

우리나라 다랑어연승어업에 의한 인도양해역 눈다랑어(*Thunnus obesus*) 및 황다랑어(*Thunnus albacares*)의 CPUE 표준화

권유정 · 안두해¹ · 이재봉^{2*} · 장창익 · 문대연¹

부경대학교 대학원 수산물리학과

¹국립수산과학원 해외자원과, ²국립수산과학원 자원연구과

Standardization of CPUE for bigeye(*Thunnus obesus*) and yellowfin(*Thunnus albacares*) tunas by the Korean longline fishery in the Indian Ocean

Youjung KWON, Doo Hae AN¹, Jae Bong LEE^{2*}, Chang Ik ZHANG and Dae Yeon MOON¹

Department of Fisheries Physics, Graduate School, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

*¹Distant Water Fisheries Resources Division, National Fisheries Research and
Development Institute, Busan, 619-902, Korea*

*²Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research and Development Institute,
Busan, 619-902, Korea*

This study standardized catch per unit effort(CPUE) of the Korean longline fishery, which has been used to assess the status of stock as an index of abundance, for bigeye and yellowfin tunas in the Indian Ocean. The Generalized Linear Model(GLM) was used to analyze the fishery data, which were catch in number and effort data collected each month from 1971 to 2007 by 5 × 5 degree of latitude and longitude. Explanatory variables for the GLM analysis were year, month, fishing area, number of hooks between floats(HBF), and environment factors. The HBF was divided into three classes while the area was divided into eight sub-areas. Although sea surface temperature(SST) and southern oscillation index(SOI) were considered as environmental factors, only SST was used to build a model based on statistical significance. Standardized CPUE for yellowfin tuna showed a declining trend, while nominal CPUE for the species showed an increasing trend.

*Corresponding author: leejb@nfrdi.re.kr, Tel: 82-51-720-2296, Fax: 82-51-720-2277

Key words : Bigeye tuna *Thunnus obesus*, Yellowfin tuna *Thunnus albacares*, Standardized CPUE, Generalized Linear Model, Indian Ocean

서론

다랑어류는 경골어강(Class Osteichthyes) 농어목(Order Perciformes) 고등어과(Family Scombridae)에 속하는 어류로, 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어, 가다랑어 및 참다랑어 등이 있다. 이들은 모두 고도회유성 어종으로 외양성이며, 각 대양별로 하나 혹은 두개의 계통군으로 구성되어 있다(FAO, 1997). 특히, 눈다랑어(*T. obesus*)는 전 대양의 온대 및 열대해역에 광범위하게 분포하고, 대양의 표층 근처 또는 중층 수역(수심 0 - 250m)에서 생활한다(FAO, 2003). 10°N - 10°S 사이 동부태평양에서는 연중 산란을 하나 북반구에서는 4 - 9월, 남반구에서는 1 - 3월이 주 산란기이다. 황다랑어(*T. albacares*)는 전 대양의 열대 및 아열대 해역에 걸쳐 광범위하게 분포하며, 주로 표층에서부터 수온약층을 경계로 그 주위에서 서식한다(FAO, 2003). 눈다랑어와 황다랑어는 전 대양에 분포하기 때문에 각 서식해역에 따라 관리하는 위원회가 각각 다르며, 인도양에서는 인도양다랑어위원회(Indian Ocean Tuna Commission, IOTC)에서 관리하고 있다.

인도양해역에서 눈다랑어와 황다랑어는 1950년대 초부터 어획되기 시작하였으며 최근에는 전 세계 38개국이 어획하여 50만톤의 어획량 수준을 보이고 있는데(FAO, 2007), 이중 우리나라를 비롯한 6개국이 총어획량의 52%를 차지하고 있다. Fig. 1(a)는 인도양 해역에서의 눈다랑어 및 황다랑어 어획량 상위 6개국에 대한 어획량 변동을 보여주고 있다. 1980년대 초반까지는 10만톤 이하의 어획량 수준을 보이고 있다. 어업 초반부터 1960년대 중반까지는 대부분 일본이 어획하였으며, 점차 우리나라, 대만, 인도네시아 등의 국가에서도 어획에 참여하였다. 1980년 중

반부터 인도네시아, 프랑스, 스페인의 어획 참여로 인도양해역에서 눈다랑어와 황다랑어의 어획량이 증가하여 최근에는 30만톤 정도가 어획되고 있다.

인도양해역에서의 우리나라 다랑어연승어업은 1960년대 중반부터 시작되어 1970년대 중반부터 1980년대 초반까지는 총어획량의 절반 이상을 우리나라가 차지하였다. 우리나라 다랑어연승어업의 어획량은 조업시작 이후 꾸준히 증가하다가, 1977년 6만 5천톤을 기점으로 감소하여 1998년 이후부터는 1만톤 내외의 낮은 어획량을 나타내고 있다. Fig. 1(b)와 같이 우리나라 다랑어연승어업에 의한 주어획대상종은 눈다랑어와 황다랑어이며, 이외에도 날개다랑어, 남방참다랑어, 가다랑어 등이 부수적으로 어획되고 있다.

국제수산기구에서 다랑어 자원을 대상으로

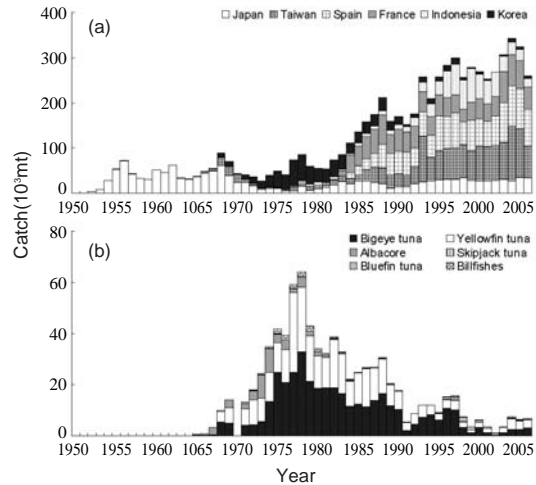


Fig. 1. Annual catches of bigeye and yellowfin tunas by country (a) and of Korean longline fishery by species (b) in the Indian Ocean(FAO, 2007).

