

한국 근해 복수어구 및 다종어업 자원 평가모델 연구

I. 단일어구에 의한 다종자원의 이용

서영일 · 장창익
부경대학교 해양생산관리학과

A Study on the Multi-gear and Multi-species Fisheries Assessment Models in Korean Waters

I. Multi-species by a Single Gear

Young Il SEO and Chang Ik ZHANG

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

This paper presents case studies on the multi-species fisheries in Korean waters. Multi-species fisheries were divided into two types, that is, multi-species by a single fishery and single species by multiple fisheries. For the case of the multi-species by a single fishery, a multi-species yield-per-recruit model was applied to the Korean pair trawl fishery, which exploits demersal fishes such as, hairtail (*Trichiurus lepturus*), small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*), white croaker (*Argyrosomus argentatus*) and pomfret (*Pampus echinogaster*). The overall fishing mortality (F_x) values for the multi-species was estimated and compared to the spawning potential ratio ($F_{x\%}$) values estimated from the spawning biomass-per-recruit model.

Key words: Multi-species fishery, Pair trawl fishery, Yield-per-recruit model, Spawning biomass-per-recruit model

서 론

200해리 배타적경제수역제도의 시행으로 우리나라 수산자원 관리체제는 현재의 어선척수 관리제도에서 총허용어획량 (Total Allowable Catch, TAC)에 입각한 관리체제로 바뀌었다. 이와 같이 자원관리체도가 TAC제도로 바뀌면, 지금까지 시행되어온 주변국과의 경쟁적인 조업체제로부터 우리나라 관할권내 이용가능 어업자원을 집중적으로 관리하기 위한 자율적 및 배타적 관리 체제로의 전환이 불가피하다. 이러한 환경변화에 적응하기 위해서는 우리나라 주변 해역의 각 자원생물들에 관한 종합적인 연구가 절실하다.

특히, 우리나라의 수역은 전형적인 온대해역으로서 200여종의 수산자원생물들이 다양한 방법의 어업에 의해서 어획되어오고 있다. 우리나라의 연근해어업은 현재 37개의 어업으로 구성되어 다종자원을 다어구에 의해서 어획하는 복잡한 형태를 가지고 있다. 이러한 어업은 대부분 단일어구에 의해 다종자원을 이용 (Multi-species by a single gear)하는 형태와 복수어구에 의해 단일 어종자원을 이용 (Single species by multi-gear)하는 형태로 구분할 수 있다. 이러한 어업들을 관리하는데 단일어구에 의한 단일 어종의 자원평가 모델을 사용한다면 목표 어종이 아닌 부수 어획종에 대한 남획 등 여러 가지 문제점이 발생할 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구는 다종어업 관리방안의 수립을 위한 기초연구로서 우리나라의 다종어업에 관한 전반적인 정보와 자료를 바탕으로 우리나라 어업현실에 적합한 다종자원평가모델을 개발하는데 목적이 있으며, 단일어구에 의한 다종자원의 이용형태인 대형기선저인망쌍끌이어업에 의해 어획되는 다종자원에 대해 다종가입당생산량모델로 적정어획사망계수를 추정하였다.

자료 및 방법

가. 모 델

대형기선저인망쌍끌이어업에서 어획되는 다종자원의 적정어획 사망계수를 구하기 위하여 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량모델을 아래와 같이 변형하였다.

$$Y/R = \sum_{i=1}^s \omega_i \alpha_i F \exp(-M_i(t_{ci} - t_n)) \\ W_{\omega i} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK_i(t_{ci} - t_{bi})]}{\alpha_i F + M_i + nK_i} \\ \cdot (1 - \exp[-(\alpha_i F + M_i + nK_i)(t_{ci} - t_{ci})]) \quad (1)$$

