

중서부 태평양해역의 한국 다랑어 연승어업 영향에 대한 생태학적 위험도 평가

권유정^{1,2} · 안두해^{2*} · 문대연² · 황선재² · 이재봉³

¹부경대학교 대학원 수산물리학과,

²국립수산과학원 해외자원과, ³국립수산과학원 자원연구과

An ecological risk assessment for the effect of the Korean tuna longline fishery in the Western and Central Pacific Ocean

Youjung KWON^{1,2}, Doo-Hae AN^{2*}, Dae Yeon MOON²,

Seon Jae HWANG² and Jae Bong LEE³

¹*Department of Fisheries Physics, Graduate School, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea*

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

³*Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research and Development Institute,
Busan, 619-902, Korea*

Ecological risk assessment(ERA), developed in Australia, can be used to estimate the risk of target, bycatch and protected species from the effects of fishing using limited data for stock assessment. In this study, we employed the ERA approach to estimate risks to tunas, billfishes, sharks, sea turtles and other species by the Korean tuna longline fishery in the Western and Central Pacific Ocean using productivity and susceptibility analyses of the ERA based on low(<1.30), medium(1.30-1.84) and high risk(>1.84). Albacore, bigeye, yellowfin, skipjack and bluefin tunas were generally evaluated in the medium risk. The susceptibility of tuna species, however, had higher risks than the productivity. Billfishes were also at medium risk, while sharks were at high risk by the tuna longline fishery. The risk of productivity was generally high, because most sharks caught by the tuna longline fishery have high longevities, i.e., over 10 years, including ovoviviparous species. Susceptibility, which is related with the selection of fishing gear, was also high, because the longline fishery has no gear modifications to prevent bycatch of protected species. Not only target tuna species were influenced by the tuna longline fishery in the Western and Central Pacific Ocean, but also non-target species, such as pomfret, mackerels rays, sea turtle were done. Ecosystem-based fishery assessment

*Corresponding author: dhan@nfrdi.go.kr, Tel: 82-51-720-2320, Fax: 82-51-720-2337

tools, such as productivity and susceptibility analysis(PSA), have the ability to provide broad scientific advice to the policy makers and stakeholders.

Key words : Ecological risk assessment, Bycatch, Longline fishery, Pacific Ocean

서 론

전 세계 대부분의 상업적 규모의 어업에서는 상업적으로 이용가치가 없거나 크지 않은 부수 어획종들은 대부분이 폐기되거나 일부만 이용되고 있어 정확한 어획실태에 대한 통계 및 조사가 실시되고 있지 않다. 그로인한 자료의 부족으로 자원상태에 대한 평가가 거의 이루어지지 않고 있으며 우리가 인지하지 못하는 상태에서 고갈되는 심각한 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 현재 어업에서 부수어획에 관한 문제는 전 세계적으로 중요한 문제로 부각되고 있다(Gilman et al., 2008; Yokota et al., 2006).

FAO는 대상생태계의 종 다양성(biodiversity) 및 지속가능한 어업을 유지하기 위해서는 상업 어업의 주목표종에 대한 정량적인 자원평가뿐만 아니라 비목표종에 대해서도 생태계의 관점에서 예방적 접근법(precautionary approach)이 도입되어야 한다고 주장하고 있다(FAO, 2007a). 오늘날 전 세계적으로 국가단위 혹은 지역수산관리기구를 중심으로 해당해역의 상업적 중요종에 대해서는 정량적 평가를 실시하지만, 현실적으로 대부분의 해역에는 비상업적 어종 즉, 부수 어획종들에 대해서는 거의 평가가 이루어지지 않고 있다. 최근에 이러한 부수 어획종들에 식별 및 평가관리를 위해 포괄적인 생태계 접근법을 통한 생태계 기반 어업관리(ecosystem-based fisheries management, EBFM) 기법이 제시되었다(Kirby, 2006). 생태계 기반 어업관리는 생태계의 붕괴 예방, 어쩔 수 없는 환경, 어업 등의 변화에 대한 위협의 최소화, 어업으로 인한 장기간 사회·경제적 이윤획득 및 예방적 접근법에 그 목적이 있다(Pikitch et al., 2004). 생태계 기반

어업관리의 한 방법으로 제시된 생태학적 위험도평가(ecological risk assessment, ERA)는 어업의 영향을 받는 대상생태계의 모든 종을 대상으로 위험도평가를 하여, 자원의 재생산율(reproductive rate)이 낮은 높은 단계의 위험도로 평가된 종을 파악한 후 향후 분석 또는 관리를 위해 고려된 방법이다(Kirby and Moloney, 2007). 생태학적 위험도평가는 현재 호주에서 관리전략평가(management strategy evaluation)의 하나로 상어어업의 자원관리에 사용되고 있으며(Smith et al., 2007), 중서부태평양수산위원회(Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)에서는 2006년부터 부수 어획종들의 향후 자원평가 및 관리를 위한 예방적 접근법으로 개발되고 있다(Kirby, 2006).

지난 20년 동안 중서부태평양해역의 한국다랑어연승어업의 주목표종은 눈다랑어(*Thunnus obesus*)를 포함한 다랑어류가 전체 어획량의 약 90%였으며, 그 외 부수어획종이 10%의 비율로 어획되었다(Moon et al., 2007). 본 연구에서는 중서부태평양해역의 한국다랑어연승어업에 의해 영향을 받는 목표종 뿐만 아니라 부수 어획되는 모든 종에 대한 생태학적 위험도평가를 실시하여, 향후 자원관리 및 평가를 위한 예방적 접근법으로 사용하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에는 Fig. 1에서와 같이 2005년 7월 15일부터 2008년 2월 29일까지 중서부태평양해역 한국 다랑어 연승어업을 대상으로 실시한 총 7회의 과학읍서버 승선조사 시 총 355번의 투·양승 자료가 사용되었다.

