

MULTIFAN-CL 모델을 이용한 남방참다랑어 *Thunnus maccoyii*의 자원 평가

권유정* · 문대연¹ · 장창익 · 고정락²
 부경대학교 해양생산관리학과, ¹국립수산과학원 해외자원팀
²국립수산과학원 자원회복사업단

Stock Assessment of the Southern Bluefin Tuna *Thunnus maccoyii* Using the MULTIFAN-CL Model

Youjung KWON*, Dae Yeon MOON¹, Chang Ik ZHANG and Jeong Rack KOH²
 Department of Marine Production Management, Pukyong National University,
 Namku, 608-737, Korea

¹Distant Water Fisheries Resources Team, National Fisheries Research and
 Development Institute, Gijang, Busan 619-705, Korea

²Fisheries Resources Restoration Development Management Center, National Fisheries Research
 and Development Institute, Gijang, Busan 619-705, Korea

We assessed the stock of the southern bluefin tuna (SBT, *Thunnus maccoyii*) by applying the MULTIFAN-CL model. The model is spatially disaggregated, with the population and fisheries stratified into a number of regions within the overall stock range. Catch, effort, length-frequency, and tagging data from 1965 to 2003 were stratified by three regions and four quarters (Jan-Mar, Apr-Jun, Jul-Sept and Oct-Dec). These data were used to estimate the instantaneous fishing mortality (F), biomass, spawning biomass, recruitment, and so on. The Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT) used only Japanese data and did not consider migration for the SBT stock assessment. By contrast, we used Japanese, Australian, New Zealand, Taiwanese, and Korean data, and considered migration. As a result, the estimated annual average F of all age classes was 0.073/yr and the F of age class 6-10 was the highest. The results also showed that the biomass and recruitment of SBT had declined significantly after 1965. Compared with the CCSBT results, the estimated spawning biomass in this study was lower and more uncertain. However, we will conduct a sensitivity analysis to get more accurate biological parameters and results. In addition, we need to use the bootstrap resampling method to quantify the uncertainty.

Key words: Southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*), MULTIFAN-CL model, Stock assessment, Indian Ocean

서 론

남방참다랑어 *Thunnus maccoyii*는 다랑어 어업의 중요한 수산자원으로 최근에는 인도양에서 전체 남방참다랑어 어획량의 절반이 넘는 73%가 어획되며, 태평양에서 21%, 대서양에서 6%가 어획된다 (ICCAT, 2006). 호주와 일본이 1952년에 남방참다랑어의 산란장에서 상업적 어업을 시작한 이후 어업 초기에는 일본의 연승어업에 의해 대부분 어획되었으나, 1970년대 중반부터 호주의 표층어업 (대부분이 선망)이 크게 발달하여 최근에는 연승어업과 비슷한 어획량을 나타내고 있다. 1952년부터 어획량이 꾸준히 증가하여 1961년 85,000톤의 최고 어획량 이후 감소하여 현재는 15,000톤 내외로 어획되고 있다 (CCSBT, 2005a). 지금까지 남방참다랑어를 대상으로 이루어지고 있는 자원평가는 1994년부터 남방참다랑어보존위원회 (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna, CCSBT)에서 운영모델 (operating model)를 사

용하여 행해지고 있으며, 자원평가 결과를 바탕으로 관리방안 (management procedure)에 의한 TAC 할당량 산정으로 지난 10년간 관리되고 있다. 그러나 산란자원량은 여전히 낮은 상태이며, 현재 자원관리로는 2020년까지 1980년의 산란자원량으로 회복시키겠다는 CCSBT의 관리목표가 달성되기 어려운 상태이다 (CCSBT, 2000). 이러한 문제점이 발생하게 된 원인들은 (1) 여러 국가 및 다양한 어업으로 어획되는 남방참다랑어 어업의 특성에도 불구하고, 일본 연승어업 자료만을 사용하기 때문에 도출되는 결과들은 불확실성을 내포하고 있다. (2) CCSBT내에서도 문제시 되고 있는 회유에 대한 공간적인 개념을 포함시키지 않아 파라미터 추정에 대한 불확실성을 더 높이고 있기 때문이다. 본 연구에서 사용된 MULTIFAN-CL 모델은 각 어종에 대한 생태학적 자료 및 파라미터 추정에 필요한 가정들을 설정할 수 있도록 구성되어 있기 때문에 다른 자원평가 방법에 비해 종에 대한 특성치를 잘 나타낼 수 있다. 더욱이 다랑어의 특성상 고려되어야 하는 회유에 대해서 유일하게 공간적 분포의 개념을 포함한

*Corresponding author: kwonyj@pknu.ac.kr

자원평가방법이다.

본 연구는 현재 남방참다랑어를 대상으로 어획하고 있는 어업의 어획상황 자료를 사용하고, 회유에 대한 공간적인 개념을 포함시켜 최근 다랑어류 자원평가에 널리 사용되고 있는 MULTIFAN-CL (Hampton and Fournier, 2001) 모델에 적용하여 보다 객관적이고 과학적인 남방참다랑어의 자원상태를 평가하였다.