여기서, $U_0=1, U_1=-3, U_2=3, U_3=-1$ 이며, ω_i 는 i 어종의 상대적 가입량 지수 (= i 종의 혼획율/평균 혼획율), α_i 는 i 어종에 대한 상대적 어획능력지수 (= F_i/\bar{F}_ω), s 는 어종수이다. 각 어종에 대한 가입량 지수 (ω_i)는 어종별 상대적 가입량을 나타내기 위하여 각 어종별 혼획율을 네 종에 대한 평균 혼획율로 나누어서 구하였다. 상대적 어획능력지수 (α_i)는 각 어종의 순간어획사망계수 (F)를 네 종에 대한 혼획율로 가중시킨 가중평균 순간어획사망계수 (\bar{F}_ω)로 나누어서 구하였다. 가중평균 순간어획사망계수의 식은 아래와 같다.

$$\bar{F}_\omega = \frac{\sum_{i=1}^s m_{xi} F_i}{\sum_{i=1}^s m_{xi}} \quad (2)$$

여기서 m_{xi} 는 i 어종의 혼획율이다.

나. 입력자료

(1) 주요 어획 대상 어종의 선정

대형기선저인망쌍끌이어업에서 어획되는 다종자원 중 어획량 비율이 상위를 차지하는 어종을 선별한 후 각 어종에 대한 혼획율을 이용하여 주요 어획 대상 어종을 선정하였다 (Table 1). 1993~1997년간 이 어업에서 어획된 주요 어종으로는 강달이, 갈치, 참조기, 병어, 보구치였으며 이 5개 어종은 전체 어획량의 약 54%를 차지하였다. 위의 5종 가운데 강달이의 실제 어획량이 눈강달이와 황강달이 및 조기류의 치어를 다 포함하고 있기 때문에 실질적인 강달이의 어획통계 및 생물학적 특성치의 추정이 불가능하여 강달이는 분석에서 제외하였다.

(2) 자원생태학적 특성치

모델의 분석에 필요한 자원생태학적 특성치는 이미 추정된 자료 (Kim et al., 1989; Zhang et al., 1992a, 1992b, 1992c, 1999; Park, 1999)를 이용하였다 (Table 2).

다. 적정어획강도

(1) F_x 의 추정

F_x 는 가입당생산량 곡선에서 어획이 없을 때의 기울기의 $x\%$ 가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수를 의미한다. F_x 는 Beverton and Holt (1957) 모델을 변형한 다종어업 평가모델을 순간어획사망계수 (F)에 대해 미분하여, 그 결과의 $x\%$ 에 해당하는 값을 F_x 로 추정하였으며 이용된 미분식은 아래와 같다.

$$\left[\frac{d(Y/R)}{dF} \right]_{F=0.0} = \sum_{i=1}^5 \omega_i \alpha \exp[-M_i(t_{ci} - t_n)] \cdot W_{wi} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK_i(t_{ci} - t_{0i})]}{(M_i + nK_i)} \cdot (1 - \exp[-(M_i + nK_i)(t_{Li} - t_{ci})]) \quad (3)$$

본 연구에서는 F_x 로서 F_{max} , $F_{0.1}$ 과 $F_{0.05}$ 를 선택하여 구하였다.

(2) $F_{x\%}$ 의 추정

각 어종의 가입당산란자원량 모델에 의하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 산란자원량의 $x\%$ 의 가입당산란자원량을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수의 값들을 추정하였다. 즉,

$$\frac{SB}{R} = m_i \cdot \exp[-M(t_c - t_0)] W_{wi} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \quad (4)$$

Table 2. Input parameters for the multi-species yield per recruit model applied for the Korean pair trawl fishery

Species	Input parameters								
	M	t_r	t_c	t_L	W_∞	K	t_0	$F_{current}$	
Hairtail ¹	0.38	0.44	0.88	13	2,188	0.154	-1.496	1.323	
Small yellow croaker ²	0.40	0.295	0.60	10	456	0.331	-0.239	1.110	
Pomfret ³	0.60	0.190	0.49	8	817	0.323	-0.736	0.924	
White croaker ⁴	0.46	0.567	1.12	10	493	0.267	-0.924	0.922	
Weighted average									1.207

M: natural mortality rate (/year).
 t_r : age of recruitment (year).
 t_c : age at first capture (year).
 t_L : maximum age (year).
 W_∞ : maximum weight (g).
 K: the rate of growth (/year).
 t_0 : age at length is 0 (year).
 $F_{current}$: estimated fishing mortality (/year) at hairtail, 1997; small yellow croaker, 1988; pomfret, 1987; white croaker, 1995.

