

우리나라 다랑어연승어업에 있어서 환형낚시와 재래식낚시를 사용하여 목표종의 어획률을 결정하는 요인 분석

안두해 · 권유정* · Keith Bigelow² · 문대연 · 이성일
국립수산과학원, ¹부경대학교 수산물리학과, ²미국 태평양도서수산과학센터

Determination factors for catch rate of the target species between circle hook and straight shank hook in the Korean tuna longline fishery

Doo Hae AN, Youjung KWON^{1*}, Keith Bigelow², Dae Yeon MOON and Sung Il LEE

National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI), Busan 619-705, Korea

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

²Pacific Islands Fisheries Science Center, Hawaii 96822-2396, USA

We conducted experiments to compare the catch rate of bigeye tuna and yellowfin tuna between circle hooks and straight shank hook in the Korean tuna longline fishery at the eastern and central Pacific Ocean from 2005 to 2007. We analyzed difference of fork length, survival and hooking location between a circle hook and a straight shank hook for both tunas, respectively. There was no difference in the mean fork length size of yellowfin tuna caught on the two type of hook but bigeye tuna was significant. In case of survival, there was no difference between two hook type, but the difference of hooking location was significant for both species. We also analyzed to find determinants of both tunas catch rate using generalized linear models (GLMs) which were used latitude, longitude, year, month, depth, hook type, bait type and so on as independent variables. Spatial factors, latitude and longitude, and temporal factors, year and month, affected catch rate of bigeye tuna and yellowfin tuna. And also, depth such as a marine environment factor was influenced on catch rate.

Keywords: Bigeye tuna *Thunnus obesus*, Yellowfin tuna *Thunnus albacares*, Circle hook, Straight shank hook, Catch rate

서 론
전 세계적으로 표층어류의 자원상태는 지속적
으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 (Baum et al.,
2003), 열대 태평양해역에 서식하는 다랑어류 및

*Corresponding author: kwonyj@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5892, Fax: 82-51-629-5886

새치류, 상어류의 자원상태는 다랑어연승어업이 시작되기 전과 비교하여 10분의 1 수준으로 감소되었다 (Ward and Myers, 2005). 그로 인해 중서부태평양수산위원회 (Western and Central Pacific Fisheries Committee, WCPFC) 등 관련 국제수산기구에서는 목표종에 대한 보존 및 관리를 위해 어획당량제도를 실시하고 있다 (Cox, 2009).

또한, 부수어획종에 대한 보존 및 관리를 위해 1999년에 FAO에서 상어류 (IPOA-SHARKS) 및 바다새 (IPOA-SEABIRDS) 등에 대한 국제행동계획 (International Plans of Action, IPOA; FAO, 1999)을 채택하였고, 2004년에는 바다거북 사망률을 감소시키기 위한 추가적인 보존조치들이 채택·개발되었다 (FAO, 2004 and 2005). 이러한 배경에 의하여 주요 목표종의 어획률을 향상시키고 동시에 부수어획물의 어획률을 저감시키는 데 보다 효과적인 환형낚시가 개발되었다.

환형낚시는 1970년대 이전부터 다랑어연승어업에서 일반적으로 사용되고 있는 재래식낚시 (straight shank hook), 즉, 형태가 일직선인 것과는 달리 낚시모양이 전체적으로 둥근 형태를 이루고 있다 (Ward and Hindmarsh, 2007). 이러한 환형낚시는 바다거북 등이 낚시 바늘을 삼키는 것을 어렵게 하기 때문에 주로 턱에 걸려 바늘을 쉽게 제거함으로써 방류 후 생존율을 증가시키는 것으로 나타났다 (Watson et al., 2005; Watson and Kerstetter, 2006; Boggs and Swimmer, 2007; Gilman et al., 2007). 그러나 대규모 상업적 어업에서는 부수어획물의 생존율을 높이는 것도 중요하지만, 무엇보다도 다랑어 및 새치류와 같은 목표종의 어획률에 영향을 미치지 않는 것이 가장 중요하기 때문에, 지역수산관리기구 (Regional Fisheries Management Organization, RFMOs)에서는 환형낚시에 대한 다양한 연구들을 수행하고 있다 (Yokota et al., 2006; Kim et al., 2008). 환형낚시가 다랑어의 어획률을 증가시킨다는 연구결과 (Hoey and Moore, 1999; Falterman and Graves, 2002)를 바탕으로 현재 일부 어선에서 이미 환