자료 및 방법

CCSBT의 해역구분을 기본으로 하여 세 개의 해역으로 나누었다 (Fig. 1). 해역 1은 위도 35-50°S, 경도 40-160°E으로 남부 대서양, 남부 인도양 및 남부 태평양 해역으로 대부분의 연승 어업이 일어나는 해역이다. 해역 2는 위도 35-20°S, 경도 80-120°E를 포함하는 해역으로 호주의 표층어업 어장이다. 해역 3은 위도 20-10°S, 경도 100-140°E에 해당하는 인도네시아 자바섬의 남부 해역에 위치하는 곳으로서 남방참다랑어의 유일한 산란장으로 알려져 있는 곳이다 (Fournier et al., 1990). 본 연구에 사용된 자료는 1965년부터 2003년까지 해역별 어업 자료인 어획량과 노력량, 체장빈도자료 및 표지자료이며, 분기별로 나누어서 사용하였다 (1월-3월, 4월-6월, 7월-9월, 10월-12월). MULTIFAN-CL 모델은 비슷한 선택성과 어획능력을 갖는 어업의 단위를 정의해야 한다. 대부분의 원양어업의 경우와 같이 어구의 형태, 어법 그리고 해역에 의해 구분하였다 (Hampton, 2002). 남방참다랑어의 성어 (8세 이상) (Fournier et al., 1990)는 대부분 한국, 일본, 호주, 뉴질랜드, 대만의 연승 어업 자료를 사용하였으며, 해역에 따라 크게 3가지로 분류하였다. 한국, 일본, 호주, 뉴질랜드, 대만이 1해역, 일본이 2해역과 3해역으로 구분되었다. 어획량 및 노력량 자료는 CCSBT 웹사이트에서 얻었으며 (<http://www.org/docs/data.html>; CCSBT web-site), 이 자료는 위에서 어업과 해역별로 구분된 것을 분기별로 나누어 사용하였다. 노력량은 낚시바늘당 어획미수 (inds./

hook)를 단위로 사용하였다. 체장빈도 자료는 해역별 어업에서 채집된 개체의 자료 (CCSBT web-site)를 사용하는데 2 cm의 단위로 30-31 cm부터 272-273 cm까지의 체장범위 자료를 사용하였다. 표지자료 (CCSBT web-site)는 1990년 방류 후 2003년까지 채포된 2,162마리의 자료를 바탕으로 방류와 채포시의 체장을 분기별로 묶어서 사용하였다. 개체군역학모델은 Fournier et al. (1998)을 참고하였으며, 성장식은 von Bertalanffy 성장모델을 사용하여 모델의 성장 파라미터를 추정하였다. 여기서 von Bertalanffy 성장 파라미터를 추정하는 데는 이석으로 분석한 연령별 체장 자료 (Unpublished data provided by Jim Ianelli, NOAA)를 이용하여, 일반식은 다음의 식(1)과 같다.

$$l_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (1)$$

l_t : length at age t

L_{∞} : asymptotic average maximum body size

K : growth rate coefficient

t_0 : hypothetical age at which the species has zero length

순간자연사망률은 현재 CCSBT에서 사용되고 있는 값을 사용하였다 (Fig. 2). CCSBT에서 추정된 순간자연사망률은 1990년대의 표지자료를 바탕으로 추정된 값인, 1세에서 0.5/yr, 2-9세 사이의 순간자연사망률은 식(2)에 의해 계산되었으며 (IATTC, 2005), 10세 이후는 0.14/yr를 사용하였다 (CCSBT, 2006).

$$M_a = \begin{cases} M_1 = 0.5 \\ M_{2-9} = M_1 + (M_{10} - M_1) \frac{a^{0.7}}{10^{0.7}} \\ M_{10} = 0.14 \end{cases} \quad (2)$$

여기서, M_1 및 M_{10} 은 각각 1세와 10세의 순간자연사망률이다.

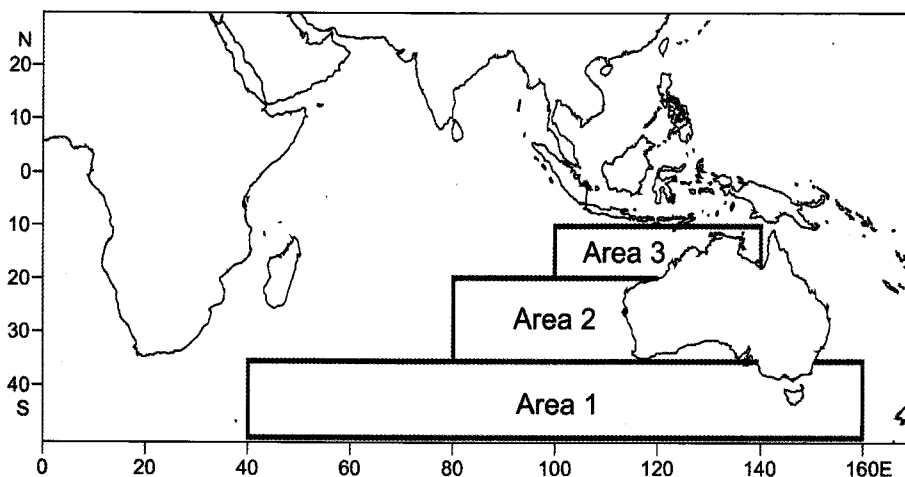


Fig. 1. Designated regions for the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* included in this study (modified from Butterworth et al., 2003).