수행되는 자원평가의 대부분은 풍도지수를 사용한 개체군역학모델에 의해 자원상태가 평가되고 있으며(Polacheck et al., 1993), 풍도지수는 단위노력당어획량(catch per unit effort, CPUE)이 널리 사용되고 있다(Maunder, 2001). 하지만, CPUE는 개체군의 풍도뿐만 아니라 외부요소들(계절 어장, 환경요소, 선박크기, 경제적 요소 등)에 의해 변동될 수 있기 때문에 수산자원의 풍도를 진단할 때는 이러한 외부요소들의 영향을 제거하여 표준화된 어획노력량을 이용해야 한다(Hilborn and Walters, 1992; Maunder and Starr, 1995; Hinton and Nakano, 1996). 보다 정확한 다랑어의 자원상태를 평가하기 위해서는 CPUE를 표준화하여 개체군역학모델을 사용해야 한다(Hinton and Nakano, 1996).

지금까지 우리나라 다랑어연승어업에 의해 어획되는 인도양해역 눈다랑어와 황다랑어의 어획자료가 포함된 자원평가는 지금까지 수행된 바가 없으며, IOTC에서는 일본 및 대만의 어획자료를 사용한 눈다랑어 및 황다랑어 자원평가 결과를 채택해 오고 있다. 이에 1970년대 초반부터 수집된 본 해역의 어장환경 및 우리나라 다랑어연승어업의 어획자료를 활용하여 향후 수행될 다랑어 자원평가를 위한 기반연구의 일환으로 CPUE의 표준화 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 인도양해역의 우리나라 다랑어연승어업에서 어획되는 눈다랑어 및 황다랑어의 시공간적 변동을 살펴보고, 계절성, 어장환경, 어구 등의 외부요소들이 미친 영향에 대하여 CPUE를 표준화하였다. 마지막으로 표준화된 CPUE를 통해 눈다랑어와 황다랑어간의 어획관련성을 비교하였다.

자료 및 방법

인도양해역에서의 우리나라 다랑어연승 어획자료는 국립수산과학원에서 1971 - 2007년 간 출어선 선장들로부터 수집한 조업일지에 기재된 어획관련 자료를 위·경도별 5°×5° 단위로 나

누어 정리하였다. 대상해역은 인도양다랑어위원회(IOTC)의 관리해역인 51번과 57번 해구를 7개의 소해역으로 나누었던 Okamoto and Shono(2006)의 해구 구분을 근간으로 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 7번 소해역을 추가하여 전체 8개의 소해역으로 구분하였다. CPUE 표준화에 사용된 어획관련 자료는 눈다랑어 및 황다랑어의 어획미수, 노력량(낚시수), 뜰과 뜰간의 낚시바늘수(number of hooks between floats, HBF) 및 환경인자들을 사용하였다. 여기서 HBF는 낚시바늘수에 따라 9개 이하, 10에서 15개, 16개 이상으로 크게 3개의 그룹으로 나누었으며, 환경인자는 남방진동계수(southern oscillation index, SOI)와 어획시점의 표층수온 자료(SST)를 사용했다.

눈다랑어와 황다랑어의 연승어업 CPUE에 영향을 미치는 인자를 구명하기 위해 일반선형모델(Generalized Linear Model, GLM)을 설정하고, 인자 선택은 분산분석법(analysis of variance, ANOVA)을 통해 전진소거법 및 후진소거법을 사용하였으며, 통계분석은 SAS(version 9.1 for Windows)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE 자료는 곱의 오차구조(multiplicative error structure)를 형성하고 편향된 확률분포를 가져(Quinn and Deriso, 1999)

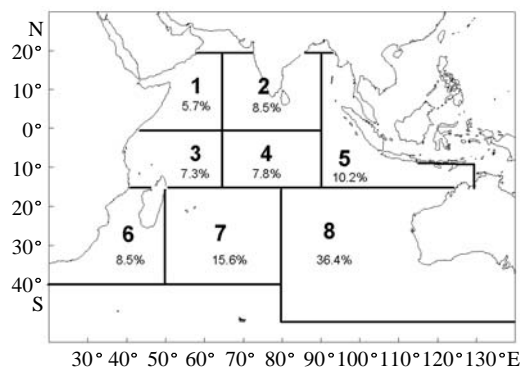


Fig. 2. Regional structure for standardizing CPUE in the Indian Ocean (Numbers of percent indicate the relative proportions of sub-area) (modified from Okamoto and Shono, 2006).

대수정규분포(log-normal distribution)를 가정하고 대수변환하였다.

일반선형모델(GLM; Nelder and Wedderburn, 1972)은 CPUE와 관련된 많은 인자들 중에서 영향을 미치는 인자들을 분리시키는데 가장 보편적으로 사용되는 방법이다(Maunders and Punt, 2004). 일반선형모델의 일반식은 식(1)과 같으며, 종속변수의 기대값은 각 독립변수들의 선형 관계를 가정한다(Guisan et al., 2002).

$$g(\mu_i) = X_i^T \beta \quad (1)$$

여기서 g 는 미분함수이고, $\mu_i = E(Y_i)$ 는 연결함수, X_i 는 종속변수 i 번째 값에 대한 독립변수들의 벡터, β 는 추정 가능한 파라미터의 벡터, Y_i 는 i 번째 반응변수이다. 식(1)으로부터 연승어업에 의한 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE 표준화에 적용된 일반선형모델은 식(2)와 같다. 본 연구에서는 인도양다랑어위원회(IOTC)가 일본 및 대만의 CPUE 표준화 분석에 사용한 인자들 중에서 현재 우리나라 다랑어연승 어획자료에서 이용 가능 자료인 시기, 해역, 어구특성, 표층수온 등이 인자로서 고려되었다(Okamoto et al., 2007; Liu et al., 2007; Wang et al., 2006). 종속변수인 CPUE의 분산을 줄이기 위한 대수변환시 어획이 없을 때(CPUE=0)를 고려하여 CPUE에 상수($c=0.1$)를 더하였다(Maunders and Punt, 2004). 모든 독립변수들은 더미변수(dummy variable)에 의해 일반선형모델에서 범주화되어 분석되었으며, 환경변수인 표층수온 및 남방진동계수는 연속변수로 분석되었다.

$$\log(U_{ijkl} + c) = \mu + Y_i + M_j + A_k + H_l + E + (\text{interaction}) \quad (2)$$

여기서 U_{ijkl} 는 낚시바늘 1,000개당 어획미수, c 는 상수, μ 는 절편, Y_i 는 i 년도에 의해 CPUE가 받은 영향, M_j 는 j 달에 CPUE가 받은 영향, A_k 는 k 해역에서 CPUE가 받은 영향, H_l 은 HBF로부터 CPUE가 받은 영향, E 는 환경요인에 의해 CPUE

가 받은 영향을 나타낸다. 또한, CPUE의 연도(Y_i)에 대한 영향은 연간 풍도를 반영하기 때문에 필수 인자로 포함하여(Maunders and Punt, 2004), 단일 인자들과 더불어 각 모델 내에서 주요 요소들 사이의 상호작용(interaction)이 고려되었다. 환경인자(E)는 어획시점의 표층수온 및 남방진동계수를 입력하였으나, 남방진동계수는 분석과정에서 통계학적으로 유의하지 않아 소거하고 본 연구에서는 표층수온(T) 자료만을 선택하였다.