¹ Park (1999).

² Zhang et al. (1992a, 1992b, 1992c).

³ Kim et al. (1989).

⁴ Zhang et al. (1999).

여기서, SB는 각 어종의 산란자원량을 의미하며 m_i 는 성숙비로서 갈치의 각 연령별 성숙비는 $m_1=0.06$, $m_2=0.43$, $m_3=0.95$ 이며 4세를 완전성숙연령으로 하였다. 참조기의 각 연령별 성숙비는 $m_1=0.05$, $m_2=0.25$, $m_3=0.50$, $m_4=0.75$ 이며 5세를 완전성숙연령으로 하였으며, 병어의 각 연령별 성숙비는 $m_1=0.23$, $m_2=0.88$ 이며 3세를 완전성숙연령으로 하였다. 마지막으로 보구치의 각 연령별 성숙비는 $m_1=0.04$, $m_2=0.35$, $m_3=0.64$, $m_4=0.80$, $m_5=0.89$ 이며 6세를 완전성숙연령으로 하였다.

(3) F_x 와 $F_{x\%}$ 의 관계

다종가입당생산량 모델에 의해 추정된 생물학적 기준점인 F_x 값에 따라 각 개체군의 산란자원량수준 (F_{x*})이 어떻게 변동하는가를 비교하였으며, 이런 관계로부터 적정어획강도와 적정산란자원량 수준을 구하였다.

Table 1. Species composition of the Korean pair trawl fishery, 1993~1997

unit (%)

Year	Species															Total
	Hairtail	Small yellow croaker	Mackereles	Spanish Mackereles	Sea eel	Squid	Monk Fish	Pomfret	Blue Crap	Flounders	Skate Ray	Trouts	White croaker	Others		
1993	4.3	14.0	1.3	0.2	4.0	1.5	1.6	0.6	0.8	1.7	1.3	1.1	0.1	67.5	100	
1994	8.8	11.6	1.8	0.6	2.4	1.6	1.4	1.2	3.6	1.1	1.1	0.9	0.1	63.6	100	
1995	15.8	10.0	5.6	2.3	1.7	1.2	2.9	1.7	0.9	0.7	0.8	1.0	0.2	55.2	100	
1996	19.8	7.2	8.2	2.2	1.5	3.4	3.2	2.9	0.5	0.8	0.6	0.9	0.4	48.4	100	
1997	19.9	7.1	7.6	7.2	1.3	3.0	0.9	3.1	0.2	0.4	0.7	0.0	0.1	48.9	100	
Mean	13.5	10.1	4.8	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.2	1.0	0.9	0.8	0.2	56.9	100	

결 과

가. 어획사망계수

대형기선저인망쌍끌이어업에서 어획비율이 비교적 높은 주요 어종은 강달리와 갈치, 참조기, 병어, 보구치 등이었다. 이 가운데에서 주요 어업 대상인 참조기와 갈치, 병어, 보구치 등 네 종에 대하여 추정된 다종가입당생산량 곡선을 나타냈다.

현재의 어획개시연령에서 최대 가입당 생산량을 초래하는 순간 어획사망계수 (F_{max})는 각 어종별로 보면 갈치 0.485/년, 참조기 0.383/년, 병어 0.739/년, 보구치 0.823/년이었으나 다종가입당생산량 모델의 결과에 의하면 0.455/년이었다. 또한, 최대가입당생산량 ($max Y/R$)은 각각의 어종별로 보면 갈치 83.49g, 참조기 28.30g, 병어 42.59g, 보구치 37.39g이었으나 다종가입당생산량 모델에서는 232.19g이었다 (Fig. 1).