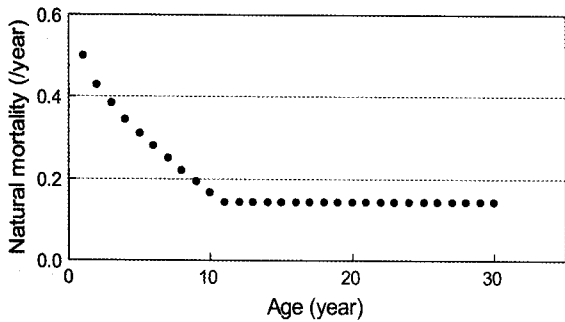


Fig. 2. Instantaneous natural mortality rate by age of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated by the MULTIFAN-CL.

결 과

입력자료의 검증

추정된 어획량은 결정계수 0.995 ($P < 0.0001$)로 관측된 어획량 자료와 매우 유사한 경향을 나타냈다 (Fig. 3). 1965년부터 2003년까지 각 해역별 평균 어획량은 해역 1에서 374,261마리, 해역 2에서 1,236마리, 해역 3에서 225마리로 해역 1에서 가장 많이 어획되었다. 해역 1은 1965년에 어획이 시작되면서, 1969년 802,000마리를 기점으로 지속적인 감소추세를 보이고 있다. 1984년부터는 어획량이 평균어획량보다 낮은 어획량을 보이고 있으며, 현재는 100,000마리 내외의 어획량을 나타냈다. 해역 2는 1970년 10,870마리를 최고치를 나타낸 이후 1,000마리 내외로 급속한 감소추세를 보였다. 1974년, 1980년 및 1995년에 3,000마리 내외의 높은 어획량을 나타냈으나 평균 1,236마리의 어획량을 기록했다. 해역 3은 1970년 1,200마리

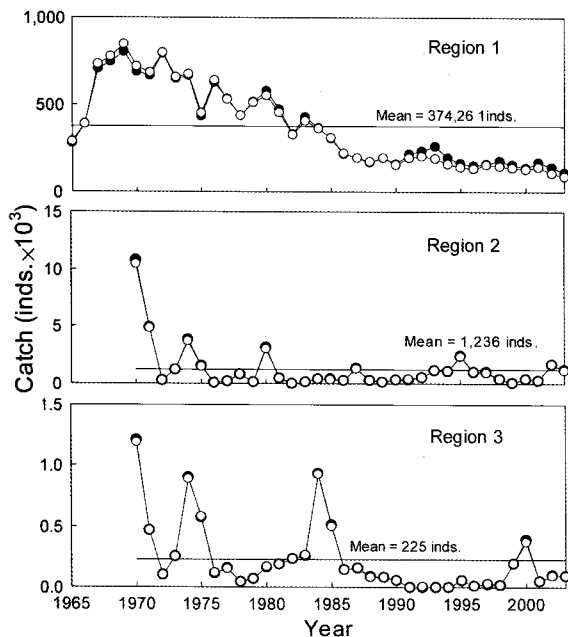


Fig. 3. Regional variations in the observed (dark circles) and the predicted (open circles) catches of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*.

의 어획량을 최고치를 나타낸 후 감소추세를 보이고 있다. 1974년과 1984년에 잠시 900마리 이상의 어획량을 보였으나, 전반적으로 200마리 내외를 어획하였다. 전체 해역을 보면 1970년을 기점으로 뚜렷한 감소추세를 나타내고 있다. 체장빈도 자료 역시 모델에서 추정된 값은 관측된 값과 비슷한 형태를 나타냈다 (Fig. 4). 해역 1의 경우 관측치에서는 체장 60-210 cm까지 어획이 되며, 체장 150 cm에서 가장 많이 어획되었다. 추정치에서는 체장 30-200 cm까지의 분포에서 어획되며, 체장 180 cm 내외의 개체가 가장 많이 어획되는 것으로 추정되었다. 해역 2는 관측치에서는 체장 50-230 cm까지의 범위에서 어획되었으며, 체장 90-110 cm와 150 cm의 체장의 개체에서 대부분 어획되었다. 추정치에서는 체장 30-200 cm까지의 분포에서 어획되었으며, 체장 110 cm와 180 cm 내외에서 대부분 어획되었다. 해역 3의 관측치는 체장 60-230 cm까지의 어획분포를 보이고 있으며, 특히 150-180 cm의 체장분포에서 많이 어획되고 있다. 추정치에서는 체장 30-200 cm까지의 분포에서 어획되었다. 전체 해역에서는 전반적으로 어획되는 체장은 60-200 cm 사이의 체장을 가진 개체이며, 체장 150 cm 내외에서도 주로 어획되었다. 표지의 추정된 값은 어획량 및 체장빈도 결과와는 다르게 관측된 값과 좋은 적합성을 보이지 않았다 (Fig. 5). 관측치를 보면 1990년부터 방류되어 1997년까지 338마리로 재포된 개체수가 꾸준히 증가하였으나 이후 100여마리로 감소하였다. 처음 4개년은 결정계수가 0.988 ($P < 0.05$)로 높은 적합성을 보였으나, 그 이후에는 0.878 ($P < 0.05$)로 처음 4개년보다는 낮은 적합성을 나타냈다.