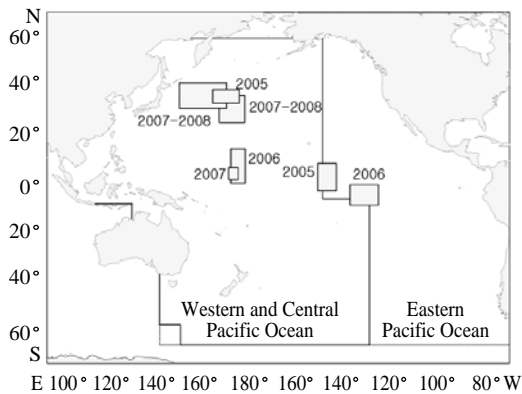


Fig. 1. Survey areas of the Korean tuna longline fisheries by the Korean scientific observers during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean.

본 연구에서 이용한 생태학적 위험도평가(ecological risk assessment, ERA) 방법은 모델을 기반으로 하는 정량적 자원평가(quantitative stock assessment)에 필요한 어업자료 및 생물학적 정보 등이 부족할 때 사용하는 준정량적 분석법(semi-quantitative analysis) 중의 하나인 생산력 - 민감도 분석법(productivity and susceptibility analysis, PSA)을 사용하였다(Stobutzki et al., 2001, Smith et al., 2007). PSA는 정량적 자원평가에서 사용되는 자원량 추정식 식(1)에 의해 설명될 수 있다.

$$\frac{dB}{dt} = rB\left(1 - \frac{B}{K}\right) - qEB \quad (1)$$

여기서 B 는 자원량 혹은 자원 개체수, r 은 내적 증가량, K 는 환경 수용력, q 는 어획률, E 는 어획 노력이다. PSA에서 생산력은 어획활동으로 받은 영향의 회복율을 나타내므로 식(1)에서 내적 증가량(r)으로 표현될 수 있으며, 민감도는 어획활동으로 대상어종의 영향을 받은 정도를 나타내므로 식(2)에서는 어획률(q)로 표현될 수 있다.

한국 다랑어연승어업의 영향에 대한 ERA 평가를 위해 과학읍서버 승선조사 시 어획된 총 47종을 Table 1과 같이 다랑어류, 새치류, 상어류,

바다거북류 및 기타어종 등 크게 5개의 군으로 나누었다. 다랑어류에는 눈다랑어(*Thunnus obesus*), 날개다랑어(*Thunnus alalunga*) 등 5종, 새치류에는 황새치(*Xiphias gladius*), 녹새치(*Makaira mazara*) 등 6종, 상어류에는 12종, 바다거북류에는 3종, 기타어종에는 21종이 각각 포함되었다.

각 어종의 ERA 평가는 Table 2에 제시된 생산력과 민감도에 대한 지표들(indicators)과 이들 지표별 기준점들(reference points)에 의해 평가되었다(Stobutzki et al., 2001). PSA는 어구에 의해 영향을 받은 어종들의 생물학적 회복율에 초점을 두고 있기 때문에 객관적인 생물학적 자료가 필요하므로, 생산력 평가를 위해 사용된 생물학적 자료는 FishBase(<http://www.fishbase.net>)를 이용하였다. 생산력 평가를 위한 지표로는 최대수명 및 체장, 성숙연령 및 체장 등의 자료가 사용되었으며, 민감도 평가에 사용된 지표로는 어구와 어종이 마주치는 정도(encounterability), 어종의 분포, 어획 또는 포획 후 사망 정도 등이다. 특히, Fig. 2와 같이 어구와 어종이 마주치는 정도에 대한 기준점은 총 7회의 승선조사 시에 사용된 연승어구들의 투승 시 최대수심에서 부표줄까지의 평균값을 사용하였다.

각 어종의 분포수심에 따라 이 지표에 대한 위험도가 평가되는데, 분포수심이 어구의 최대전개수심인 309m 이내에 서식하는 종은 연승어구와 마주칠 확률을 100%로 가정하여 높은 위험도(2)로 평가되며, 반대로 분포수심이 309m이 아닌 어종에 대해서는 어구와 마주칠 확률을 0%로 가정하여 낮은 위험도(0)로 평가되었다. 연승어구는 트롤어구나 자망어구 등과 같이 어종의 체장에 따른 선택성을 가지고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 모든 어종에 대한 선택성은 높은 위험도로 가정하였다.

평가를 위한 생물학적 자료가 없을 때는 같은 과(family)에 속하는 유사종끼리 묶어 자료를 사용하였으며, 유사종에 대한 자료까지 없을 경우

Table 1. Species composition of species caught by the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean

Group	English name	Scientific name
Tunas (5)	Bigeye tuna	<i>Thunnus obesus</i>
	Albacore	<i>Thunnus alalunga</i>
	Yellowfin tuna	<i>Thunnus albacares</i>
	Skipjack tuna	<i>Katsuwonus pelamis</i>
	Bluefin tuna	<i>Thunnus thynnus</i>
Billfishes (6)	Swordfish	<i>Xiphias gladius</i>
	Blue marlin	<i>Makaira mazara</i>
	Striped marlin	<i>Tetrapturus audax</i>
	Indo-Pacific sailfish	<i>Istiophorus platypterus</i>
	Shortbill spearfish	<i>Tetrapturus angustirostris</i>
	Black marlin	<i>Makaira indica</i>
Sharks (12)	Blue shark	<i>Prionace glauca</i>
	Mako shark	<i>Isurus oxyrinchus</i>
	Bigeye thresher shark	<i>Alopias superciliosus</i>
	Oceanic whitetip shark	<i>Carcharhinus longimanus</i>
	Salmon shark	<i>Lamna ditropis</i>
	Smooth hammerhead shark	<i>Sphyrna zygaena</i>
	Scalloped hammerhead shark	<i>Sphyrna lewini</i>
	Crocodile shark	<i>Pseudocarcharias kamoharai</i>
	Silky shark	<i>Carcharhinus falciformis</i>
	Galapagos shark	<i>Carcharhinus galapagensis</i>
Grey reef shark	<i>Carcharhinus amblyrhynchos</i>	
Dogfish shark	<i>Isistius brasiliensis</i>	
Turtles (3)	Green sea turtle	<i>Chelonia mydas</i>
	Loggerhead sea turtle	<i>Caretta caretta</i>
	Olive ridley sea turtle	<i>Lepidochelys olivacea</i>
Other species (21)	Escolar	<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>
	Opah	<i>Lampris guttatus</i>
	Sickle pomfret	<i>Taractichthys steindachneri</i>
	Oilfish	<i>Ruvettus pretiosus</i>
	Wahoo	<i>Acanthocybium solandri</i>
	Lancetfish	<i>Alepisaurus ferox</i>
	Shortnose Lancetfish	<i>Alepisaurus brevirostris</i>
	Dolphinfish	<i>Coryphaena hippurus</i>
	Sharptail mola	<i>Masturus lanceolatus</i>
	Pelagic stingray	<i>Dasyatis violacea</i>
	Crested oarfish	<i>Lophotus lacepede</i>
	Snake mackerel	<i>Gempylus serpens</i>
	Black pomfret	<i>Taractes rubescens</i>
	Manta ray	<i>Mobula japonica</i>
	Ocean sunfish	<i>Mola mola</i>
	Great barracuda	<i>Sphyrna barracuda</i>
	Razorback scabbardfish	<i>Assurger anzac</i>
	Slender sunfish	<i>Ranzania laevis</i>
Rainbow runner	<i>Elagatis bipinnulata</i>	
Suck fish	<i>Remora remora</i>	
Flyingfish	<i>Prognichthys gibbifrons</i>	

Table 2. Attributes, indicators and reference points for ecological risk assessment

Attributes	Indicators	Reference points		
		Low(0)	Medium(1)	High(2)
Productivity	Maximum age(year)	< 10	10 - 25	25 <
	Age at maturity(year)	< 5	5 - 10	10 <
	Size at maturity(cm)	< 40	40 - 200	200 <
	Maximum size(cm)	< 100	100 - 300	300 <
	Reproductive strategy	Broadcast spawners	Demersal spawners	Live bearer
	Trophic level	< 2.75	2.75 - 3.25	3.25 <
Susceptibility	Encounterability(m)	309 <	167 <	25 - 309
	Global distribution	Worldwide	Hemisphere	Locality
	Adult habitat overlap with juvenile	Low rate	Medium rate	High rate
	Selectivity	No selectivity for longline fishery		
	Post-capture mortality	Alive	Barely alive	Dead

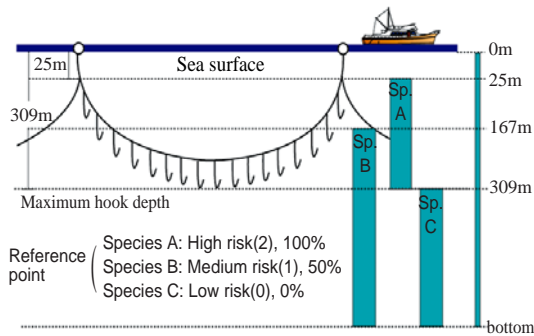


Fig. 2. An example of indicators for ecological risk assessment. This example shows the overlap with fishing effort by is the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean.

에 위험의 정도를 판단 할 수 없어 모두 높은 위험도로 가정하였다.

Fig. 3은 각 어종의 위험도를 지표별, 특성(attribute)별로 위험도를 도식화하였다. Fig. 3(a)는 지표별 위험도는 각 어종의 성숙체장 대비 어획된 어종의 평균체장에 대한 지표를 비교하여 위험도를 평가하였다. 각 어종의 성숙체장은 FishBase 자료를 근거로 하였으며, 어획종별 평균체장은 2005 - 2008년까지 어획된 어종에서 과학읍서버에 의해 추정된 각 어종들의 산술평균한 값을 사용하였다. Fig. 3(b)에서 특성별 위험도는 각 어종의 지표들의 위험도를 산술평균하여 평가하였으며, 낮은 위험도(<1.30), 중간

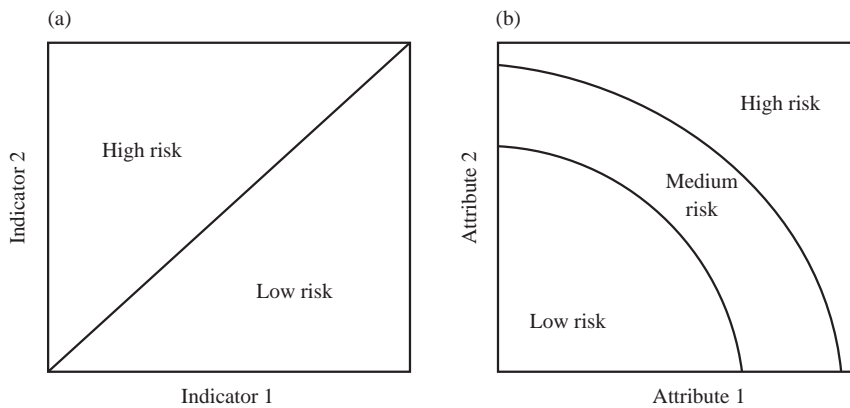


Fig. 3. Plots between (a) indicators and (b) attributes. Indicators are length at maturity and captured mean length of species, and Attributes are productivity and susceptibility of species caught by the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean.

위험도(1.30 - 1.84), 높은 위험도(1.84 <)로 도식화하였다.

각 어종에 대한 특성별 위험도 크기는 식(2)에 의해 계산되었다.

$$D_i = \sqrt{P_i^2 + S_i^2} \quad (2)$$

여기서, D_i 는 종의 위험도의 크기, P_i 는 i 종의 생산력에 대한 위험도, S_i 는 i 종의 민감도에 대한 위험도이다. 낮은 위험도 구간은 높은 재생산율

과 어구의 낮은 영향력, 반대로 높은 위험도 구간에서는 낮은 재생산율과 어구의 높은 영향력을 의미한다.

