ISSN 1225－827X (Print)
ISSN 2287－4623 (Online)
J Kor Soc Fish Technol, 51 (3), 448－453, 2015
http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.3.448

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr
〈Original Article〉

여수 연안의 숭어 (*Mugil cephalus*) 자원평가 및 진단

박희원[1] · 서영일[1*] · 김희용[2] · 장창익[3]
[1]국립수산과학원 자원관리과, [2]국립수산과학원 남서해연구소 자원환경과
[3]부경대학교 수산과학대학 해양생산시스템관리학부

Stock assessment and Diagnosis of Flatted grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal water of Yeosu

Hee Won PARK[1], Yong Il SEO[1*], Hee Yong KIM[2] and Chang Ik ZHANG[3]
[1]*Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-705, Korea*
[2]*Fisheries Resources and Environmental Division, Southwestern Sea Fisheries Research Institute, NFRDI*
[3]*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

This study was performed to estimate biomass and to provide management plan through population ecological characteristics, including survival rate, instantaneous coefficient of natural and fishing mortalities, and age at first capture of Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu. Survival rate (S) of the flathead grey mullet was 3.671. The instantaneous coefficients of natural mortality (M) and fishing mortality (F) was estimated to be 0.325 /year, 0.962 /year for flathead grey mullet. Also fist capure age of flathead grey mullet was 3.61year. The current biomass of the flathead grey mullet in the study area was estimated to be 19.6 M/T and $F_{0.1}$ and $F_{40\%}$ were estimated 0.340 /year, 0.225 /year. For the stock assessment result, flathead grey mullet was not overfished but overfishing.

Keywords: Flathead grey mullet, Ecological characteristics, Biomass, Yield per recruitment, Optimum fishing level

서 론

숭어 (Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*)는 숭어목 (Order Mugiliformes) 숭어과 (Family Mugilidae)에 속하는 어종으로 우리나라 전 연안과 일본, 중국, 세계의 온대 및 열대지역에 넓게 분포한다 (NFRDI, 2004). 숭어는 대표적인 강하성 어종으로 강과 강하구 및 연안역에 매우 광범위하게 분포하며, 성어는 주로 연안 해역에서 발견되나 종종 강하구에서 발견되기도 한다 (Allen et al., 2002). 숭어는 열대 및 아열대 지역의 0~10 m의 얕은 수심 지역에서 무리를 이루며, 주로 미세조류나 저서생물을 섭이한다 (Eschmeyer et al., 1983). 여름에는 연안 또는 내만에서 살다가 겨울에는 산란을 위하여 바다로 내려가는 것으로 알려져 있다 (Tung, 1981). 이러한 숭어의 이동적 특성에 따라 우리나라 연안에서는 주로 연안 자망, 각망 기타 정치성 구획어업등에 의해 남해 연안에서 주로 어획되어진다. 최

*Corresponding author: seoyi@korea.kr, Tel: 82-51-720-2296, Fax: 82-51-720-2277

근 20년간 남해안 숭어의 어획량을 살펴보면 1990년에 1,798 M/T을 기록한 이후 지속적으로 증가하는 추세를 보이다가 2005년 11,950 M/T을 기록한 후 차츰 감소세를 나타내고 있다.

숭어 (*Mugil cephalus*)에 관한 국내 자원생태학적 연구로는 숭어의 이동 분포에 관한 연구 (Kim et al., 2005), 난·자치어의 형태발달에 관한 연구 (Kim et al., 2000), 숭어의 분류에 관한 연구 (Lee and Joo, 1994)가 있으며, 최근에는 연령과 성장에 관한 연구 (Zhang et al., 2011)이 있다. 그러나 숭어 자원에 관한 자원평가 및 관리방안에 관한 연구는 국내 및 국제적으로 전무하다. 따라서 본 연구에서는 여수 연안 숭어의 연령과 성장에 이은 자원생태학적 특성치를 파악하고 이를 바탕으로 현재 숭어의 자원 상태를 평가하였으며, 자원상태에 적합한 적정어획강도를 제안하였다.