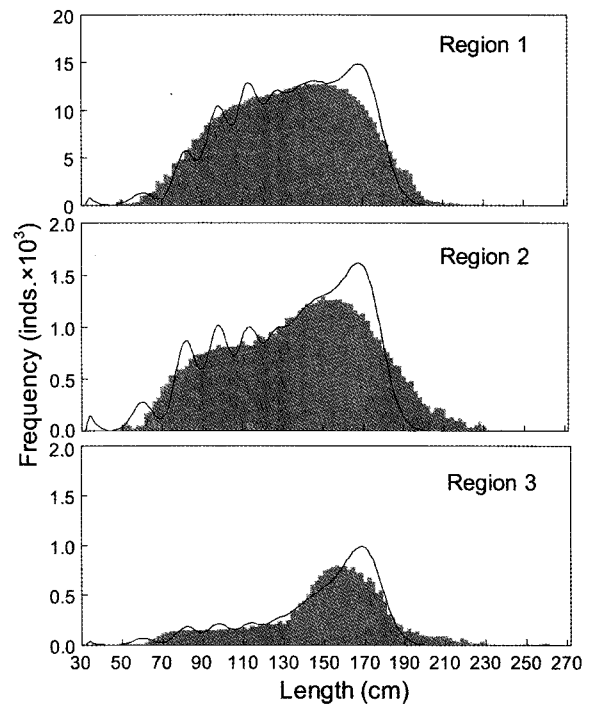


Fig. 4. Size frequency distribution (histograms) and predicted (line) length-frequencies of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* by the regions.

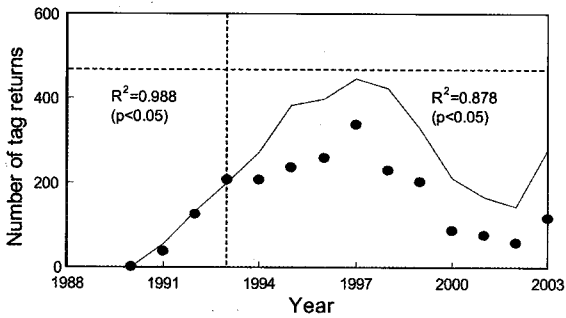


Fig. 5. Observed (dots) and predicted (line) tag returns from the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* by time period.

파라미터 추정

von Bertalanffy 성장식에 의해 연령별 평균체장에 대한 남방참다랑어의 식(3)과 같이 성장식이 추정되었다 (Fig. 6). Fig. 6에서 보여 지는 점들은 1994년부터 2003년까지 이석분석을 통해 추정된 연령별 체장빈도를 나타내고 있으며 점들과 매우 유사한 형태의 곡선을 나타내고 있다.

$$l_t = 185.39(1 - e^{-0.169(t+1.448)}) \quad (3)$$

여기서, 성장계수 K는 0.169/yr, 체장이 0일 때 이론적 연령 t_0 는 -1.448세, 이론적 최대체장 L_∞ 는 185.39 cm로 추정되었다. 연령별 어획사망률은 그림 7과 같이 추정되었다. 1965년부터 2003년까지 1-5세의 어획사망률의 연평균은 0.056/yr로 전체 연령의 어획사망률의 연평균인 0.073/yr보다 낮은 값을 나타냈으나, 1971년부터 1986년까지는 높은 값을 나타냈다 (Fig. 7a). 추정된 1-6세의 어획사망률의 연평균은 0.100/yr로 전체 연령의 연평균보다 높은 값을 나타냈다 (Fig. 7b). 또한, 1965년부터 1998년까지 대부분의 해에서 전체 연령별 어획사망률보다 높은 값을 나타냈으나 1999년 이후 감소하는 것으로 추정되었다. 11-40세의 어획사망률의 연평균인 0.072/yr은 전 연령별 어획사망률의 연평균과 비슷한 값을 나타냈으며, 연간 변동의 크기도 크지 않았다 (Fig. 7c). 추정된 연령별 어획사망률을 볼 때, 1985년까지는 전반적으로 모든 연령에서 증가하는 추세를 나타냈으며, 이후 감소하여 2003년에는 1965년의 어획사망률보다 낮은 값으로 추정되었다.

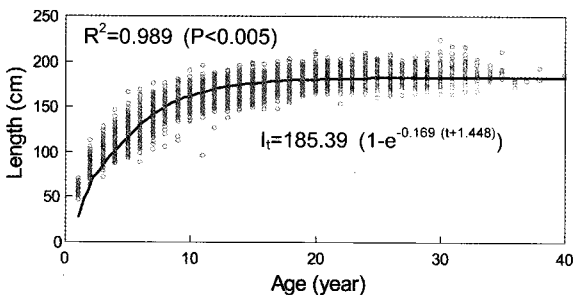


Fig. 6. Fitted von Bertalanffy growth curve (line) of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on the observed length (circles) by age class from 1994 to 2003.

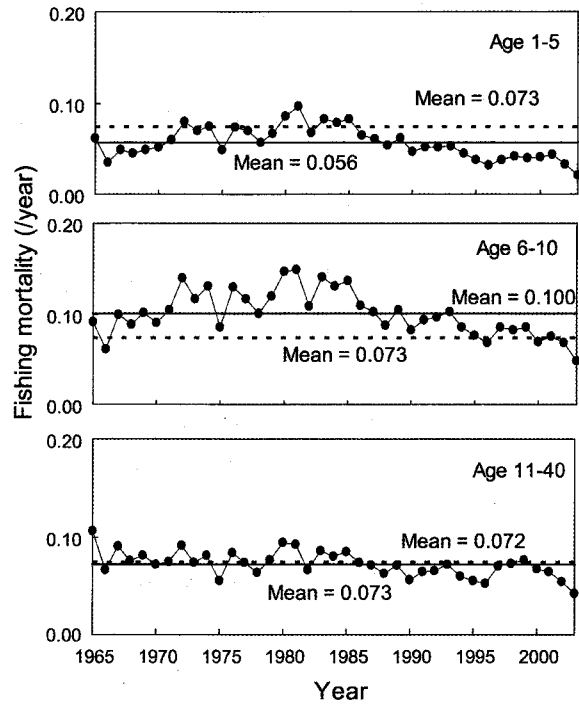


Fig. 7. Estimated instantaneous fishing mortality rate by age groups of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* from 1965 to 2003. Solid line: mean age=1-5 years; mean age=6-10 years; mean age=11-40 years. Broken line: mean age=1-40 years.