본 연구의 일반선형모델의 기본식인 식(2)에서 소거법에 의해 적합화된 식은 식(3)과 식(4)와 같으며, 식(3)은 눈다랑어, 식(4)는 황다랑어의 CPUE 표준화를 위해 적용된 식이다.

$$\begin{aligned} \log(U_{ijkl} + c) = & \mu + Y_i + M_j + A_k + H_l + T \\ & + (Y \times A) + (A \times H) + (M \times H) + (M \times T) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \log(U_{ijkl} + c) = & \mu + Y_i + M_j + A_k + H_l + T \\ & + (Y \times A) + (Y \times T) + (M \times A) \\ & + (A \times H) + (T \times H) \end{aligned} \quad (4)$$

식(3)과 식(4)에서 추정된 $Y \times A$ 에 대한 최소제곱평균치(least square mean, LSM)를 사용하여 식(5)와 같이 Shono and Ogura(1999)에서 사용한 방법으로 표준화된 연간 CPUE를 계산하였다.

$$U_i = \sum W_k \cdot (e^{LSM(Y_i, A_k)} - c) \quad (5)$$

여기서 U_i 는 i 연도에 대해 표준화된 CPUE, W_k 는 k 소해역의 상대적 크기로, 대상해역(Fig. 2)에 대한 면적의 총합계는 1이다($\sum W_k = 1$).

결 과

1971년부터 2007년까지 인도양해역에서 우리나라 연승어업에 의한 눈다랑어의 연간 어획미수는 Fig. 3과 같은데 1978년에 최고를 나타낸 이후 80년대 중반과 90년대 중반에 다소 증가하

였으나 전반적으로 감소추세를 보였고, CPUE 역시 어획 동향과 유사한 경향을 나타냈다($r=0.524, P=0.001$). 각 소해역별 어획변동을 살펴보면 소해역 1부터 5에 이르는 북부 및 중부 인도양해역에서 대부분 어획되었다. 1970년대 후

반에는 소해역 1과 3에서 높은 어획량을 보였으나, 이후 감소하여 1990년대 후반부터는 대부분의 소해역에서 어획미수가 크게 감소하였다. 소해역별 CPUE 변동은 소해역 7($r=0.038, P>0.1$)을 제외한 대부분의 소해역에서 어획미수와 유

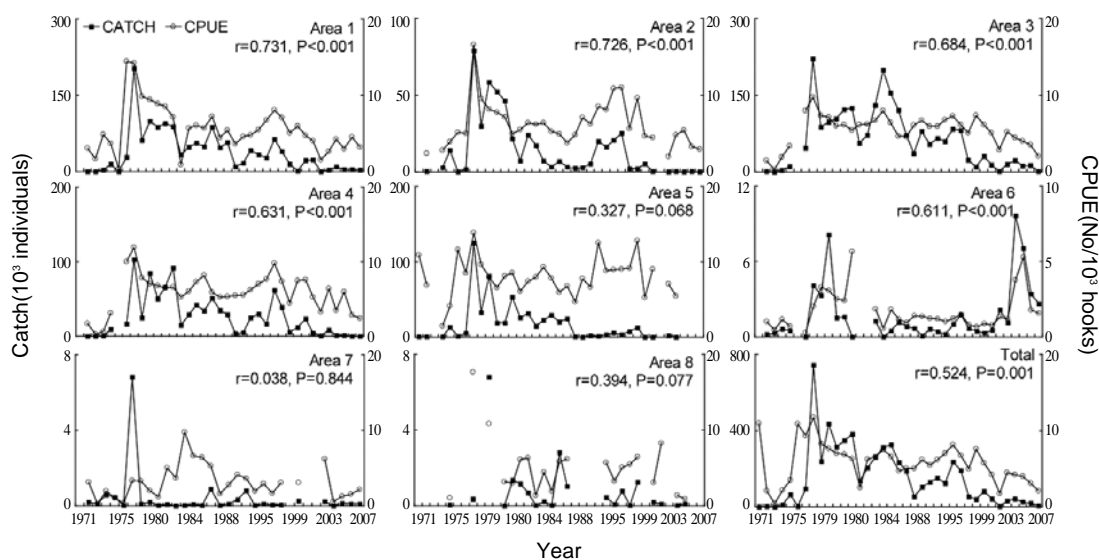


Fig. 3. Time series of annual catch and CPUE of bigeye tuna by sub-area in the Indian Ocean.

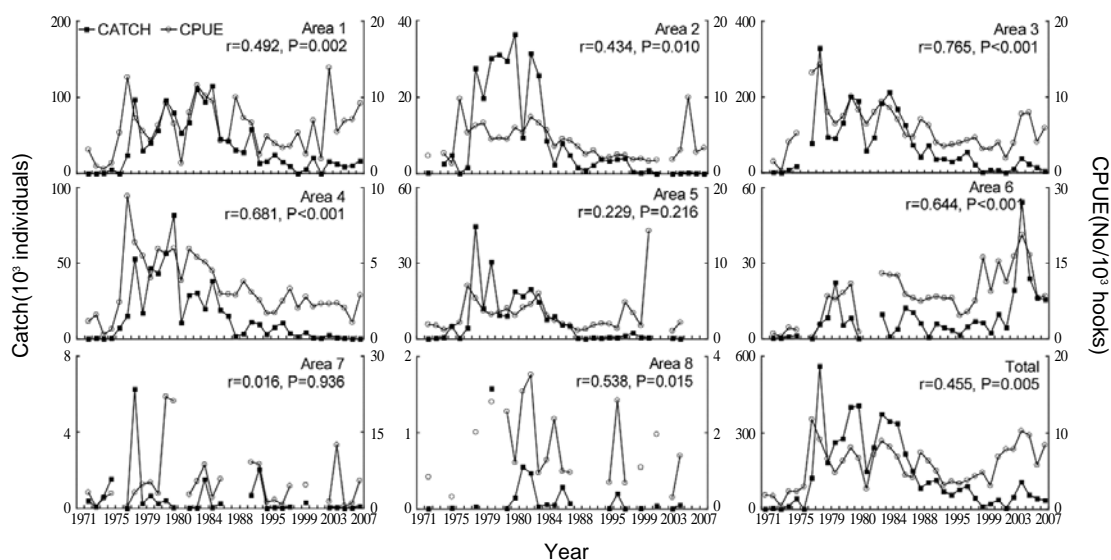


Fig. 4. Time series of annual catch and CPUE of yellowfin tuna by sub-area in the Indian Ocean.