재료 및 방법

성장매개변수

숭어의 연령사정과 성장매개변수 추정은 2009-2010년 여수지역에서 각망어업에 의해 채집된 표본을 대상으로 하였으며, 성장매개변수인 이론적 최대체장 (L), 성장계수 (K), 체장이 0일 때 이론적 연령 (t_0)는 Zhang et al. (2011)의 결과를 사용 하였다 (Table 1).

Table 1. The von Bertalanffy growth parameters of the Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu (from Zhang et al., 2011)

Parameters	Estimated value
L_∞ (cm)	67.97
K (/year)	0.164
t_0 (year)	-0.81

순간전사망계수 (Z), 순간자연사망계수 (M) 및 순간어획사망계수 (F)

순간전사망계수는 2009-2010년 동안 각망어업에서 어획된 숭어의 체장조성자료와 Zhang et al. (2011)에 의한 von Bertalanffy (1938) 성장 매개변수 (Table 1)을 사용하여 Pauly의 어획물곡선법 (Pauly, 1984)으로 추정하였다. 숭어의 체장자료를 성장매개변수를 사용하여 연령을 변환하고, 완전 가입연령 이상에 해당하는 연령조성자료를 식 (1)에 대입시켜 순간전사망계수를 추정하였다.

$$(C/\triangle t) = c - Z(t + \triangle t/2) \quad (1)$$

여기서 t는 연령, C는 실제 어획개체수, $\triangle t$는 각 체장계급에 해당되는 연령간의 차이, c는 상수를 나타낸다. 생잔율은 순간전사망계수로부터 추정하였다.

순간자연사망계수는 Zhang and Megrey (2006)방법을 사용하여 추정하였다.

$$M = \frac{\beta K}{e^k(t_{mb} + t_0) - 1} \quad (2)$$

여기서, $t_{mb} = C_i \times t_{\max}$이고, C_i는 어종별 상관계수 (저어류 0.440, 부어류 0.302), $t_{\max}$는 최고연령, K는 von Bertalanffy 성장매개변수, t_0는 체장이 0일 때 이론적 연령, β는 체장-체중관계식의 상수를 나타낸다. 본 연구에서는 숭어의 최고연령을 16세로 간주하였고, 성장 매개변수는 Zhang et al. (2011)에 의해 추정된 값을 사용하였다. 순간어획사망계수는 순간전사망계수에서 자연사망계수를 뺀 값으로 추정하였다.

어획개시연령 (t_c)

본 연구에서 사용된 어획개시연령은 어획물의 체장조성과 von Bertalanffy 성장식을 이용하여 추정하는 Pauly (1984)방법을 사용하였다.

체급별 자원량 추정

체급별 자원량 추정법은 체급별 어획량과 이론적 최대체장 (L_∞), 순간자연사망계수와 성장률의 비 (M/K), 체급별 체중 (W) 및 최대 체장그룹의 어획비 (F/Z)를 사용하여 자원량을 추정하는 방법이다 (Zhang and Megrey, 2010). 숭어의 자원량을 추정하기 위해 식 (3)을 사용하였다.

$$B_1 = B_2 e^{\left(\frac{M}{K}\ln\left(\frac{L_\infty - l_1}{L_\infty - l_2}\right) - G_1\right)} + C_{1,2} e^{\left(\frac{M}{2K} ln\left(\frac{L_\infty - l_1}{L_\infty - l_2}\right) - \frac{G_1}{2}\right)} \quad (3)$$

여기서 l_1과 l_2는 한 체장구간의 하한과 상한이며, B_1과 B_2는 체장 l_1과 l_2에 대한 자원중량, $C_{1,2}$는 체

장 l_1과 l_2 구간에 대한 1년간 어획량, G_1은 체중 W_1에서 W_2까지의 체중증가율이다.

적정어획강도 및 적정어획개시연령

숭어의 최대 가입당 생산량을 산출하는 적정어획사망계수 및 적정어획개시연령을 구하기 위해 Beverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델을 사용하였다.

$$\frac{Y}{R}=F \cdot \exp-M(t_c-t_r)\, W_\infty \sum_{n=0}^{3} \frac{U_n \exp[-nK(t_c-t_o)]}{F+M+nK} \cdot (1-\exp[-(F+M+nK)(t_L-t_c)]) \quad (4)$$

여기서, $\frac{Y}{R}$은 가입당 생산량, W_∞, K, t_0는 von Bertalnaffy 성장식의 성장매개변수들이고, M은 순간자연사망계수, t_r은 어장가입연령, t_c는 50%어획개시연령, t_L은 최고연령이며, U_0=1, U_1=−3, U_2=3, U_3=−1이다.