자원평가 결과

1965년부터 2003년까지 연도별로 추정된 남방참다랑어의 산란자원량은 1971년 22만톤으로 가장 높은 산란자원량을 나타낸 이후 지속적인 감소추세를 보였으며, 최근 2003년에는 5만 3천톤으로 1971년 22만톤과 비교할 때, 1/4로 줄어든 상태로 추정되었다 (Fig. 8). 연도별로 추정된 산란자원량과 연승어업에서의 어획량과의 비를 보면, 1970년대 초반까지는 30% 이하의 어획량을 나타냈으나, 이후 지속적으로 증가하여, 2000년에는 전체 산란자원량의 80%를 어획하는 경향을 나타냈으며, 1965년부터 2003년까지 평균 44%의 산란자원량을 어획하는 것으로 나타났다 (Fig. 9). 1965년부터 2003

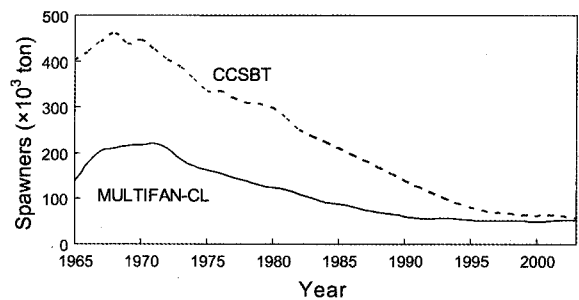


Fig. 8. Spawning stock biomass of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* from 1965 to 2003 estimated by the management procedure of CCSBT (CCSBT, 2005b) and by the MULTIFAN-CL.

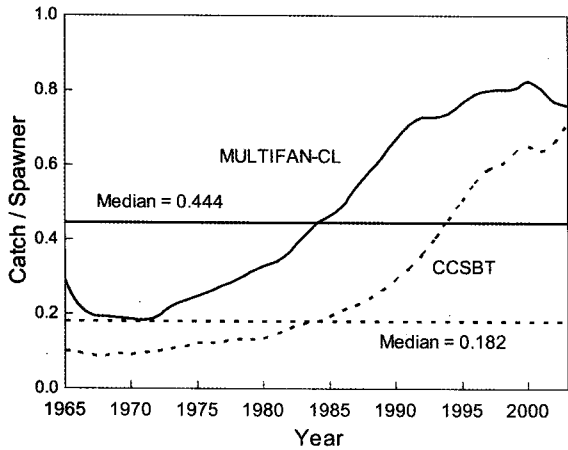


Fig. 9. Catch per spawning biomass of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated by the management procedure (CCSBT, 2005b) and by the MULTIFAN-CL.

년까지 산란자원량과 연승어업에 의한 어획량의 관계를 보면, 1970년대 중반부터 산란자원량당 연승어업에 의한 어획량이 증가함으로 인해 전체 산란자원량이 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 10b). 총자원량은 1970년에 34만톤의 최고치를 나타낸 후, 급격히 감소하여 최근 2003년에는 8만 5천톤으로 급감했다 (Fig. 11). 1965년부터 2003년까지 추정된 연도별 가입량은 1965년에 5,300톤으로 최고치를 보인 이후 지속적인 감소추세를 나타냈다 (Fig. 12). 1968년과 1969년 사이에는 1,000톤 이상의 가입량이 급감하였으며, 최근 2003년에는

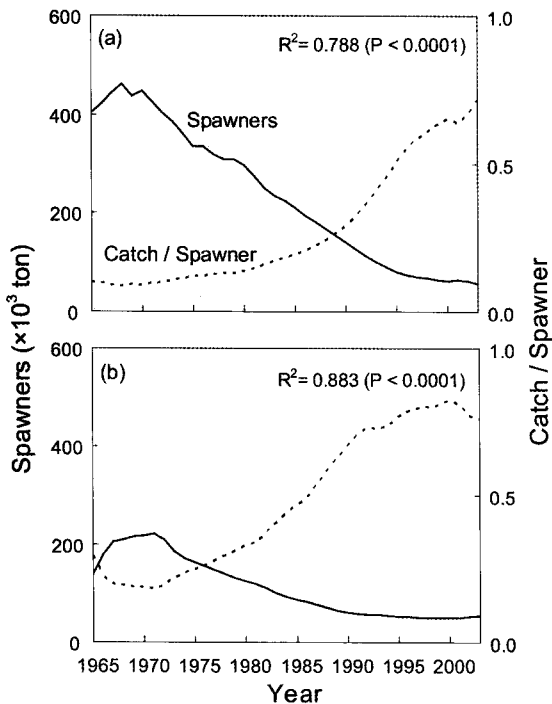


Fig. 10. Relationships between estimated spawning biomass and catch of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* from 1965 to 2003 by CCSBT (a) by MULTIFAN-CL (b).