사한 경향을 나타냈다.

황다랑어의 어획미수 변동은 Fig. 4와 같은데, 연간 어획미수가 1978년에 최고어획을 나타낸 이후 지속적인 감소 추세를 나타내어 눈다랑어의 어획상황과 유사하였다. 황다랑어의 CPUE는 1980년대 후반까지는 어획변동과 유사한 경향을 나타냈으나 이후 증가하여 어획과는 반대의 경향을 나타냈다($r=0.455$, $P=0.005$). 각 소해역별 어획은 소해역 1과 3에서 높았으며 상대적으로 소해역 6부터 8까지에 이르는 남부 인도양해역에서는 거의 어획이 이루어지지 않았다. 특히 황다랑어 어획이 최고를 보인 1978년에는 전체 어획의 약 60%가 소해역 3에서 어획되었다. CPUE의 소해역별 변동은 상대적으로 높은 어획량을 보이는 북부 및 중부 인도양해역의 경우 어획변동과 유사한 경향을 보였으나 어획이 낮은 남부 해역에서는 다소 차이를 보였다.

1971-2007년까지 전체적인 눈다랑어와 황다랑어의 어획은 대부분 북·중부 인도양해역을 중심으로 어획되고 있었으나, 1980년대 후반부터는 어획이 급감하면서 어장의 위치도 중서부

인도양해역으로 이동하였다. 또한 Fig. 5는 각 소해역별 눈다랑어와 황다랑어에 대한 어획변동을 나타냈는데, 누적 어획량은 소해역 3이 높은 수준을 나타냈었고, CPUE는 상대적으로 어획이 적은 소해역 5와 6에서 각각 가장 높았다. 하지만, 소해역별 어획미수와 CPUE의 증감경향은 유사성이 결여되었다(눈다랑어 $r=0.381$, $P=0.352$; 황다랑어 $r=0.451$, $P=0.282$).

Table 1은 일반선형모델에 의한 1971년부터 2007년까지 눈다랑어와 황다랑어의 연도, 해역, 어구, 환경인자에 대한 ANOVA 결과이다. 각 인자들의 자유도에 의해 세부적으로 나뉘는 값들의 차이는 Type III의 제곱합의 결과 값을 통해 살펴보았는데, 연도, 개월, 해역, 어구, 수온에 따른 결과 값들은 눈다랑어와 황다랑어 모두 통계학적으로 유의하게 나왔다. 특히 두 어종 모두 해역의 영향이 CPUE에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 인자들의 상호작용에 대한 영향에서 눈다랑어는 $Y \times A$, $A \times H$, $M \times H$, $M \times T$ 에서만 유의한 결과가 나왔으며, 황다랑어는 $Y \times A$, $Y \times T$, $M \times A$, $A \times H$, $T \times H$ 에서 유의한 결과가 나왔다. 두 어종의 CPUE 관측치와 추정치에 대한 표준잔차는 Fig. 6과 같이 모두 정규분포를 따르는 것으로 나타났으므로 이 분석결과가 타당한 것으로 판단되었다.

Fig. 7에서는 두 어종의 표준화된(STD) CPUE가 표준화되기 전(nominal)과 비교해서 전체적인 증감경향이 유사한 것으로 나타났다. 특히, 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE는 표준화 전과 후에서 공통적으로 1970년대 초반에는 음의 값을 보인 후 1970년대 중·후반부터는 양의 값으로 전환되어 1980년대 중반까지 지속되었다. 하지만, 1980년대 후반 이후에는 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE 아노말리는 서로 반대의 경향을 보였다. 다시 말해, 눈다랑어 CPUE 아노말리는 1980년대 후반-1990년대 후반까지 양의 값을 보인 후 2000년대 이후 음의 값으로 전환되었던 반면, 황다랑어는 동일한 기간동안 음의 값을 보

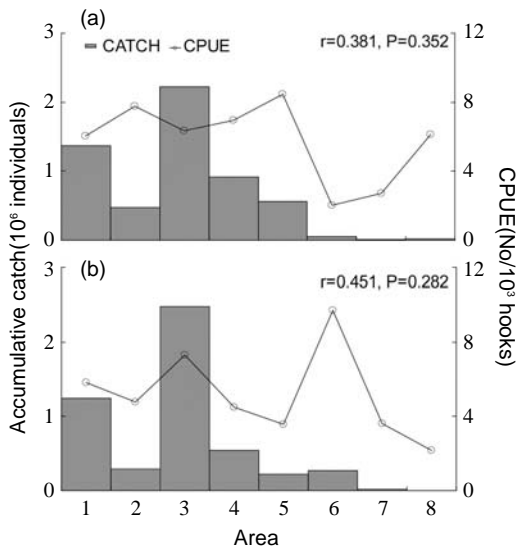


Fig. 5. The correlation between accumulative catch and CPUE of (a) bigeye and (b) yellowfin tunas by sub-area in the Indian Ocean.

인 후 전환되어 최근에는 양의 값을 띠는 경향이 두드러졌다.

눈다랑어의 CPUE는 Fig. 7(a)와 같이 표준화 전과 후에서 모두 1978년 이후 유사한 감소하는 경향을 보였다($r=0.407$, $P=0.001$). 또한, 표준화된 CPUE는 표준화 이전에 비해 변동성(CV)이 다소 증가하여 유의한 분산 차이를 보였으며($F=2.38$, $P < 0.01$), 평균값은 유의한 감소를 나타냈다($t=4.49$, $P < 0.001$). 눈다랑어의 CPUE 평균값에 대한 아노말리는 표준화 전후의 CPUE에서 모두 1970년대 후반-1980년대 후반까지

와 1990년대 중반에서 양의 값을 나타냈으며, 최근 2000년대에 들어서는 음의 값으로 전환되는 경향을 보였다. 황다랑어의 CPUE는 Fig. 7(b)와 같이 표준화 전과 후에서 변동경향이 유사했으며($r=0.463$, $P=0.004$), 전반적인 변동은 감소 후 증가경향을 나타냈다. 표준화된 CPUE는 표준화 이전에 비해 변동성(CV)이 크게 증가하여 유의한 분산 차이를 보였으며($F=1.93$, $P < 0.05$), 평균값은 유의하게 감소하였다($t=4.86$, $P < 0.001$). 황다랑어의 CPUE 아노말리는 1970년대 후반-1980년대 후반까지는 눈다랑어에서와

