한국 연근해 보구치 자원을 Leslie Matrix에 적용시켜 자원량 및 어획량 변동을 예측해 봄으로써 남획으로 인해 고갈되어 가는 보구치 자원을 회복시킬 관리방안을 제시하였다.

## 參 考 文 獻

- Baik, C.I., K.S. Hwang, J.H. Park, Y.J. Kang and C.I. Zhang. 1999. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean waters - I. Distribution pattern. J. Korean Fish. Resource Soc., 2, 44~53 (in Korean).
- Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Iljisa. Seoul. 727pp (in Korean).
- Kang, Y.J., D.H. Kwon and C.I. Zhang. 1999. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean Waters - III. Maturation and spawning. J. Korean Fish. Resource Soc., 2, 61~67 (in Korean).
- Kwon, D.H., Y.J. Kang and D.W. Lee. 1999. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean Waters - II. Age and growth. J. Korean Fish. Resource Soc., 2, 54~60 (in Korean).
- Leslie, P.H. 1945. The use of matrices in certain population mathematics. Biometrika, 33, 183~212.
- Leslie, P.H. 1959. The properties of a certain lag type of population growth and the influence of an external random factor on a number of such population. Physiol. Zool., 32, 151~159.
- Quinn, T.J. II. 1981. The use of Leslie-type age-structure models for the Pacific halibut population. In *Quantitative Population Dynamics*, D.G. Champman and V.F. Gallucci, eds. International Co-operative Publishing House. Fairland, Maryland, pp. 217~242.
- Vaughan, D.S. 1981. An age structure model of yellow perch in western lake Erie. In *Quantitative Population Dynamics*, D.G. Champman and V.F. Gallucci, eds. International Co-operative Publishing House. Fairland, Maryland, pp. 189~216.
- Yeh, S.Y. and L.L. Low. 1985. A Leslie matrix - differential equation model for yield analysis of groundfish resources. Int. Groundfish Symposium. Japan, 1985, pp. 1~22.
- Zhang, C.I., Y.J. Kang and M.W. Lee. 1999a. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean Waters - IV. Population ecological characteristics and biomass. J. Korean Fish. Resource Soc., 2, 68~76 (in Korean).
- Zhang, C.I., C.I. Baik and S.I. Lee. 1999b. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean Waters - V. Stock assessment and management implications. J. Korean Fish. Resource Soc., 2, 77~83 (in Korean).

2001년 4월 16일 접수

2001년 9월 1일 수리