현재의 어획개시연령에서 $F_{0.1}$ 은 갈치 0.260/년, 참조기 0.250/년, 병어 0.412/년, 보구치 0.383/년이었으며 다종가입당생산량 모델에 의한 추정치는 0.251/년이었다. 이때의 가입당생산량 (Y/R)은 갈치 77.47g, 참조기 26.88g, 병어 39.65g, 보구치 34.11g이었고 다종가입당생산량모델에서는 216.68g이었다 (Fig. 2, Table 3).

나. 산란자원량 수준

다종가입당생산량 모델에서 추정된 $F_{0.1}$ 값을 각 어종의 산란자원량모델에 적용하였다. 이때의 산란자원량 수준인 F_{x*} 의 백분비는 갈치 39.8%, 참조기 40.9%, 병어 48.2%, 보구치 50.8%였다 (Table 4).

다. F_x 에 따른 산란자원량 수준의 변동

대형기선저인망쌍끌이어업에서 어획되는 어종에 대한 산란자원량 수준의 변동을 살펴보기 위하여 다종가입당생산량 모델에서 추정된 F_x 의 값을 각 어종의 산란자원량모델에 적용하였다.

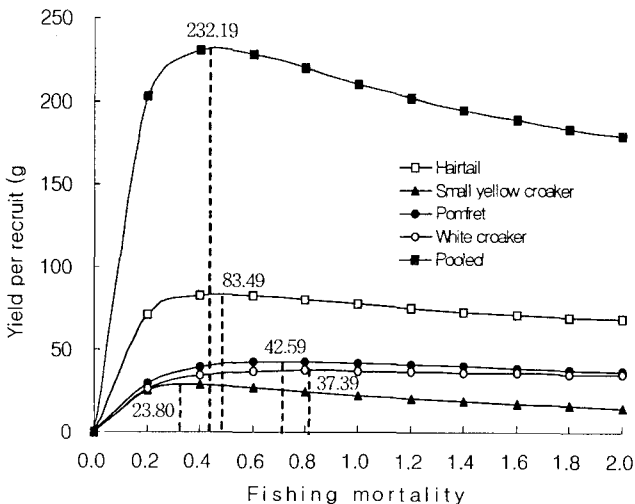


Fig. 1. Multispecies yield per recruit curves showing F_{max} points for the four major species of the Korean pair trawl fishery.

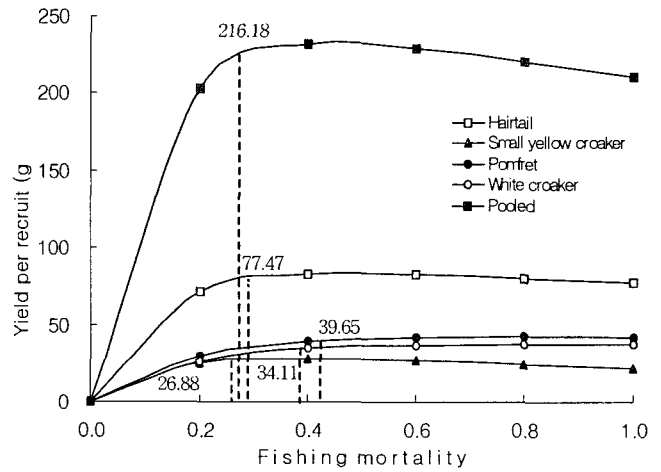


Fig. 2. Multispecies yield per recruit curves showing $F_{0.1}$ points for the four major species of the Korean pair trawl fishery.