Table 1. Results of ANOVA for standardizing CPUE

(a) Bigeye tuna

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 315 | 957.59 | 3.04 | 9.55 | <.0001 |
| Error | 1,580 | 502.76 | 0.32 | | |
| Corrected Total | 1,895 | 1,460.34 | | | |
| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
| Y | 36 | 212.30 | 5.90 | 18.53 | <.0001 |
| M | 11 | 13.42 | 1.22 | 3.83 | <.0001 |
| A | 7 | 72.40 | 10.34 | 32.50 | <.0001 |
| H | 2 | 2.19 | 1.10 | 3.45 | 0.032 |
| T | 1 | 2.69 | 2.69 | 8.46 | 0.004 |
| Y × A | 211 | 183.48 | 0.87 | 2.73 | <.0001 |
| A × H | 14 | 7.61 | 0.54 | 1.71 | 0.048 |
| M × H | 22 | 12.53 | 0.57 | 1.79 | 0.014 |
| M × T | 11 | 14.03 | 1.28 | 4.01 | <.0001 |

(b) Yellowfin tuna

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 395 | 999.97 | 2.53 | 6.96 | <.0001 |
| Error | 1,476 | 537.25 | 0.36 | | |
| Corrected Total | 1,871 | 1,537.22 | | | |
| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
| Y | 36 | 30.76 | 0.85 | 2.35 | <.0001 |
| M | 11 | 25.65 | 2.33 | 6.41 | <.0001 |
| A | 7 | 58.69 | 8.38 | 23.04 | <.0001 |
| H | 2 | 3.57 | 1.78 | 4.90 | 0.008 |
| T | 1 | 1.41 | 1.41 | 3.88 | 0.049 |
| Y × A | 209 | 206.64 | 0.99 | 2.72 | <.0001 |
| Y × T | 36 | 28.61 | 0.79 | 2.18 | <.0001 |
| M × A | 77 | 103.10 | 1.34 | 3.68 | <.0001 |
| A × H | 14 | 11.02 | 0.79 | 2.16 | 0.007 |
| T × H | 2 | 3.35 | 1.68 | 4.61 | 0.010 |

where, Y: year, M: month, A: sub-area, H: number of hooks between floats,

T: sea surface temperature, DF: degree of freedom

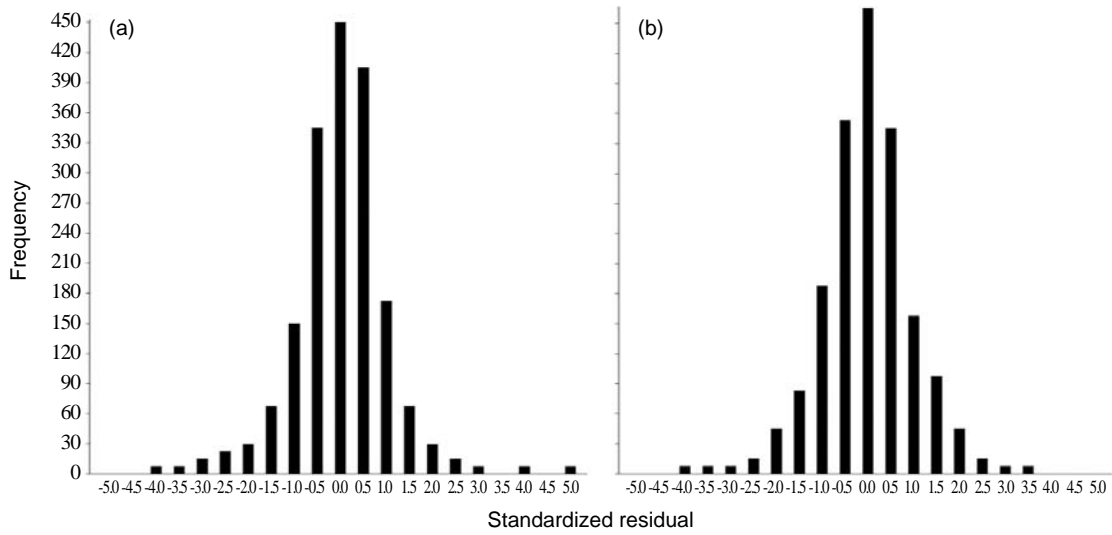


Fig. 6. Histogram of residuals in GLM. (a) Bigeye tuna, (b) Yellowfin tuna.