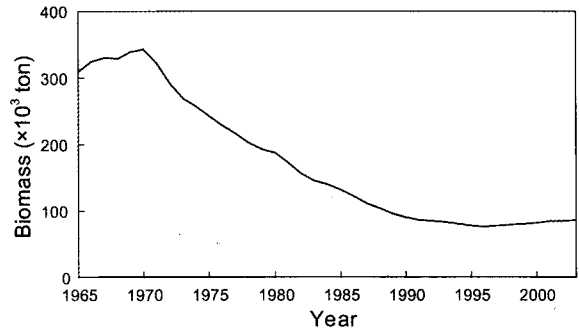


Fig. 11. Biomass of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated by MULTIFAN-CL from 1965 to 2003.

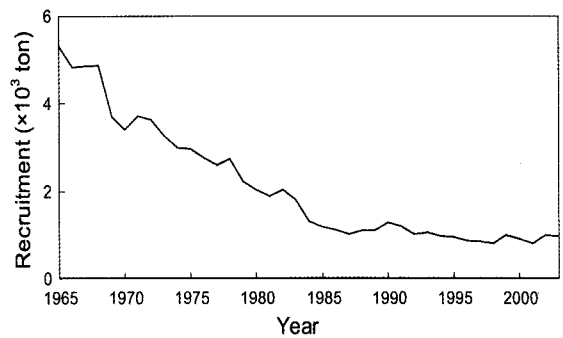


Fig. 12. Recruitment levels of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated MULTIFAN-CL from 1965 to 2003.

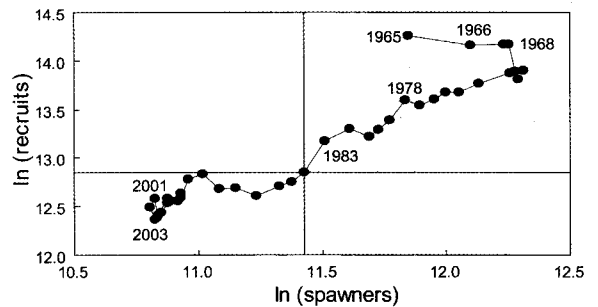


Fig. 13. Spawning biomass and recruitment relationship of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*.

1,000톤 내외의 낮은 가입량을 나타냈다. 남방참다랑어의 산란자원량과 가입량간의 관계에서 산란자원량과 가입량의 중앙값을 기준으로 비교했을 때, 1967년부터 1980년도 중반까지는 상대적으로 높은 산란자원량 및 가입량을 나타냈으나, 지속적으로 감소하여 1980년대 중반부터는 상대적으로 낮은 산란자원량 및 가입량을 나타냈다 (Fig. 13). 1965년부터 2003년까지 추정된 연도별 산란자원량과 최대지속적생산량 (MSY) 시의 산란자원량을 비교 (SB/SB_{MSY})에서 추정된 산란자원량은 MSY시의 산란자원량보다 크게 낮은 상태이며, 평균 0.3 내외의 범위에 있다 (Fig. 14a). 1971년과 1997년에 약간의 증가추세를 보였으나, 최근까지도 그 값은 매우 낮은 상태이다. 연도별 총자원량과 MSY시의 총자원량의 비교 (B/B_{MSY}) 역시

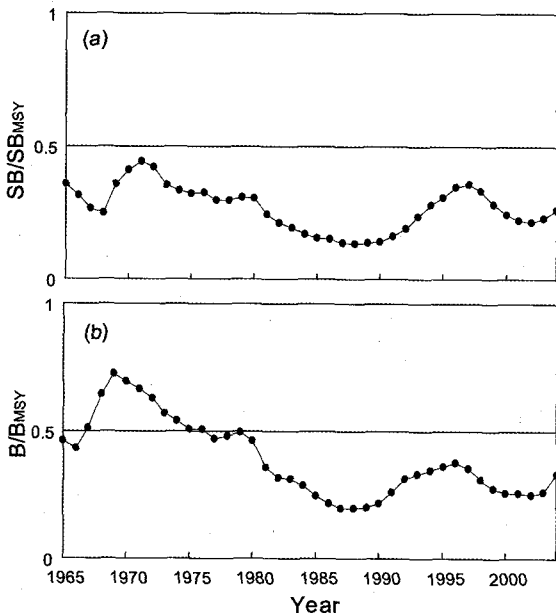


Fig. 14. Ratios of SB/SB_{MSY} (a), B/B_{MSY} (b) of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated by MULTIFAN-CL from 1965 to 2003.

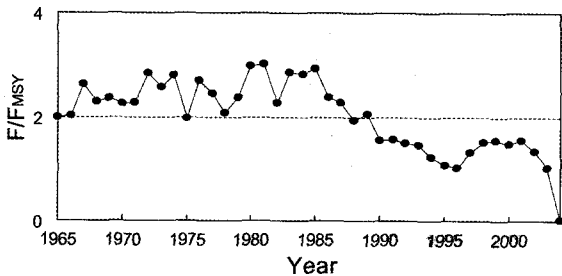


Fig. 15. Ratios of F/F_{MSY} of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* estimated by MULTIFAN-CL from 1965 to 2003.