결 과

지표별 위험도평가

Fig. 4에서 다랑어류 5종, 새치류 5종, 상어류 11종 및 기타어류 12종에 대한 지표별 위험도평가에서 대부분의 종이 성숙체장보다 어획되는

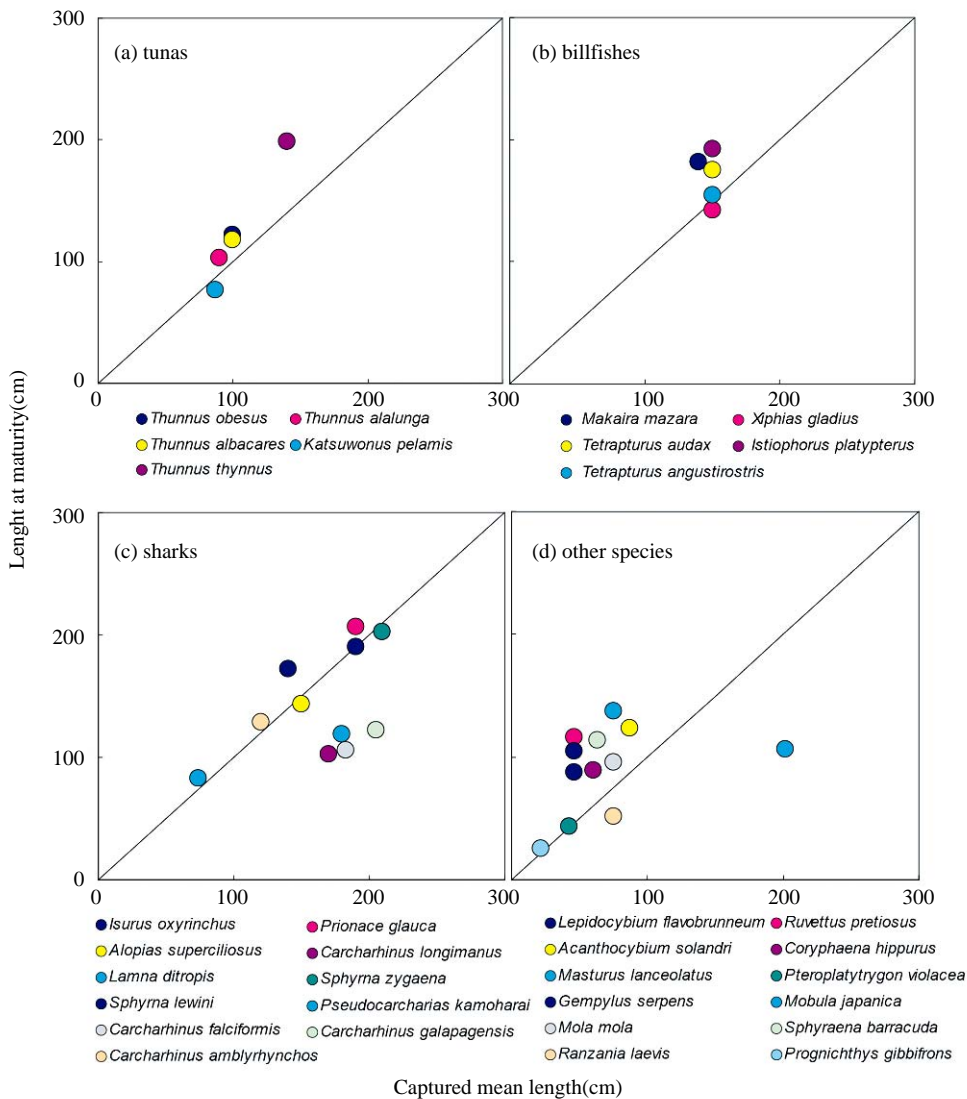


Fig. 4. Plot between indicators of species caught by the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean.

평균체장이 작은 낮은 위험도를 나타냈다. 그러나 바다거북류에 대한 체장자료가 없어 바다거북류의 지표별 위험도는 평가되지 못했다. Fig.

4(a)에서 대부분의 다랑어류는 높은 위험도를 보였으며, 그 중 참다랑어(*Thunnus thynnus*)가 가장 높은 위험도를 나타낸 반면, 가다랑어(*Katsu-*

Table 3. Risk score of productivity and susceptibility and distance of species caught by the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean

Group	Species	Productivity risk score	Susceptibility risk score	Distance
Tunas	<i>Thunnus obesus</i>	0.857	1.000	1.317
	<i>Thunnus alalunga</i>	0.714	1.000	1.229
	<i>Thunnus albacares</i>	0.714	1.000	1.229
	<i>Katsuwonus pelamis</i>	0.714	0.750	1.036
	<i>Thunnus thynnus</i>	1.143	1.250	1.694
Billfishes	<i>Xiphias gladius</i>	1.167	1.000	1.537
	<i>Makaira mazara</i>	1.286	1.250	1.793
	<i>Tetrapturus audax</i>	1.000	1.250	1.601
	<i>Istiophorus platypterus</i>	1.000	1.250	1.601
	<i>Tetrapturus angustirostris</i>	1.000	1.000	1.414
	<i>Makaira indica</i>	1.143	1.000	1.519
Sharks	<i>Prionace glauca</i>	1.714	1.250	2.122
	<i>Isurus oxyrinchus</i>	2.000	1.750	2.658
	<i>Alopias superciliosus</i>	1.857	1.250	2.239
	<i>Carcharhinus longimanus</i>	1.714	1.750	2.450
	<i>Lamna ditropis</i>	2.000	1.250	2.358
	<i>Sphyrna zygaena</i>	2.000	1.500	2.500
	<i>Sphyrna lewini</i>	1.857	1.750	2.552
	<i>Pseudocarcharias kamoharai</i>	1.667	1.250	2.083
	<i>Carcharhinus falciformis</i>	1.857	1.500	2.387
	<i>Carcharhinus galapagensis</i>	1.857	2.000	2.729
	<i>Carcharhinus amblyrhynchos</i>	1.714	1.500	2.278
	<i>Isistius brasiliensis</i>	2.000	1.000	2.236
Turtles	<i>Chelonia mydas</i>	1.000	0.750	1.250
	<i>Caretta caretta</i>	1.000	0.750	1.250
	<i>Lepidochelys olivacea</i>	0.667	1.200	1.373
Other species	<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	0.833	1.000	1.302
	<i>Lampris guttatus</i>	1.333	1.000	1.667
	<i>Taractichthys steindachneri</i>	0.600	0.750	0.960
	<i>Ruvettus pretiosus</i>	1.000	1.500	1.803
	<i>Acanthocybium solandri</i>	0.714	1.500	1.661
	<i>Alepisaurus ferox</i>	1.500	1.000	1.803
	<i>Alepisaurus brevirostris</i>	1.250	0.750	1.458
	<i>Coryphaena hippurus</i>	0.429	1.500	1.560
	<i>Masturus lanceolatus</i>	1.000	1.500	1.803
	<i>Pteroplatytrygon violacea</i>	1.500	1.667	2.242
	<i>Lophotus lacepede</i>	0.500	1.333	1.424
	<i>Gempylus serpens</i>	0.667	1.000	1.202
	<i>Taractes rubescens</i>	0.800	0.750	1.097
	<i>Mobula japonica</i>	1.833	1.250	2.219
	<i>Mola mola</i>	1.000	1.000	1.414
	<i>Sphyrna barracuda</i>	1.000	1.750	2.016
	<i>Assurger anzac</i>	1.333	1.000	1.667
	<i>Ranzania laevis</i>	1.000	1.250	1.601
	<i>Elagatis bipinnulata</i>	0.750	1.500	1.677
	<i>Remora remora</i>	0.600	1.500	1.616
<i>Prognichthys gibbifrons</i>	0.333	2.000	2.028	

wonus pelamis)는 성숙체장보다 어획 평균체장이 더 커서 낮은 위험도를 나타내었다. Fig. 4(b)에서 대부분의 새치류도 다랑어류와 유사하게 높은 위험도를 나타냈으며, 돛새치(*Istiophorus platypterus*)가 새치류중 가장 높은 위험도를 나타내었다. 황새치는 성숙체장과 어획평균체장이 비슷하기는 하였으나 어획평균체장이 조금 더 작아서 낮은 위험도를 나타냈으며, 흑새치(*Makaira indica*)는 자료의 없어 분석하지 못했다. Fig. 4(c)에서 검목상어(*Isistius brasiliensis*)를 제외한 상어류 11종에 대한 지표별 위험도평가에서 청새리상어, 청상아리, 홍살귀상어, 산호상어

(*Carcharhinus amblyrhynchos*) 등 총 5종은 높은 위험도를 나타낸 반면, 나머지 6종은 낮은 위험도를 나타냈다. Fig. 4(d)에서 기타어류에서는 쥐가오리(*Mobula japonica*)와 썩기개복치(*Ranzania laevis*)는 낮은 위험도를 나타낸 반면, 이 두 종을 제외한 10종의 어종은 높은 위험도를 나타냈다.

생산력 및 민감도에 대한 특성치별 위험도평가에서 생산력 및 민감도에 대한 특성치별 위험도평가에서 Fig. 5와 Table 3에서 제시된 것과 같이 다랑어류, 새치류 및 바다거북류에 속하는 대부분의 종들은 낮거나 중간단계의 위험도, 상어류