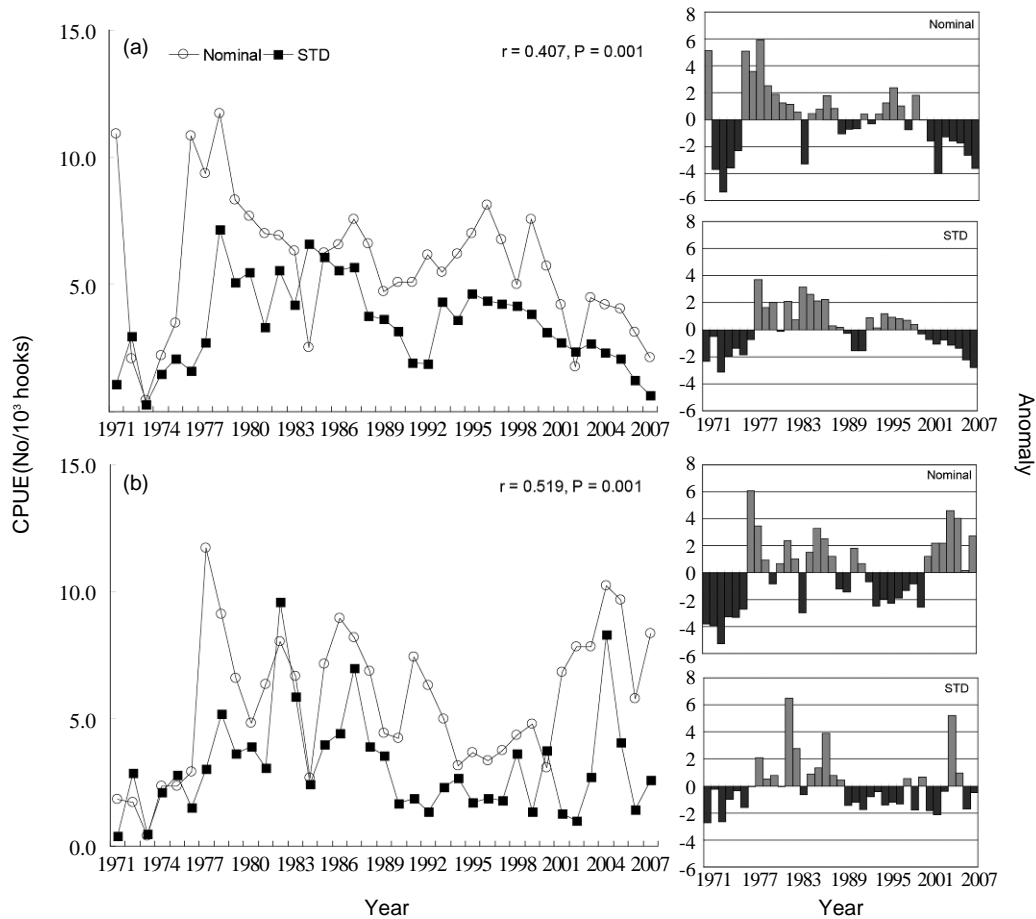


Fig. 7. Time series of nominal and standardized CPUEs (left panel) and their anomalies (right panel) for (a) bigeye and (b) yellowfin tunas in the Indian Ocean. STD indicates standardized CPUE.

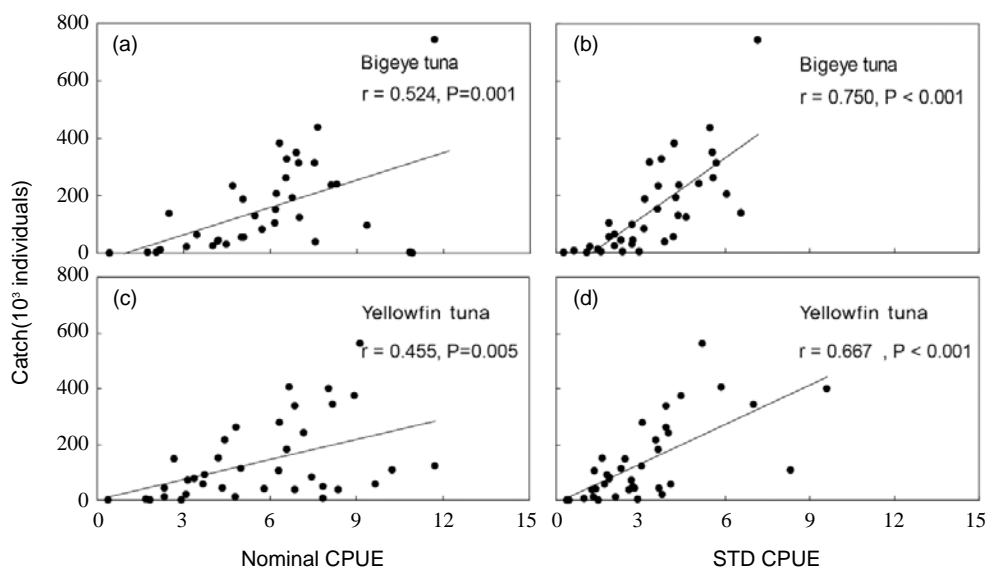


Fig. 8. Correlations between catch and CPUEs for bigeye and yellowfin tunas in the Indian Ocean. (a) & (c) Catch vs. Nominal CPUE, (b) & (d) Catch vs. STD CPUE. STD means standardized CPUE.

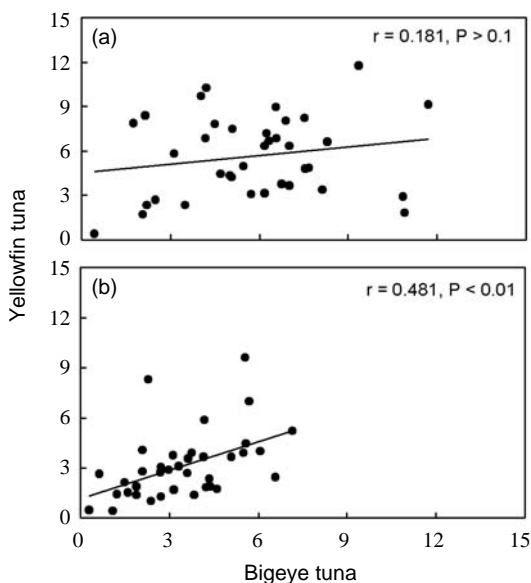


Fig. 9. Correlations of CPUEs between bigeye and yellowfin tunas. (a) Nominal CPUE, (b) Standardized CPUE.

유사하게 양의 값을 보였으나, 이후 낮아져 1990년대 후반까지는 음의 값을 나타냈다.

표준화된 CPUE는 Fig. 8과 같이 표준화 이전에 비해 실제 어획량 변동을 보다 잘 설명하였다. 눈다랑어의 실제 어획량의 변동은 표준화된 CPUE($r=0.750$)가 표준화 이전($r=0.524$)에 비해 43% 향상된 상관성으로 설명되었으며, 황다랑어의 경우에는 표준화된 CPUE($r=0.667$)가 표준화 이전($r=0.456$) 대비 47% 향상된 상관성으로 설명되었다.

인도양해역 연승어업의 주대상어종인 눈다랑어와 황다랑어 풍도사이의 상관관계는 Fig. 9와 같이 표준화 이전은 상관성이 없었으나($r=0.181, P > 0.1$), 표준화된 CPUE에서는 눈다랑어의 CPUE가 증가함에 따라 황다랑어의 CPUE도 증가하는 통계학적으로 유의한 양의 상관성을 나타냈다($r=0.481, P < 0.01$).