총자원량이 MSY시의 총자원량보다 매우 낮은 상태였다 (Fig. 14b). 1969년에 0.72로 최고치를 보였으나 이후 지속적으로 감소였다. 1990년대 중반에 0.5로 약간 증가하였으나, 최근에는 다시 감소하였다. 어획사망률과 MSY시의 어획사망률의 비교 (F/F_{MSY})에서는 1보다 높은 값들이 나타났다 (Fig. 15). 1980년대 중반까지 지속적으로 평균 2.0 이상의 값을 나타냈으며, 1985년에 2.9를 기점으로 감소 추세를 나타냈다. 1995년도에는 어획사망률과 MSY시의 어획사망률이 거의 비슷하게 나타났으나 1990년대 중반에 잠시 증가였다가 최근에는 감소하여 거의 같은 값인 1을 보였다.

고 찰

관측 어획량 및 체장빈도 결과와 모델에서 추정된 결과들은 비교적 매우 유사한 형태로 추정되었으며, 이는 사용된 모델의 신뢰성이 높다는 것을 의미한다. 그러나 본 연구의 결과, 표지 결과의 경우 앞의 두 자료에 비해 적합성이 떨어졌는데

이 현상은 표지 입력자료의 절반정도가 표층어업의 자료로 되어 있으나, 본 연구에서는 표층어업의 체장빈도 자료의 불충분으로 이를 분석에 포함시키지 못해서 나타난 것으로 보인다. 이석을 이용하여 추정된 성장식에서 Fournier et al. (1990)는 우도함수를 이용하여 추정된 성장계수의 값과 크게 차이가 나지 않았다. 본 연구에서는 이론적 최대체장 L_{∞} 가 185.39 cm, 성장계수 K가 0.169/yr로 추정이 되었으며, Fournier et al. (1990)는 L_{∞} 는 188.2 cm, K는 0.167/yr로 추정이 되어 성장계수는 크게 변하지 않았다. 어획사망률의 경우 1-5세에서는 1981년에 0.097/yr, 6-10세에는 1981년에 0.149/yr, 11세 이후에서는 1965년에 0.107/yr에서 가장 높은 값을 보였다. 남방참다랑어의 어획 초기에서는 대부분 연승어업으로 큰 개체들이 어획되었으나, 성어 자원의 감소와 어린개체를 대상으로 한 호주 표층어업의 발전으로 인하여 1970년대부터는 10세미만의 어린 개체들의 어획사망률이 높게 나타났고 특히 5-10세에서의 어획사망률이 높게 나타났다. 이는 남방참다랑어의 성숙연령이 10세 전후 인 것을 고려한다면 남방참다랑어의 자원량 감소의 원인이 성숙개체를 과도어획 함으로써 산란자원량이 감소하여 재생산이 원활히 이루어지지 않았기 때문이라고 추정한다. 1952년부터 시작된 남방참다랑어의 어업이 1961년에 85,000톤의 최고 어획량을 기록한 이후 1980년대 중반까지 40,000톤 내외의 꾸준한 어획을 보인 이후 감소추세를 나타냈다. 1952년부터 1960년대 초반까지는 자료의 부족으로 인하여 1965년부터 자원량과 MSY시의 자원량을 비교 (B/B_{MSY}) 하였으며, 비교가 시작된 시점에서부터 자원의 감소가 뚜렷이 나타났다. 현재 CCSBT에서는 산란자원량 회복을 목표로 하고 있기 때문에 산란자원량 추정치만을 보고하고 있으므로 본 연구에서는 이것만을 비교하였다. 전반적인 증감의 변동은 상관계수가 0.972 (P<0.001)로서 유사한 형태를 나타냈으나, 산란자원량의 절대값에 있어서는 차이를 보였다. CCSBT에 의해 추정된 1968년의 산란자원량의 경우 1968년에 45만톤이 최고치로 되었으나 (CCSBT, 2005b) 본 연구는 1971년 22만톤을 최고치로 추정하였으며, 남방참다랑어의 전체 해역이 아닌 태평양을 제외한 인도양 및 대서양의 해역을 대상으로 산란자원량을 추정하였기 때문에 당연히 차이가 있을 수 있다. 어획량이 산란자원량에 비례한다고 가정한다면, 태평양의 어획량이 전체 어획량의 약 20%를 차지하고 있으므로 CCSBT의 산란자원량 추정치는 약 14만톤의 차이가 났다. CCSBT에서 사용되는 입력자료는 단지 일본 연승어업의 어획자료만을 사용하였으며 1970년대 중반부터 늘어난 호주 표층어업 및 기타 국가들의 어업 자료를 사용하지 않고 추정되었으므로 CCSBT의 추정치는 상당한 오차가 내포되었을 가능성이 있다. 또한, 산란자원량과 연승어업에 의한 어획량과 비교 해 볼 때, 1980년대 중반까지는 산란자원량의 20%밖에 어획을 하지 않았는데도 산란자원량이 2배로 급감하는 경향을 나타냈다. 본 연구에서 추정된 산란자원량과 연승어업의 어획량과 비교를 볼 때, 1970년대 중반부터 증가하는 어획량과 감소