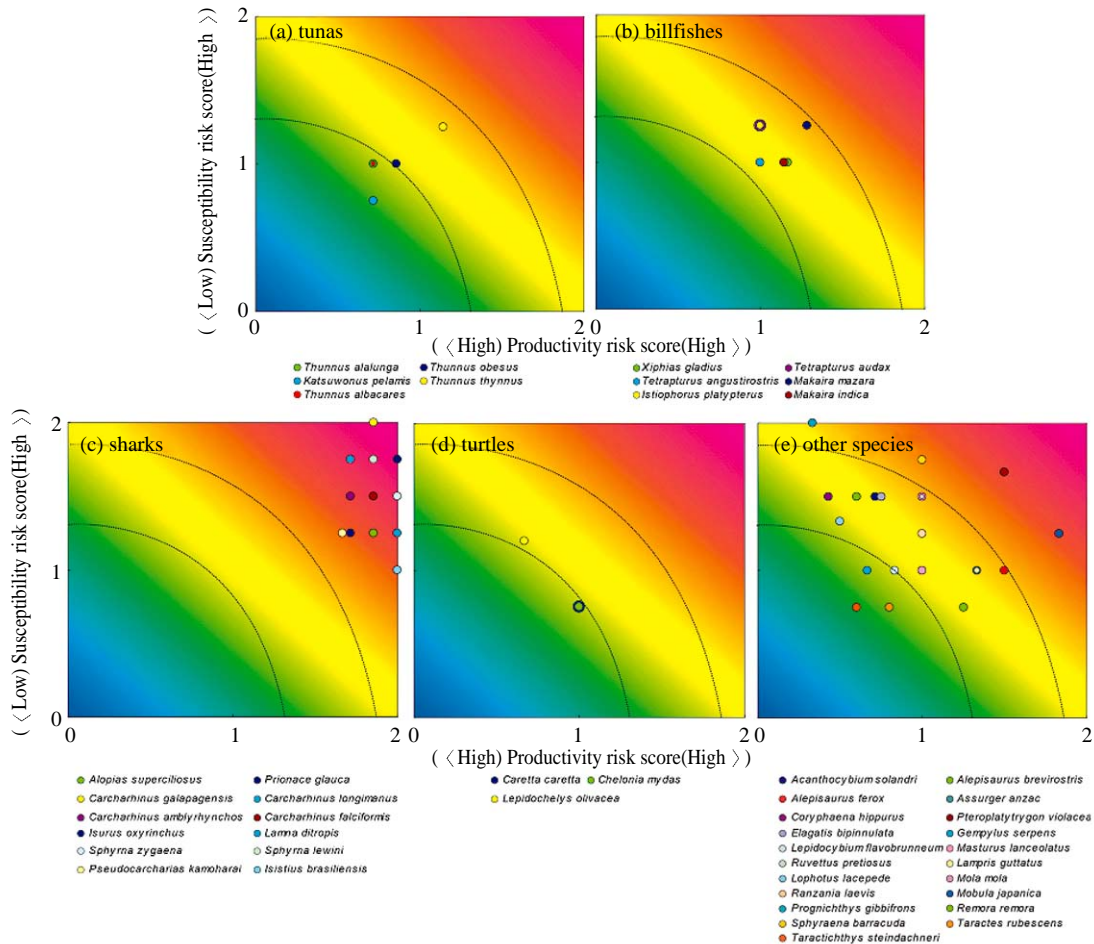


Fig. 5. Plot between productivity and susceptibility analysis of species caught by the Korean tuna longline fisheries during 2005-2008 in the Western and Central Pacific Ocean.

는 모든 어종이 높은 단계의 위험도, 기타어류는 낮은 단계부터 높은 단계까지의 고른 위험도 경향을 나타내는 것으로 평가되었다.

Fig. 5(a)에서 다랑어류에서는 참다랑어의 위험도 크기(D)가 1.694로 높은 단계의 위험도에 근접한 중간 단계의 위험도로 평가되었으며, 눈다랑어 역시가 1.317로 중간 단계의 위험도로 평가되었다. 날개다랑어와 황다랑어는 두 어종 모두 1.229로 중간 단계의 위험도에 가까운 낮은 단계의 위험도를 보였으며, 가다랑어는 1.036으로 낮은 단계의 위험도로 평가되었다.

Fig. 5(b)에서 새치류에 속하는 모든 새치들은 중간 단계의 위험도로 평가되었으며, 그 중 녹색새치가 높은 단계의 위험단계에 가까운 1.793으로 중간 단계의 위험도를 나타냈다. 그 외 다른 새치들은 대부분 비슷한 위험도의 값을 보였으며, 그 중 단문청새치(*Tetrapturus angustirostris*)가 중간 단계의 위험도 중 1.414로 가장 낮은 값을 보였다.

Fig. 5(c)에서 상어류에 속하는 모든 상어의 위험도는 높은 단계의 위험도로 평가되었으며, 대부분의 어종들이 생산력에 관한 위험도가 높게 평가되었다. 갈라파고스상어(*Carcharhinus galapagensis*)의 위험도가 2.729로 상어류 중 가장 높은 단계의 위험도로 평가되었으며, 다음으로 청상아리, 홍살귀상어, 귀상어, 장완홍상어의 순으로 평가되었다.

Fig. 5(d)에서 바다거북류는 푸른바다거북과 붉은바다거북(*Caretta caretta*)은 1.250의 값을 보여 낮은 단계의 위험도로 평가되었으며, 꼬마바다거북(*Lepidochelys olivacea*)은 1.373으로 중간 단계의 위험도로 평가되었다.

Fig. 5(e)에서 기타어류에 속하는 어종들은 위험도가 0.960에서 2.242까지 낮은 단계에서 높은 단계의 위험도까지 고루 분포하였으며, 흰꼬리타락치(*Taractichthys steindachneri*)가 가장 낮은 단계의 위험도로 평가되었으며, 보라색가오리(*Dasyatis violacea*)가 가장 높은 단계의 위험도

로 평가되었다.

고 찰

본 연구의 과학읍서비 승선조사에서 연승어업의 주목표종인 다랑어류가 전체 어획량 중 56.8%였으며, 부수어획되는 종의 비율이 43.2%로 부수어획종이 어획량의 절반정도를 차지하였다. 그러나 지난 20년 동안 한국다랑어연승어업에서 다랑어류의 어획 비율은 평균 90%로 보고되고 있으나, 본 연구의 비율과 비교해 볼 때, 일반적인 상업어선에서는 이용가치가 없는 어종들에 대해서는 폐기나 기록누락 등으로 실제 연승어업에서 부수어획 비율이 과소평가되고 있다(Moon et al., 2007). 따라서 본 연구에서는 상업적 어업에는 보고되지 않고 있으나 한국다랑어연승어업에 의해 지속적으로 어획되거나 자원평가가 이루어지고 있지 않은 비목표종에 대한 생태학적 위험도를 평가하였고 특히, 본 연구에 사용된 생산력 - 민감도 분석법은 생태계기반 어업관리의 한 방법으로 어업의 지속성 유지를 위해 대상어업이 생태계에 미치는 영향을 평가하는 적당한 방법이다(Stobutzki et al., 2001).

다랑어류에 대한 성숙체장 및 어획평균체장에 대한 지표별 비교 및 특성치별 비교에서 참다랑어의 생태학적 위험도가 다랑어류 중 가장 높은 것으로 평가되었으며, 눈다랑어는 낮은 단계의 위험도에 가까운 중간 단계의 위험도로 평가되었다. 이것은 생태학적으로 어업의 영향으로 인해 회복할 수 있는 재생산율이 높은 위험도를 나타내는 어종일수록 높은 어획노력을 투입할 때 생태학적으로 낮은 위험도를 나타내는 어종에 비해 자원감소가 더 빨리 일어나는 것으로 추정할 수 있다. 정량적 자원평가에서도 역시 참다랑어가 눈다랑어나 다른 다랑어류에 비해 자원이 가장 낮은 어종으로 평가되었으며(FAO, 2007c), 특히, 참다랑어는 1960년대 이후 어획노력과 자원량은 반비례관계를 보였다(Ichinokawa et al., 2007). 참다랑어의 어획량은 지속적으로 감소하였고, 최근 참다랑어 어획량은 1960년대

최고 어획량에 비해 약 2배정도 감소하였다. 눈다랑어의 어획량은 1960년대 어획량에 비해 최근에는 약 3배 이상의 어획량을 보이고 있다 (FAO, 2007b).