고찰

어획능률이 일정하다고 가정할 때 수리적으로 CPUE는 상대적인 자원의 풍도지수를 나타낸다. 그러나 실제 CPUE는 조업 시기, 환경, 어구 등의 요인들로 인해 영향을 받으므로 표준화

과정이 수행되지 않으면, 자원량이 과대 혹은 과소 추정되어 자원관리의 실패를 야기시킬 수 있다. 따라서 자원평가의 기본 입력자료가 되는 CPUE의 표준화가 평가 이전에 우선시되어야 한다(Maunder, 2001). 그러나 CPUE를 표준화 하는데 있어서 사용되는 자료는 출어한 어선의 일별 혹은 분기별 조업일지의 자료에 의존하기 때문에 사용할 수 있는 자료가 한정되거나 각국가 또는 분석자들에 따라 달라질 수 있다. Gavaris(1980)는 국가, 어구형태, 톤급, 월, 조업해역, 연도를 CPUE에 영향을 주는 인자로 간주하였으며, Olsen and Laevastu(1983)는 연승어업 CPUE에 영향을 미치는 인자를 32가지로 기술하고 모델에 결합시킨 바 있다. 그러한 인자들 중에서 칩수시간, 낚시바늘간의 간격, 낚시바늘 크기, 줄 깊이, 미끼, 양망기계 성능차이 등이 주 영향인자로 제시되었다. 본 연구에서는 뜰과 뜰간의 낚시바늘수(H), 조업해구 면적(A), 어장 수온(T) 등의 조업상황과 관련된 인자와 더불어 계절성(M) 및 연변동(Y)이 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE에 영향을 주는 인자로 제시되었다. 또한, 단일 인자간의 상호작용을 통해서도 연승어업의 CPUE가 영향을 받는 것으로 나타났다. 다시 말하면, 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE는 공통적으로 연도별 어장의 영향($Y \times A$)과 소해역별 낚시바늘수 차이($A \times H$)의 복합적 상호작용을 통해서 영향을 받는 것으로 해석된다.

대상자원의 상태를 평가할 때 어획노력량과 어획량 자료만으로 풍도를 설명하기에는 한계가 있다(Polacheck, 2006). 이에 대상자원의 풍도에 영향을 미치는 인자들(계절성, 어구특성, 조업해역 등)을 고려한 CPUE 표준화는 대상자원의 풍도 진단에서 보다 과학적인 접근이다. 특히, 본 연구의 Fig. 7에서와 같이 인도양해역 다랑어연승어업에서 눈다랑어와 황다랑어의 CPUE는 표준화를 통해서 자원풍도를 과대평가할 오류의 가능성을 줄일 수 있다.

표준화 후의 CPUE가 표준화 전의 CPUE 경향

과 유사하게 나타났으나, 실제 어획상황을 설명하는데는 향상된 상관성을 보였다. 이는 인도양해역 연승어업의 표준화된 CPUE를 활용하여 계절성 및 어장 수온 등의 외부환경 변동에 대한 시나리오별 눈다랑어 및 황다랑어 미래 풍도 및 어획량 예측이 가능할 것으로 생각된다.

자원평가 및 관리에 있어서 바로 전년도의 CPUE 값만이 사용된다면 현재 우리나라의 어획량이 다른 조업국에 비해 낮은 상태이기 때문에 무시할 정도의 값이다. 그러나 과거의 자원상태의 변동양상에 따른 전반적인 자원상태를 추정하거나 더욱 정확한 자원평가를 위해서는 우리나라의 CPUE 자료가 필수적인 자료이다. 조업일지의 보고 누락이나 자료입력시 실수 등으로 발생하는 자료의 신빙성의 문제는 이를 보정할 만한 베이지안이나 우도함수와 같은 통계학적 기법들이 표준화 이전에 선행되어야 할 것이다. 또한 다랑어를 어획하는데 영향을 미치는 여러 외부인자들에 대한 조사 및 자료수집도 병행되어야 한다.

눈다랑어의 자원상태는 인도양을 제외한 태평양 및 대서양에서 과도어획으로 인한 남획상태에 있는 것으로 평가되고 있다(Maunder and Harley, 2005; ICCAT, 2005; Hampton et al., 2006a). 황다랑어는 현재 과도어획으로 인한 남획상태에 있으므로 어획량을 조속히 줄여야 한다는 연구결과가 있다(IOTC, 2007; Hoyle and Maunder, 2005; ICCAT, 2004; Hampton et al., 2006b). 인도양의 눈다랑어 및 황다랑어의 자원평가에 사용되는 CPUE는 일본과 대만의 어획자료에서 얻어진다. IOTC 보고서(2007)는 1960년부터 일본 CPUE와 1980년 이후의 대만 CPUE 표준화를 통한 자원상태 평가결과 황다랑어의 자원은 안정적인 상태로 평가되었으나, 1960 - 1980년 기간의 대만 CPUE 자료가 추가될 경우 황다랑어 자원상태는 감소경향을 보였다. 이는 대만 CPUE가 1960 - 1980년 기간에는 크게 감소하는 경향을 보였고, 1980년대 이후부터는 상

대적으로 증가한 어획으로 인해 CPUE가 증가하는 경향을 나타냈기 때문인 것으로 해석되었다(IOTC, 2007). 본 연구에서는 표준화된 우리나라 CPUE를 통해 살펴본 눈다랑어와 황다랑어는 Fig. 7에서와 같이 전반적으로 감소하는 경향이 두드러졌다. 이와 같이 자원상태가 CPUE의 증감에 반응하기 때문에 대상자원을 어획하는 대부분의 어획자료가 자원평가에 고려되어야 할 것이다. Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 스페인, 프랑스 등의 국가에서도 어획량이 크게 증가하고 있으며 특히, 우리나라의 경우에는 1970년대 중반부터 80년대 초반까지는 전체 어획량의 절반 이상을 어획하였으므로 1970년부터 1980년까지의 자원상태를 정확하게 평가하기 위해서는 우리나라 CPUE 자료가 사용되어야 한다.

향후의 인도양해역 다랑어연승어업의 CPUE 표준화 연구에서는 다음의 세 가지 인자들에 대한 영향이 추가되어야 할 것이다. 첫째, 눈다랑어와 황다랑어의 생태학적 특성 등을 고려한 인자들을 추가할 필요성이 있다. 예로, 눈다랑어는 수심 150m 이하의 상대적으로 깊은 곳에서 어획이 되기 때문에(IOTC, 2007), 수심별 수온의 영향이 CPUE에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 둘째, 본 연구에서 사용된 또 하나의 환경인자인 남방진동계수는 주로 태평양의 변화를 나타내기 때문에, 인도양의 변화와는 잘 맞지 않았으므로 인도양의 환경을 고려한 인도양진동계수(Indian scillation index, IOI)가 필요할 것으로 여겨진다. 마지막으로, 국가별 CPUE를 표준화해야 할 것이다. 동해역에서 다랑어를 대상으로 조업에 참여하는 국가수가 점차 늘어나고 있으며, 1970년대 중반의 경우에는 우리나라와 같이 전체 어획량의 절반이상을 차지하는 어획자료를 포함시켜 자원평가를 수행할 필요가 있기 때문에 각 조업국의 어획상황을 모두 고려하여 표준화된 CPUE를 도출하는 작업이 국제수산기구 차원에서 추진되어야 할 것이며, 본 연구결과가 그 단계에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