$F_{40\%}$는 현재 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 (F=0)의 산란자원량을 기준으로 그 산란자원량의 40% 자원량을 유지시킬 수 있는 순간 어획사망계수이다. F=0일 때의 가입당 산란자원량 (SB/R)은

$$\left.\frac{SB}{R}\right|_{F=0} = \sum_{t=t_r}^{t_\lambda} m_t \cdot e^{-M(t_c-t_r)} \cdot e^{-M(t-t_c)} \cdot W_\infty (1-R^{-K(t-t_0)})^3 \quad (5)$$

여기서 SB는 산란자원량을 의미하며, 이식에서 사용된 연별 성숙비 (m_t)를 제외한 모든 값들은 식 (4)와 동일한 값을 사용하였다. 숭어의 $F_{40\%}$는 식 (5)을 통해 추정된 F=0일 때와 F=40%일때의 값을 통해 추정되었다.

$$\frac{SB/R\,|\,F=F_1|}{SB/R\,|\,F=F_0|}=x\% \quad (6)$$

자원진단

숭어 자원이 현재 남획중인지 과도어획중인지를 진단하기 위해 어획수준과 가입당 생산량을 사용하였다. 현재 숭어의 적정어획사망계수에 대한 어획사망계수의 비 (F/F_{OPT})와 최대 생산을 나타내는 가입당 생산량에 대한 현재 가입당 생산량의비 (YPR/YPR_{MSY})를 통해 자원을 진단하였다.

결 과

순간전사망계수 (Z) 및 생잔율 (S)

숭어의 순간전사망계수 (Z)는 2009년부터 2010년까지 전남 여수 인근 각망어업에 의한 어획물의 체장조성 평균치를 사용하여 어획물 곡선법 (Pauly,1984)에 의해 1.286 /year로 추정되었고, 이때 생잔율 (S)은 3.671로 추정되었다.

순간자연사망계수 (M), 순간어획사망계수 (F), 어획개시연령연령 (t_c)

숭어의 순간자연사망계수를 추정하기 위해 사용된 성장매개변수는 Table 1과 같다. 2009-2010년 여수 연안 각망에 의해 채집된 숭어의 체장-체중관계식의 상수 β은 3.0053이었으며, 최대 연령 t_{max}는 16세를 적용하였다. Zhang and Megrey (2006)방법으로 추정된 숭어의 순간자연사망계수는 0.324 /year이었고, 이때 순간어획사망계수는 순간전사망계수에서 순간 자연사망계수를 뺀 0.962 /year이다.

여수각망어업의 2009-2010년 체장자료와 von Bertalanffy 성장계수 (Table 1)를 적용하여 추정된 어획개시연령은 3.62세이었다

체급별 자원량 추정

여수 연안 숭어의 자원량을 추정하기 위해 체장별 평균 중량 (W_L), 체장별 성장률 (G_L), 각 체장구간별 개체수를 통하여 체장구간별 자원량 (B_L)을 추정하였다 (Table 2). 체장구간은 채집된 숭어의 가장 작은 11-12cm부터 가장 큰 52-53cm 구간까지로 설정하였으며 각 1cm 단위로 체장구간별 자원량을 추정하였다. 성장률 (G_L)은 성장계수에 대한 자연사망계수의 비 (M/K)로 추정하였다. 추정된 숭어의 자원량은 19.6 M/T이다.