형낚시를 사용하고 있으며 (Hoey, 1996), 또한 지역수산관리기구 (RFMOs)에서는 부수어획종에 대한 보호 및 보존을 위해 환형낚시의 사용을 권장하고 있다. 우리나라도 다랑어를 어획하고 있는 원양 조업국으로서 지역수산관리기구 (RFMOs)에서 요구하고 있는 부수어획종에 대한 보존 및 관리 조치를 이행할 의무가 있으며, 이러한 규제에 대비하기 위해서는 관련된 연구수행 등이 필요할 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 다랑어연승어업에 재래식낚시와 환형낚시를 사용하여 주요 목표종에 대한 어획률을 비교·분석하였고, 어획에 미치는 영향을 파악하였다. 이러한 결과를 통해 우리나라 다랑어연승어업이 대상자원을 이용하고 보존하는데 보다 효과적인 형태의 낚시를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

국립수산과학원에서는 2005년에서 2007년까지 중동부태평양해역 (위도 $9^{\circ}13' S - 1^{\circ}53' S$, 경도 $127^{\circ}50' W - 171^{\circ}58' W$)에서 한국 다랑어연승어선을 이용하여 재래식낚시와 환형낚시에 대한 시험조업을 실시했다 (Fig. 1). 2005년과 2007년에 사용된 시험조업선은 411톤급으로 1,200마력의 다랑어연승어선이었으며, 2006년에는 416톤급, 1,200마력의 다랑어연승어선으로 시험조업을 수행하였다. 조사기간 및 횟수는 2005년에는 7월 19일에서 8월 11일까지 21회 투·양승하

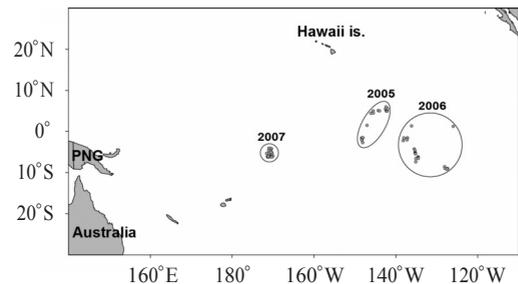


Fig. 1. Map showing the survey areas by the Korean tuna longline fishery in the Pacific Ocean during 2005–2007.

이는 6.6cm, 7.4cm, 8.1cm 이었다 (Fig. 2 and Table 1). 조사에 사용된 형태별 낙시수는 J4.0이 54,061개, C15s는 37,216개, C15o는 6,900개, C16s는 22,516개, C16o는 6,900개, C18s는 37,216개, C18o는 6,900개 이었다. 2005년에는 낙시형태별 배열을 모두 동일하게 하여 21회 투승하였으나 (Fig. 3 (a)), 2006년부터는 조업수심과 낙시형태에 따른 어획률의 편향을 줄이기 위해 투승별로 낙시형태별 배열을 상이하게 설정하였다. 2006년에는 처음 투승에서 14번째 투승까지는 A유형 (Fig. 3 (b)), 15번째부터 28번째 투승까지는 B유형 (Fig. 3 (c))으로 총 28번의 투승을 실시하였다. 2007년에는 세 가지 유형으로 구분하여 1-4, 13-15번째 투승은 A유형 (Fig. 3 (d)), 5-8, 16-18번째 투승은 B유형 (Fig. 3 (e)), 9-12, 19-21번째 투승은 C유형 (Fig. 3 (f))으로 총 21회의 투승을 실시하였다. 투승은 대부분 오전 9시경에 시작하여 5시간 동안 투승작업을 하고, 약 3시간동안의 침적시간이 지난 후에 양승작업을 시작하여 다음날 새벽녘에 양승작업을 종료하였으며, 양승시 낙시별 주요 어획물의 생존상태, 손상상태, 어획위치, 성별, 체장, 체중 등을 조사하였다.

환형낙시와 재래식낙시간에 있어서 눈다랑어와 황다랑어의 어획률 (CPUE)은 어획미수를 1,000낙시로 나눈 값을 사용하였다. 낙시배열에 따른 어획률 차를 분석하기 위해 어획률이 가장 높은 6-8번에 설치된 낙시의 어획물을 대상으로 어획률에 대한 통계분석을 실시하였다. 2005년에는 모든 조사가 동일한 배열을 사용하였기 때문에 제외하였고, 2006년과 2007년을 대상으로 t-검정 및 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 실시하였다.

환형낙시와 재래식낙시간 어획물의 평균 체장 (fork length, FL) 차를 알아보기 위해 다랑어연승어업의 주요 목표종인 눈다랑어와 황다랑어를 대상으로 t-검정 (student's t-test)을 시행하였다. 환형낙시와 재래식낙시간의 비교를 위

해 환형낙시는 크기와 휘어짐 (off-set)의 유무에 상관없이 모두 환형낙시로 가정하였다.

조업시 어획물이 걸리는 부위가 환형낙시와 재래식낙시간에 차이가 있는지 없는지를 검정하기 위해 Fisher의 정확도 검정을 시행하였다. 낙시에 걸린 어획위치는 몸통 (body), 입 (mouth), 턱 (jaw) 및 목구멍 (throat)으로 구분하였다.