Table 3. Yield per recruit of four major species in Korean waters under harvest strategies on F_{max} and $F_{0.1}$

Species	t_c	F_{max}	$F_{0.1}$	Y/R (g) at	
				F_{max}	$F_{0.1}$
Hairtail	0.88	0.485	0.260	83.49	77.47
Small yellow croaker	0.60	0.383	0.250	28.30	26.88
Pomfret	0.49	0.739	0.412	42.59	39.65
White croaker	1.12	0.823	0.383	37.39	34.11
Pooled	-	0.455	0.251	232.19	216.68

Table 4. Fishing mortalities and spawning potential ratios for the different levels of F_x of the four major species in the Korean pair trawl fishery

Species	F_x			F_{x*} at pooled F_x		
	F_{max}	$F_{0.05}$	$F_{0.1}$	F_{max}	$F_{0.05}$	$F_{0.1}$
Hairtail	0.485	0.328	0.260	23.8%	33.3%	39.8%
Small yellow croaker	0.383	0.301	0.250	23.6%	34.0%	40.9%
Pomfret	0.739	0.516	0.412	30.4%	41.2%	48.2%
White croaker	0.823	0.467	0.383	33.8%	44.2%	50.8%
Pooled	0.455	0.315	0.251	-	-	-

$F_{0.1}$ 일 때 산란자 원량 수준과 비교하여 F_{max} 와 $F_{0.05}$ 일 때의 산란자원량 수준은 Table 6에 나타냈다. F_{max} (0.455/년)일 때 F_{x*} 의 값은 갈치 23.8%, 참조기 23.6%, 병어 30.4%, 보구치 33.8%로 비교적 낮은 수준이었고, $F_{0.05}$ (0.315/년)일 때 F_{x*} 의 값은 갈치 33.3%, 참조기 34.0%, 병어 41.2%, 보구치 44.2%로 F_{max} 보다는 높고 $F_{0.1}$ 보다는 낮은 수준이었다.

고찰

대형기선저인망쌍끌이어업에서 주 어획대상으로 하고 있는 어업자 원 가운데 분류 가능한 어류의 약 38%를 차지하는 주요 어종인 갈치, 참조기, 병어, 보구치를 선별하여 가입당생산량모델과 산란자원량모델을 이용하여 다종어업에 대한 평가방법을 제시하였다.

가입당생산량모델에서 어종별로 추정된 최대가입당생산량을 초래하는 순간어획사망계수 (F_{max})와 $F_{0.1}$ 어획강도는 현재의 어획강도에 비하여 전 어종에서 낮게 추정되었다. 네 어종에 대한 가중평균어획강도 ($\bar{F}_w=1.207/\text{년}$)를 다종가입당생산량 모델에 의한 $F_{0.1}$ 어획강도 (0.251/년)와 비교하면 약 4.8배 높은 것으로 나타났다 (Table 3).

다종가입당생산량모델에서 추정된 $F_{0.1}$ 값인 0.251/년을 각 어종의 산란자원량모델에 적용한 결과, 이 때의 산란자원량 수준인 $F_{x\%}$ 의 값은 약 40~51%로 높은 수준의 범위였다. 반면 이 값과 비교하여 F_{max} 와 $F_{0.05}$ 일 때의 산란자원량 수준은 F_{max} 가 24~34%, $F_{0.05}$ 가 33~44%로 추정되었다 (Table 4).

위에서 보는 바와 같이 대형기선저인망쌍끌이어업은 $F_{0.1}$ 어획강도를 약 4.8배 초과하는 과도어획상태를 보이고 있으며, 이러한 과도어획상태에서 남획을 막기 위해서는 대형기선저인망쌍끌이어업에 대한 어획강도를 다종가입당생산량 모델에 의해 추정된 $F_{0.1}$ (0.251/년) 수준으로 낮춰야 될 것으로 보인다. 그러나 $F_{0.1}$ 에서 어획이 이루어졌을 경우 산란자원량 수준은 40~51%로서 미국에서 어업관리에 일반적인 적정기준으로 삼고 있는 35~45%의 수준을 초과한다. 또한 분석에 이용된 4종이 저서성 어류라는 점을 감안한다면 적정산란자원량 수준은 35%가 적절할 것으로 판단된다 (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2000). 따라서 산란자원량 수준을 약 35~45%를 유지할 수 있는 어획강도는 $F_{0.05}$ 일 때의 0.315/년이 적절하다고 본다.