적정어획강도 및 적정어획개시연령

숭어의 적정어획강도와 적정어획개시연령을 추정하기 위해 사용된 Berverton and Holt (1957)의 입력 값은 Table 3과 같다. 이론적인 최대체중 (W_∞)은 3,532.3 g,

Table 2. Mean weight, growth rate of length interval and number of individual and Biomass for the grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu

Length interval		WL	GL	NL	BL
11	12	14.69	0.26	1	12,406
12	13	19.08	0.24	0	61,554
13	14	24.28	0.22	3	105,723
14	15	30.33	0.21	3	145,595
15	16	37.32	0.19	4	181,751
16	17	45.31	0.18	2	214,684
17	18	54.36	0.17	3	244,808
18	19	64.55	0.16	3	272,477
19	20	75.94	0.15	2	297,988
20	21	88.60	0.15	3	321,600
21	22	102.59	0.14	10	343,530
22	23	117.98	0.13	10	363,969
23	24	134.84	0.13	5	383,081
24	25	153.24	0.12	2	401,009
25	26	173.24	0.12	3	417,878
26	27	194.92	0.11	1	433,799
27	28	218.33	0.11	1	448,869
28	29	243.54	0.11	2	463,175
29	30	270.63	0.10	4	476,795
30	31	299.65	0.10	11	489,798
31	32	330.69	0.10	1	502,249
32	33	363.79	0.09	2	514,206
33	34	399.04	0.09	7	525,721
34	35	436.50	0.09	9	536,843
35	36	476.23	0.08	10	547,620
36	37	518.30	0.08	20	558,095
37	38	562.79	0.08	23	568,309
38	39	609.75	0.08	31	578,303
39	40	659.25	0.08	23	588,116
40	41	711.37	0.07	39	597,788
41	42	766.17	0.07	31	607,358
42	43	823.72	0.07	48	616,867
43	44	884.08	0.07	43	626,357
44	45	947.32	0.07	55	635,874
45	46	1,013.51	0.07	47	645,465
46	47	1,082.71	0.06	25	655,185
47	48	1,155.00	0.06	23	665,092
48	49	1,230.44	0.06	10	675,256
49	50	1,309.10	0.06	11	685,755
50	51	1,391.04	0.06	2	696,682
51	52	1,476.34	0.06	5	708,149
52	53	1,565.06	0.06	8	772,438

순간자연사망계수 (M)는 0.324 /year, 어획개시연령 (t_c)은 3.62세이었다. 어장가입연령 (t_r)은 샘플된 개체 중 가장 작은 체장은 연령으로 환산하여 추정하였고, 이때 연령은 0.4세였다. 최고연령은 참고문헌을 통해 확인된 16세를 사용하였다.

Table 3. Input data used in Beverton and Holt model (1957) of Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu

Parameters	Values
W_∞	3,532.3 g
M	0.324 /year
t_c	3.62 year
t_r	0.4 year
t_{max}	16 year

순간어획사망계수에 따른 어획개시연령 (t_c)과 가입당 생산량과 (Y/R)의 관계는 Fig. 1과 같다. 여기서 실선으로 표시된 선은 현재 어획사망계수에 대한 어획개시연령 (t_c=3.62)의 가입당 생산량을 나타낸다. Fig. 1에 따르면 어획사망계수를 F=0.6의 수준으로 낮추어도 현재 어획사망계수 (F=0.962)과 유사한 가입당 생산량을 나타낸다.

숭어자원의 적정어획강도를 파악하기 위해 $F_{0.1}$, $F_{40\%}$를 추정하였다. 각각의 어획강도를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 추정된 숭어의 $F_{0.1}$은 0.340 /year이고 이때 가입당 생산량은 152.03 g이었으며, $F_{40\%}$는 0.225 /year이었고, 이때 가입당 생산량은 132.2 g으로 추정되었다.

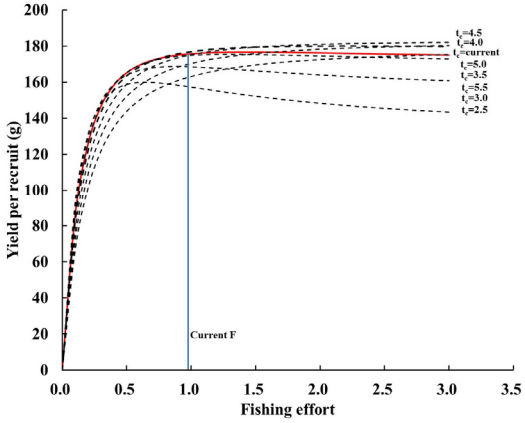

Fig. 1. Yield per recruitment (Y/R) against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F) of Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu.