가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)는 지표와 특성 차별 비교에서 모두 낮은 단계의 위험도를 나타냈다. 이는 참다랑어(*Thunnus thynnus*)나 눈다랑어(*Thunnus obesus*)에 비해 가다랑어가 성숙연령이 낮고 성숙체장이 작아 재생산율이 더 높기 때문인 것으로 평가되었다. 반면에 가다랑어의 생산력에 대한 위험도는 황다랑어(*Thunnus albacares*)와 날개다랑어(*Thunnus alalunga*)와 같은 값으로 평가되었으나, 어구 영향력에 대한 민감도 부분에서는 아주 낮은 위험도로 평가되었다. 이는 가다랑어가 주로 표층에서 서식하여 중층을 주 어획 수심(25 - 309m)으로 하는 다랑어 연승어업에서는 많이 어획되지 않았기 때문이다 (FAO, 1993). 눈다랑어, 황다랑어, 날개다랑어의 경우 현재 중서부태평양해역의 눈다랑어 자원의 상태는 과도 어획된 상태는 아니지만 자원이 계속 감소하는 경향을 보이고 있으므로 자원 보존을 위해서는 어획노력 및 어획량을 감소를 권고하는 상태이다 (Langley et al., 2008; Langley et al., 2007; Hoyle et al., 2008). 그러나 가다랑어의 자원상태는 과도어획의 상태나 징후가 없으며 자원보존을 위한 어떠한 조치를 취하고 있지는 않다 (Langley and Hampton, 2008). 다랑어류에 대한 정량적 자원평가와 생태학적 위험도 평가를 비교하였을 때 생태학적 위험도가 높은 어종일수록 지속적으로 어업에 부정적인 영향을 받게 될 경우 자원감소의 위험이 더 커진다고 할 수 있겠다.

새치류의 지표와 특성에 대한 각각의 비교에서 황새치(*Xiphias gladius*)가 지표별 비교에서 낮은 위험도를 나타냈으며, 특성별 비교 역시 중간 단계의 위험도로 평가되었다. 이러한 결과는 황새치 자원량이 최근에 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 과도어획의 상태를 보이고 있지 않

은 것으로 평가한 최근 황새치의 정량적 평가결과를 잘 반영하고 있다 (Kolody et al., 2008). 그러나 녹새치(*Makaira mazara*)의 경우 중간 단계의 위험도와 근접한 높은 단계의 위험도로 평가되었으며, 이는 정량적 평가에서도 자원이 최대 지속적 생산량시의 자원량(B_{MSY})보다 낮게 추정되어 자원관리의 필요성이 대두되고 있다 (Kleiber et al., 2003).

상어류에 대한 지표별 비교평가에서는 11종 중 청새리상어(*Prionace glauca*), 청상아리(*Isurus oxyrinchus*), 홍살귀상어(*Sphyrna lewini*), 강남상어(*Pseudocarcharias kamoharui*), 산호상어(*Carcharhinus amblyrhynchos*) 등 5종을 제외한 나머지 6종은 어획평균체장이 성숙체장보다 작아 낮은 위험도로 평가되었다. 그러나 생산력과 민감도에 대한 특성별 비교평가특히, 한국다랑어 연승어업에 대한 영향과 그에 따른 어종의 재생산율에 대한 위험도평가에서는 모든 상어가 높은 단계의 위험도로 평가되었다. 모든 상어류는 난태생 어류로 성숙연령이 평균 10세 이상으로 재생산율이 가장 낮은 수준의 어류로 분석되고, 서식수심이나 분포 범위가 대부분 연승어구의 주 어획 수심에 분포하고 있어 민감도에서도 높은 단계의 위험도로 평가되었다. 이러한 연구 결과는 다랑어 연승어업이 상어류 자원상태에 직접적인 영향을 미치고 있다는 사실을 잘 반영하고 있다.

우리나라 다랑어 어획량의 90% 이상을 차지하고 전 세계 최대 다랑어 어장인 중서부태평양 수산위원회(Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)에서는 2008년에 상어류 자원평가 및 관리를 위해 다랑어 연승어업에서 가장 많이 어획되고, 읍서버나 어업자에 의해 식별이 용이한 청상아리, 장완홍상어(*Carcharhinus longimanus*), 큰눈환도상어(*Alopias superciliosus*) 및 청새리상어, 4종에 대한 각 회원국별 어업자료 수집을 권고하였다 (WCPFC, 2008). 그러나 위의 4종중 생태학적 위험도평가 결과 큰눈환도상

어와 청새리상어는 상대적으로 낮게 평가된 반면, 청상아리와 장완홍상어에 대한 위험도가 높기는 하나, 갈라파고스상어(*Carcharhinus galapagensis*), 홍살귀상어, 귀상어(*Sphyrna zygaena*)에 대한 위험도보다는 낮은 것으로 평가되었다. 생태학적 위험도평가가 어업의 영향에 대한 어종의 생물학적 재생산율에 대한 분석이라는 점을 고려할 때, 상어류 자원보존을 위해서는 우점종이나 식별이 용이한 점 외에 좀 더 과학적인 근거를 기반으로 시급히 자원보존이 취해져야할 종들의 우선순위를 정할 필요가 있다. 따라서 향후 상어류에 대한 자원평가 및 관리를 위해서는 WCPFC에서 제시한 4종보다는 생태학적 위험도가 더 높은 갈라파고스상어, 청상아리, 홍살귀상어, 귀상어에 대한 어업자료가 수집되고 자원평가를 통한 관리방안을 수립할 필요가 있다.

본 연구는 단일 종에 대한 정량적 평가를 벗어나 다종자원평가 및 생태계기반 자원평가의 개념으로 향후 자원평가 및 관리가 필요한 어종의 우선순위를 결정하는데 도움이 되는 예방적 접근법으로 사용 가능하며, 생태계의 효율적인 보존과 관리를 통한 생태계의 종 다양성을 유지와 어업활동으로 인한 관련어종 및 생태계의 위험도를 최소화 할 수 있는 방법으로 활용 가능하다.