결 론

개체군역학을 이용한 자원평가는 상대적 풍도지수인 CPUE를 기본자료로 평가되고 있다(Maunders and Punt, 2004). 표준화된 방법에 의해 수집되는 과학조사자료는 모든 어업에 적용될 수 없기 때문에 상업적 어업에 의해 수집되는 어획자료를 사용하고 있으나, 이 자료는 계절, 어장 등의 외부적인 영향으로 쉽게 변동될 수 있기 때문에 변동요소들을 제거하여 일반화된 어획자료가 사용된다. 본 연구에서는 인도양해역의 눈다랑어 및 황다랑어의 자원평가를 위해 우리나라 다랑어연승어업의 CPUE를 표준화하였다. 연도, 해역, 어구, 환경인자에 대해 일반선형모델을 사용하여 CPUE를 표준화시켰으며, 그 결과 눈다랑어와 황다랑어 두 종의 CPUE는 해역의 영향이 가장 큰 것으로 나타났고, 연도별 어장의 영향($Y \times A$)과 소해역별 낚시바늘수 차이($A \times H$)의 상호작용이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 해석된다. 표준화된 CPUE는 표준화전의 CPUE에 비해 실제 어획량의 변동을 보다 잘 설명하였다. 표준화된 CPUE를 통한 눈다랑어와 황다랑어의 풍도는 전반적인 감소경향을 나타내었고, 표준화된 두 종의 CPUE의 아노말리를 보면 1970년대 후반부터 1980년대 중반까지는 CPUE가 높은 수준을 나타냈으나, 최근 2000년대에 들어서는 낮은 수준을 나타냈다. 인도양해역의 눈다랑어와 황다랑어의 자원량 변동을 고려한 자원관리에 있어서 우리나라의 어획자료는 1970년대 중반부터 10여년간 인도양 다랑어연승어업의 어획의 상당량을 어획했기 때문에 중요한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- FAO, 1997. Review of the state of world fishery resources: Marine Resources Service. FAO Fisheries Circular., No. 920, pp. 173.
- FAO, 2003. Managing fishing capacity of the world tuna fleet. FAO Fisheries Circular., No. 982, pp. 82.

- FAO, 2007. Capture production 2005. FAO Yearbook of Fishery Statistics, Vol. 100/1. pp. 539.
- Gavaris, S., 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 2272 – 2275.
- Guisan, A., Jr. T.C. Edwards and T. Hastie, 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Modell.*, 157, 89 – 100.
- Hampton, J., A. Langley and P. Kleiber, 2006a. Stock assessment of bigeye tuna in the Western and Central Pacific Ocean, including an analysis of management options. WCPFC-SC2-2006/SA WP – 2, pp. 103.
- Hampton, J., A. Langley and P. Kleiber, 2006b. Stock assessment of yellowfin tuna in the Western and Central Pacific Ocean, including an analysis of management options. WCPFC-SC2-2006/SA WP – 1, pp. 99.
- Hilborn, R. and C.J. Walters, 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York, pp. 570.
- Hinton, M.G. and H. Nakano, 1996. Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data, with an application to blue marlin(*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries in the Pacific. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 21, 171 – 200.
- Hoyle, S.D. and M.N. Maunder, 2005. Status of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2004 and outlook for 2005. *Inter-Amer. Trop. tuna Comm. Stock Assess. Rep.*, pp. 102.
- ICCAT(International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas), 2005. Report of the 2004 ICCAT bigeye tuna stock assessment session. 58(1), pp.110.
- IOTC(Indian Ocean Tuna Commission), 2007. Report of the Ninth Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. IOTC-2007-WPTT-R[E], pp. 44.
- Liu, H., S. Chang and S. Chang, 2007. Catch rate standardization runs for yellowfin tuna caught by Taiwanese deep sea longline fishery in the Indian Ocean using generalized linear model and generalized linear mixed model. IOTC-2007-WPTT-19, pp. 13.
- Maunder, M.N., 2001. A general framework for integrating the standardization of catch per unit of effort into stock assessment models *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58, 795 – 803.
- Maunder, M.N. and S.J. Harley, 2005. Status of bigeye tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2004 and outlook for 2005. *Inter-Amer. Trop. tuna Comm. Stock Assess. Rep.*, pp. 206.
- Maunder, M.N. and A.E. Punt, 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.*, 70, 141 – 159.
- Maunder, M.N. and P.J. Starr, 1995. Rock lobster standardized CPUE analysis. *New Zealand Fisheries Assessment Res. Doc.* 95/11. [Available from National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Greta Point, P.O. Box 297, Wellington, N.Z.], pp. 28.
- Nelder, J.A. and R.W.M. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. *J. R. Statist. Soc.*, 137, 370 – 384.
- Okmoto, H. and H. Shono, 2006. Japanese longline CPUE for bigeye tuna in the Indian Ocean up to 2004 standardized by GLM applying gear material information in the model. IOTC-2006-WPTT-1, pp. 17.
- Okmoto, H., H. Shono and T. Nishida, 2007. Japanese longline CPUE for yellowfin tuna in the Indian Ocean up to 2005 standardized by GLM. IOTC-2007-WPTT-10, pp. 23.
- Olsen, S. and T. Laevastu, 1983. Factors affecting catch of longlines, evaluated by a simulation model of longline fishing. Draft manuscript for ICES Fish Capture Comm., pp. 13.
- Polacheck, T., 2006. Tuna longline catch rates in the Indian Ocean: Did industrial fishing result in a 90% rapid decline in the abundance of large predatory species?, *Mar. Pol.*, 30(5), 470 – 482.
- Polacheck, T., R. Hilborn, and A.E. Punt, 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and

- measuring uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 2597 – 2607.
- Quinn, II T.J. and R.B. Deriso, 1999. *Quantitative fish dynamics*. Oxford University Press. New York, pp. 542.
- Shono, H. and M. Ogura, 1999. The standardized skipjack CPUE including the effect of searching devices, of the Japanese distant water pole and line fishery in the Western Central Pacific Ocean. *ICCAT-SCRS/99/59*, pp. 18.
- Wang, S., S. Chang, T. Nishida and S. Lin, 2006. CPUE standardization of Indian Ocean swordfish from Taiwanese longline fishery for Data up to 2003. *OTC-2006-WPB-09*, pp. 13.
-
- 2008년 6월 30일 접수
2008년 7월 16일 1차 수정
2008년 8월 7일 2차 수정
2008년 8월 7일 수리