자원진단

숭어의 적정어획사망계수에 대한 어획사망계수의 비 (F/F_{OPT})와 최대 생산을 나타내는 가입당 생산량에 대한 현재 가입당 생산량의비 (YPR/YPR_{MSY})를 통해 자원의 상태를 진단한 결과는 Fig. 2와 같다. 숭어자원 진단을 위해 사용된 적정어획사망계수는 $F_{0.1}$, $F_{40\%}$, F_{max}이었고, 각각의 어획사망계수에 대한 숭어자원의 진단 결과 숭어자원은 현재 과도어획되고 있지 않으나 남획의 위험에 노출되어 있다 (Fig. 2).

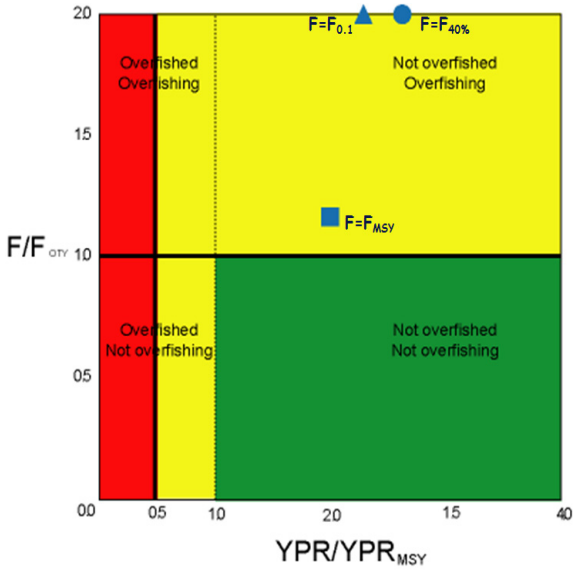

Fig. 2. Stock diagnosis of Flathead grey mullet, *Mugil cephalus*, in the coastal waters of Yeosu

고 찰

본 연구는 남해 여수 연안에서 어획되고 있는 숭어의 자원생태학적 특성치, 자원량 및 적정어획수준을 추정하고, 현재 숭어자원이 과도어획이나 남획 상태 여부를 파악하기 위해 수행되었다.

본 연구에서 추정된 숭어의 생잔율은 3.671로 나타났으며, 이를 통해 추정된 전사망계수는 1.286/year이었고, 순간자연사망계수는 0.325/year이었다. 순간자연사망계수는 Zhang and Megrey (2006)의 추정법을 사용하였다. 이 방법은 기존의 Alverson and Carney (1975)의 방법을 개선한 방법으로, 기존의 방법에 대상종의 체장-체중관계식을 통해 추정된 고유지수 (β)와 어종별 상관계수 (C_i)를 입력자료로 사용하여 어종별 특징이 잘 반영되었다.

숭어의 자원량은 체장조성자료를 사용하여 추정하였다. 체장기반 자원량 추정법은 기존의 연령조성법에 비해 연급군별 강도를 계산 할 수는 없지만, 연령사정으로 인한 오차 없이 자원량 추정이 가능하며, 자료 수집도 용이하다 (Zhang, 2010). 본 연구에서도 2009-2010년 수집된 숭어의 체장자료를 사용하여 체장구간별 평균중량, 성장률, 체장구간별 어획마리수를 통해 체장구간별 자원량을 추정하였고 이때 추정된 숭어의 자원량은 19.6 M/T 이었다.

숭어자원의 가입당 생산량 모델을 적용시킨 결과 현재 어획개시연령 (t_c=3.62), 어획사망계수 (F=0.962)의 가입당 생산량은 175.48 g로 나타났다. 여기서 어획개시연령을 고정시킨 후 가입생산량을 어획사망수준을 변화 시켜보았을 때 F=0.6의 수준에서부터 유사한 가입당 생산량 (170.03 g)을 나타내었다.