결 론

본 연구에서는 중서부태평양해역의 한국다랑어연승어업에 의해 영향을 받는 목표종 뿐만 아니라 부수어획되는 모든종에 대한 생태학적 위험도평가를 실시하였다. 이를 위해 2005 - 2008년 간 중서부태평양 한국 다랑어 연승어업에 대한 총 7회에 걸친 과학자 승선조사 자료가 사용되었다. 생태학적 위험도평가 결과 다랑어류, 새치류 및 바다거북류에 속하는 대부분의 종들이 중간 단계의 위험도로 평가되었으나, 상어류는 모든 종이 높은 단계의 위험도로 평가되었다. 생산력 - 민감도 분석법은 한국다랑어 연승어업에 대한 영향과 그에 따른 어종의 재생산율에 대한

위험도를 평가하는 것이기 때문에 연구 결과 다랑어 연승어업이 상어류 자원상태에 직접적인 영향을 미치고 있다는 사실을 알 수 있다. 중서부태평양수산위원회에서 상어류 자원보존을 위해서는 우점종이나 식별이 용이한 점 때문에 청상아리, 장완홍상어, 큰눈환도상어 및 청새리상어 등 4종에 대한 자료수집을 권고하고 있으나, 좀 더 과학적인 근거를 기반으로 시급히 자원보존이 취해져야할 종들의 우선순위를 정할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 원양어업자원조사사업의 일환으로 수행되었으며(RP - 2009 - FR - 003), 본 논문 수집에 협조해준 국제읍서버 및 조사선 선장 및 선원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2007a. Report of the expert consultation on international guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas, pp. 48.
- FAO, 2007b. Capture production 2005. FAO Yearbook of Fishery Statistics Vol.100/1, pp. 539.
- FAO, 2007c. Methodological Workshop on the Management of Tuna Fishing Capacity. Stock status, data envelopment analysis, industry surveys and management options. FAO Fisheries Proceedings P8, pp. 218.
- FAO, 1993. Interactions of Pacific tuna fisheries. Volume 2 Papers on biology and fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 336/2. pp. 439.
- Gilman, E., S. Clarke, N. Brothers, J. Alfaro-Shigueto, J. Mandelman, J. Mangel, S. Petersen, S. Piovano, N. Thomson, P. Dalzell, M. Donson, M. Goren and T. Werner, 2008. Shark interactions in pelagic longline fisheries. Mar. Pol, 32, 1 - 18.
- Hoyle1, S., A. Langley, and J. Hampton, 2008. Stock assessment of albacore tuna in the South Pacific Ocean. WCPFC-SC4-2008/SA-WP-8. 4th Regular

- Session of the WCPFC Scientific Committee, Port Moresby, pp. 126.
- Ichinokawa, M., M. Kai, Y. Takeuchi and R. Conser, 2007. Brief review of the methods for the future projections of Pacific bluefin tuna stock assessment. ISC/07/PBFWG-3/21, pp. 29.
- Kirby, D.S., 2006. An ecological risk assessment for species caught in WCPO longline and purse seine fisheries. Working Paper EB-WP1, 2nd Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Manila, pp. 25.
- Kirby, D.S., B. Moloney, 2007. An ecological risk assessment(ERA) for the effects of fishing in the Western & Central Pacific Ocean: research planning workshop report and draft research plan. Working Paper EB-WP3, 3rd Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Honolulu, pp. 31.
- Kleiber, P., M.G. Hinton and Y. Uozumi, 2003. Stock assessment of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific using MULTIFAN-CL. Marine and Freshwater Research. 54(4), 349 - 360.
- Kolody, D., R. Campbell and N. Davies, 2008. A MULTIFAN-CL stock assessment of South-West Pacific swordfish 1952-2007. WCPFC-SC4-2008 /SA-WP-6. 4th Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Port Moresby, pp. 90.
- Langley, A. and J. Hampton, 2008. Stock assessment of skipjack tuna in the western and Central Pacific Ocean. WCPFC-SC4-2008/SA-WP-4. 4th Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Port Moresby, pp. 74.
- Langley, A., J. Hampton, K. Pierre and S. Hoyle, 2008. Stock assessment of bigeye tuna in the Western and Central Pacific Ocean, including an analysis of management options. WCPFC-SC4-2008/SA-WP-1. 4th Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Port Moresby, pp. 137.
- Langley, A., J. Hampton, P. Kleiber and S. Hoyle, 2007. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean, including an analysis of management options. WCPFC-SC3-SA SWG/WP-01. 3rd Regular Session of the WCPFC Scientific Committee, Honolulu, pp. 120.
- Moon, D.Y., S.J. Hwang, D.H. An and S.S. Kim, 2007. Bycatch of sharks in Korean tuna longline fishery. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43(4), 392 - 338.
- Pikitch, E.K., C. Santora, E.A. Babcock, A. Bakun, R. Bonfil, D.O. Conover, P. Dayton, 2004. Ecosystem based fishery management. Science, 305, 346 - 347.
- Smith, A.D.M., E.J. Fulton, A.J. Hobday, D.C. Smith and P. Shoulder, 2007. Scientific tools to support the practical implementation of ecosystem-based fisheries management. ICES J. Mar. Sci., 64, 633 - 639.
- Stobutzki, I., M. Miller and D. Brewer, 2001. Sustainability of fishery bycatch: a process for assessing highly diverse and numerous bycatch. Environmental Conservation, 28(2), 167 - 181.
- WCPFC(Western and Central Pacific Fisheries Commission), 2008. Executive summary. Commission for the Conservation and Management of highly migratory fish stocks in the Western and Central Pacific Ocean. Scientific committee fourth regular session. 11 - 22, Aug., 2008, pp. 266.
- Yokota, K., M. Kiyota and H. Minami, 2006. Shark catch in a pelagic longline fishery: Comparison of circle and tuna hooks. Fish. Res., 81, 337 - 341.

2009년 2월 5일 접수

2009년 2월 12일 1차 수정

2009년 2월 12일 수리