그러나 본 연구 결과는 다음과 같은 요인으로 인하여 해석시 유의해야 한다. 첫째로, 본 연구의 가입당생산량 및 산란자원량 수준의 분석에 사용된 각 어종의 자원생태학적 특성치는 기 추정된 자료로서 동일한 해에 추정된 것이 아니라는 점과 또한 최근 연도의 정보가 아니라는 면에서 일관성과 현실성이 결여되어 있다. 둘째로는 본 연구의 분석시 어획되는 어종수를 4종으로 한정시킨 문제이다. 이러한 문제점들을 해결하고 더욱 정확한 평가를 하기 위해서는 어획되는 주요 어종에 대한 생태학적 특성치인 연령과 성장, 성숙과 산란, 가입연령, 사망률 등에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 한다고 생각된다.

요약

본 논문은 한국 근해 다종어업 자원의 평가모델에 대한 연구결과로서 대형기선저인망쌍끌이어업과 같은 단일어업에 의하여 다종자원을 이용하는 형태이다.

단일어구에 의한 다종자원의 평가모델은 단일어구에 어획되는 다종자원 중 어획량비율이 상위를 차지하는 어종을 선별한 후 각 어종에 대한 혼획율 및 자원생태학적 특성치를 추정하여 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 모델을 변형시킨 다종가입당생산량모델을 이용하는 것이다. 이 모델은 현재의 t_c 에서 다종에 대한 $F_{0.1}$ 에 해당하는 F 값을 구하여 각 어종별 가입당산란자원량 모델에 적용하였으며, 이때의 산란자원량 수준인 $F_{x\%}$ 를 추정하여 자원평가에 이용하였다.

참고문헌

- Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. In *Fishery investigations*, Series II, Marine Fisheries, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 19, 533pp.
- Kim, Y.M., Y.J. Kang, B.H. Park, D.W. Lee and J.H. Lee. 1989. Studies on the fishery biology of pomfrets, *Pampus* spp. in the Korean waters. 6. Stock assessment of Korean pomfret, *Pampus echinogaster*. J. Korean Fish. Soc., 22, 306~316 (in Korean).
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries. 2000. Studies on the TAC-based fisheries management system and quota allocations for jointly exploited fisheries resources under the EEZ regime, 542pp (in Korean).
- Park, C.S. 1999. Studies on the stock management of hairtail *Trichiurus lepturus* Linnaeus in Korean waters. Doctorial dissertation. Pukyong National University, 154pp (in Korean).
- Zhang, C.I., Y.M. Kim, S.J. Yoo, C.S. Park, S. Kim, C.K. Kim and S.B. Yoon. 1992a. Estimation of population ecological characteristics of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyctis* off Korea. J. Korean Fish. Soc., 25, 29~36 (in Korean).
- Zhang, C.I., Y.M. Kim, S.J. Yoo, C.K. Kim and S.M. Ahn. 1992b. A study on fluctuations in biomass of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyctis* off Korea. J. Korean Fish. Soc., 25, 37~44 (in Korean).
- Zhang, C.I., S. Kim and S.B. Yoon. 1992c. Stock assessment and management implications of small yellow croaker in Korean waters. J. Korean Fish. Soc., 25, 282~290 (in Korean).
- Zhang, C.I., C.I. Baik and S.I. Lee. 1999. A population ecological study of the white croaker, *Argyrosomus argentatus* HOUTTUYN in Korean waters. J. Korean Fish. Res. Soc., 2, 77~83 (in Korean).

2001년 4월 10일 접수

2001년 6월 20일 수리