마지막으로 숭어자원의 상태를 진단하기 위해 기존의 다랑어 자원평가에서 많이 사용하고 있는 Kobe plot를 변형한 방법을 적용하였다. 본 연구에서는 숭어의 자원상태를 적정어획사망계수에 대한 현재어획사망계수의 비와 이에 따른 가입당 생산량과의 관계를 통해 판단하였다. 3가지 어획사망계수 ($F_{0.1}$, $F_{40\%}$, F_{max})를 통해 파악된 숭어자원의 상태는 과도어획되고 있지 않으나, 남획의 위험에 노출될 수 있는 수준이었다. 이는 현재와 동일한 상태로 어획이 계속되어 질 경우 숭어자원이 남획될 수 있음을 나타내었고, 최근 숭어의 연도별 어획량에서 보듯이 숭어의 어획량은 계속 증가하다 최근 감소하는 경향을 나타냄으로 숭어자원이 남획의 위험에 노출되어 있음을 알 수 있다. 따라서 숭어의 남획을 막기 위한 적절한 관리방안의 마련이 필요하며, 본 연구결과에서 제시된 바와 같이 어획수준을 낮추어도 가입당 생산량에는 크게 변화가 없으므로 어획수준을 낮추는 것을 권고한다.

결 론

본 연구에서는 한국 남해 여수 연안의 숭어자원의 자원생태학적 추정치 및 자원상태를 진단하였다. 추정된 생잔율은 3.671로 나타났으며, 이를 통해 추정된 전사망계수는 1.286/year이었고, 이때 순간자연사망계수는 0.325/year이었다. 숭어의 어획개시연령은 3.61세 이었

으며, 자원량은 19.6 M/T이었다. Berverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델을 사용하여 추정된 현재 어획강도 (F=0.751)에 대한 가입당 생산량은 175.48 g으로 추정되었고, 적정어획강도 $F_{0.1}$, $F_{40\%}$는 각각 0.340/year, 0.225/year이었다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업 (R2015026)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Allen GR, Midgley SH and Allen M. 2002. Field guide to the freshwater fishes of Australia. Western Australian Museum, Perth, Western Australia, 1-394.

Alverson DL and Carney MJ. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. J Cons Int Explor Mer 36(2), 133-143.

Bertalanffy L. von, 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws (Ⅱ)). Hum Biol 10(2), 181-213.

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, 1-533.

Eschmeyer WN, Herald ES and Hammann H. 1983. A field guide to Pacific coast fishes of North America. Houghton Mifflin Company, Boston, U.S.A, 1-336.

Kim JK, Kim YU and Byum SG. 2000. Egg and larval development of chelon lauvergnii from Korea. Korean J Ichthyol 12(2), 137-145.

Kim DS, Joo SC and Park JS. 2005. A study of the movement distribution of common grey mullet, *Mugil cephalus* in Funnel net fishing ground of the Yeosu coastal sea. Bull Korean Soc Fish Tech 41(1), 1-8.

Lee CL and Joo DS. 1994. Synopsis of Familiy Mugilidae (Perciformes) from Korea. Bull Korean Fish Soc 27(6), 814-824.

NFRDI. 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore water in Korea. 2nd ed. Hnagul Press, Busan, Korea, p78.

Pauly D. 1984 Length-converted catch data. A powerful tool for fisheries research in the Tropics (Part II). ICLARM fishbyte 2, 9-10.

Tung IH. 1981. On the fishery biology of the grey mullet, *Mugil cephalus* Linnaeus, in Taiwan. Rep Inst Fish Biol Minist Econ Aff Natl Taiwan Univ 3, 38-102.

Zhang CI. 2010. Fisheries Resource Ecology. Fisheries science series 1, Pukyong National University Press, Busan, Korea, 422-423.

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(3), 620-633. (doi: 10.1577/T04-173.1)

Zhang CI and Megrey BA. 2010. A simple biomass-based length-cohort analysis for estimating biomass and fishing mortality. rans Amer Fish Soc 139, 911-924. (doi: 10.1577/T09-041.1)

Zhang CI, Park HW and Kwon HC. 2011. Age and growth of the flathead grey mullet (*Mugil cephalus*) in the coastal water of Yeosu. J Kor Sco Fish Tech 47(3), 203-2013. (doi:10.3796/KSFT.2011.47.3.203)

2015. 8.09 Received
2015. 8.24 Revised
2015. 8.24 Accepted