환형낙시와 재래식낙시간 어획물의 생존상태 차이 검정을 위해 Fisher의 정확도 검정 (exact test)을 시행하였다. 분석을 위해 어획된 눈다랑어와 황다랑어의 생존상태를 생존(alive)과 사망(dead)으로 구분하였고, 식 (1)에 의해 오즈비 (odds ratio, OR)를 계산하여 상대적인 생존율을 추정하였다.

$$OR = \frac{p_c(1-p_c)^{-1}}{p_j(1-p_j)^{-1}} \quad (1)$$

여기서, p_c 는 환형낙시에 어획되어 생존할 확률, p_j 는 재래식낙시에 어획되어 생존할 확률을 나타낸다. 만약 오즈비가 1.25로 계산이 되었을 경우 이 종은 재래식낙시보다 환형낙시에서 어획되어 생존할 확률이 상대적으로 25% 높다는 것을 의미한다. 반대로 오즈비가 0.75라는 것은 재래식낙시에서 어획되어 생존할 확률이 환형낙시에 비해 상대적으로 25%가 더 높다는 것을 의미한다 (Ward et al., 2009).

환형낙시와 재래식낙시간에 있어서 어획률을 비교·분석하기 위하여 R 통계프로그램을 이용하여 일반화선형모델 (generalized linear models, GLMs) 분석을 실시하였다 (R Development Core Team, 2006). GLM의 일반식은 식 (2)와 같으며, 종속변수의 기댓값은 각 독립변수들의 선형관계를 가정하였다 (Guisan et al., 2002).

$$g(\mu_i) = X_i^T \beta \quad (2)$$

여기서 g 는 미분함수이고, $\mu_i = E(Y_i)$ 는 종속변수 i 번째에 대한 기댓값, X_i 는 종속변수 i 번째 값에 대한 독립변수들의 벡터, β 는 추정 가능한 파라

미터의 벡터, Y_i 는 i 번째 반응변수이다.

식 (2)로부터 다랑어연승어업에서 어획되는 눈다랑어와 황다랑어의 어획률에 영향을 미치는 요소를 분석에 적용하기 위한 일반화선형모델은 식 (3)과 같다.

$$p_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i,j} + \dots + \beta_n X_{n,i,j} \quad (3)$$

여기서 $p_{i,j}$ 는 i 번째 투승에서 낚시에 의한 어획미수를 나타내며, $X_{1 \dots n}$ 은 독립변수, $\beta_{0 \dots n}$ 은 각각의 파라미터이다. 종속변수는 Poisson 분포를 가정하였으며, 독립변수는 총 8개로, 연도 (year), 달 (month), 위도 (latitude), 경도 (longitude), 조업수심 (depth), 낚시형태 (hook type), 낚시크기 (hook size), 그리고 낚시의 휘어짐 유무 (off-set)로 두었다. 위도, 경도 및 조업수심은 일차식과 이차식으로 구분하여 모델에 더욱 적합한 변수를 사용하였다. 조업수심은 뜰과 뜰 사이에 있는 낚시에 번호를 매겨 총 8단계로 구분하여, 좌측 가장자리에 있는 낚시를 1번으로 하여 순서대로 17번까지 번호를 매겼다. 각각의 낚시번호를 다시 조업수심에 대해 번호를 부여하였다 (Table 2). 즉, 조업수심번호 1번은 낚시번호 1번과 17번으로 조업수심이 상대적으로 얇은 곳 (shallow)으로 설정하였고, 조업수심번호 8번은 낚시번호 8, 9, 10번으로 상대적 조업수심이 가장 깊은 곳 (deep)으로 설정하였다.

최적모델 선정을 위해 Akaike's Information Criterion (AIC)을 계산하였으며, 식 (4)와 같다.

$$AIC = -2\log(L) + 2K \quad (4)$$

여기서 L 은 우도함수에서 최댓값이 되며, K 는 모델에서 파라미터의 숫자이다 (Akaike, 1985). 여기서 우도함수는 각 모델마다 실측치를 얻을 수 있는 확률을 최대로 하는 값, 즉 최대우도추정치 (maximum likelihood estimator, MLE)를 계산하는 함수이다. 예측모델은 실측치의 분포와 예측치의 분포 사이의 차이를 기준으로 정의된 것으로, 그 차가 적을수록 실측치를 잘 예측하는

모형이라고 할 수 있으므로, 최적모델은 AIC 값이 가장 낮은 모델로 선정하였다. 예측모델의 독립변수의 순서는 AIC가 가장 작은 모델, 즉, 어획률에 영향을 크게 미치는 순서대로 독립변수를 선정하여 두 어종에 대한 적합한 모델을 구성하였다.