하는 산란자원량과의 관계는 유사한 형태를 나타내고 있다. CCSBT의 값과 본 연구에서 추정된 값과 비교 해 볼 때, CCSBT의 산란자원량이 과대 추정된 것으로 보여지며 그로 인해 남방참다랑어의 자원관리를 10여년간 하고 있는데도 자원량은 여전히 감소추세에 있다. 그러나 산란자원량 추정치 차이의 원인에 대한 연구는 앞으로 계속되어야 할 것으로 보인다. 본 연구에서 사용된 MULTIFAN-CL 모델의 경우에도 체장빈도 자료를 기반으로 하기 때문에 개체별로 어획되는 연승어업과는 달리 무리씩 어획하는 선망과 같은 표층어업에서의 체장빈도 자료는 그 수가 극히 작으며, 신뢰성이 떨어지므로 사용되지 않았다. 남방참다랑어의 경우, 70% 정도가 연승에서 어획이 이루어지나, 그 외에도 표층어업 및 손낚시, 자망으로 어획되고 있으며 특히 표층어업의 어획비율이 과거에 비해 증가되고 있는 상태이다. 따라서 표층어업에도 옹서비의 승선비율을 높임으로써 더욱 과학적인 양질의 자료수집 시스템을 구축할 필요가 있다. 또한 남방참다랑어의 어획은 CCSBT의 회원국만 아니라 비회원국(특히 인도네시아)에서도 상당량 어획되는 것으로 추정되기 때문에 자원상태 평가를 위하여 비회원국들의 어획량에 대한 불확실성을 감소시켜야 할 것이다. 다랑어 위원회는 해역별로 나뉘어져 있지만, 여러 개의 산란장을 가지고 있기 때문에 같은 종이라고 해도 단일 계군으로 보기는 어렵다. MULTIFAN-CL 모델에서는 이 종들을 단일계군이라 가정을 하여 자원평가를 하기 때문에 어느 정도의 불확실성을 내포하고 있다. 그러나 남방참다랑어의 경우 인도네시아의 자바섬의 남부해역에 하나의 산란장을 가지고 있기 때문에 단일 계군으로 보며 (Polacheck, 1999), 이 종에 대해 MULTIFAN-CL 모델을 이용한 자원평가는 앞의 가정에 대한 불확실성이 크게 낮아지기 때문에 적합하다. 그러나 MULTIFAN-CL 모델과 같은 연령구조 모델은 입력되는 파라미터들이 연령에 따라 일정하다고 가정되는 VPA와 달리 연령에 따라 파라미터들을 추정하기 때문에 좀 더 정확한 생태학적 입력 파라미터 값들을 요하게 된다. 만약 입력 파라미터 값이 잘못 추정되었을 경우, 도출되는 결과 역시 잘못 추정되므로, 파라미터 추정에 신중을 기해야 하는 단점이 있다.

앞으로의 연구에서는 MULTIFAN-CL 모델에 사용되는 자연사망률, 성장계수 및 성숙율 등과 같은 생태학적 특성치에 대한 정확성을 얻고자 민감도 분석과 같은 분석을 실시하고자 하며, bootstrap과 같은 resampling 방법으로 불확실성을 정량화 할 예정이다. 또한, 현재 증가되고 있는 표층어업에 대한 자료를 수집하여 도출되는 결과에 정확성을 높이고자 한다. 또한, CCSBT의 자원평가에서는 환경적인 요소를 고려하고 있지 못하고 있으나 (IATTC, 2005), 서식수온 및 여러 환경적인 요소 때문에 크게 회유하는 다랑어의 특성을 고려한다면, 향후 연구에서 이를 고려해야 할 것이다.

참 고 문 헌

Butterworth, D.S., J.N. Ianelli and R. Hilborn. 2003. A

- statistical model for stock assessment of southern bluefin tuna with temporal changes in selectivity. *Afr. J. Mar. Sci.*, 25, 331-361.
- CCSBT (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna). 2000. Report of the Special Meeting, Canberra, Australia
- CCSBT (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna). 2005a. Report of the Tenth Meeting of the Scientific Committee, Narita, Japan.
- CCSBT (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna). 2005b. Report of the Sixth Meeting of the Stock Assessment Group, Taipei, Taiwan.
- CCSBT (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna). 2006. Report of the Seventh Meeting of the Stock Assessment Group, Tokyo, Japan
- CCSBT (Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna) web-site, <http://www.ccsbt.org/docs/data.html>.
- Fournier, D.A., J.R. Sibert, J. Majkowski and J. Hampton. 1990. MULTIFAN a likelihood-based for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 301-317.
- Fournier, D.A., J. Hampton and J.R. Sibert. 1998. MULTIFAN-CL: a length-based age-structured population model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore (*Thunnus alalunga*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 2105-2116.
- IATTC (Inter-American Tropical Tuna Commission). 2005. Introduction of a statistical age-structured model used for southern bluefin tuna in CCSBT, CA, USA.
- ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas). 2006. Report for biennial period, 2004-05 Part II English version SCRS. 2, 120-127.
- Hampton, J. and D.A. Fournier. 2001. A spatially disaggregated, length-based, age-structured population model of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western and central Pacific Ocean. *Mar. Freshwater Res.*, 52, 937-963.
- Hampton, J. 2002. Stock assessment of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean. 15th Standing Committee on Tuna and Billfish Working Paper SKJ-1.
- Polacheck, T., N.L. Klaer, C. Millar and A.L. Preece. 1999. An initial evaluation of management strategies for the southern bluefin tuna fishery. *ICES J. Mar. Sci.*, 56, 811-826.

2006년 5월 3일 접수

2007년 11월 20일 수리