결 과

각 조업수심별 눈다랑어와 황다랑어의 어획률은 조업수심이 깊어질수록 두 어종 모두 어획률이 높아지는 경향을 나타냈으며, 표준편차는 각각 1.37과 1.07로 눈다랑어가 황다랑어에 비해 조업수심에 따라 어획률의 편차가 큰 것으로 나타났다 (Table 2). 낚시형태별 주요 대상어종의 어획률에서 눈다랑어는 C16s에서 가장 높았고, 다음으로 C16o, C15o 순이었고, 황다랑어 역시 C16s에서 가장 높았고, 다음으로 C18s, C15o의 순이었다 (Table 3). 눈다랑어와 황다랑어 모두 낚시형태가 C16s인 환형낚시에서 어획률이 가장 높은 것으로 나타났다.

낚시배열 및 낚시형태에 대한 어획률 분석에서 대부분의 낚시형태에서 통계적으로 유의하지 않은 결과를 나타냈으므로, 낚시배열이 어획률에 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다 (Table 4). 눈다랑어는 2007년 C15s에서, 황다랑어는 2006년 재래식낚시 및 2007년 C16s에서 통

Table 2. Nominal CPUEs (number per 1,000 hooks) of bigeye tuna and yellowfin tuna by fishing depth of the Korean tuna longline fishery in the Pacific Ocean during 2005–2007

Depth	Hook number	Bigeye tuna	Yellowfin tuna
1 (shallow)	1, 17	5.55	2.74
2	2, 16	6.26	3.80
3	3, 15	5.35	3.51
4	4, 14	7.95	4.11
5	5, 13	8.46	4.89
6	6, 12	7.19	4.04
7	7, 11	8.69	5.65
8 (deep)	8, 9, 10	8.52	5.88
standard deviance		1.37	1.07

계적으로 다소 차이가 있음을 나타냈으나, 그 유의성이 크지는 않았으며, 대부분의 결과들은 어획률의 차이가 없음을 나타냈다.

환형낚시와 재래식낚시에 의해 어획된 눈다랑어와 황다랑어의 체장 차이를 분석한 결과 (Table 5), 눈다랑어의 평균체장은 환형낚시에서 129.5cm, 재래식낚시에서 125.9cm이었고, 황다

랑어는 환형낚시에서 124.2cm, 재래식낚시에서 122.0cm로 나타나 환형낚시에서 어획된 눈다랑어 및 황다랑어의 평균체장이 재래식낚시보다 각각 3.6cm 및 2.1cm가 더 컸다. 눈다랑어는 두 낚시간의 어획 체장차가 통계적으로 유의한 결과를 보였으나 ($p=0.022$), 황다랑어는 통계적으로 유의하지 않았기 때문에 ($p=0.129$) 두 낚시간의 어획 체장차가 없는 것으로 나타났다.

어체가 낚시에 걸리는 부위 (hooking location)에 대한 조사결과는 Table 6과 같다. 눈다랑어가 낚시에 걸린 부위는 환형낚시와 재래식낚시 모두 입에 걸리는 비율이 가장 높았으며, 다음으로 목구멍, 턱, 몸통 순으로 나타났다. 황다랑어도 마찬가지로 두 낚시형태에서 모두 입에 걸리는 비율이 가장 높았고, 다음으로 목구멍에 걸리는 비율이 높은 것으로 나타났으며, 몸통과 턱에 걸려 어획되는 경우는 발견되지 않았다. 유의성 검

Table 3. Nominal CPUEs (number per 1,000 hooks) of bigeye tuna and yellowfin tuna by hook type of the Korean tuna longline fishery in the Pacific Ocean during 2005 – 2007

Hook type	Bigeye tuna	Yellowfin tuna
J4.0	7.06	3.66
C15o	8.46	3.90
C15s	6.19	4.69
C16o	8.58	3.91
C16s	10.43	7.97
C18o	7.11	3.60
C18s	6.06	4.79

Table 4. Summary of p-values of student's t-test and ANOVA test between arrays of each hook type in 2006 and 2007 for bigeye tuna and yellowfin tuna

Species	Year	Hook types						
		Straight shank hook	C15s	C16s	C18s	C15o	C16o	C18o
Bigeye tuna	2006	0.275	0.094	0.397	0.180	–	–	–
	2007	0.771	0.026*	0.412	0.334	0.095	0.734	0.914
Yellowfin tuna	2006	0.013*	0.163	0.163	0.499	–	–	–
	2007	0.325	0.247	0.021*	0.150	0.406	0.562	0.942

* $0.01 \leq p < 0.05$

Table 5. Summary statistics for mean fork length (FL) of bigeye tuna and yellowfin tuna on the two hook types

Species	Number of samples		Mean length (cm)		p-value
	Circle hook	Straight shank hook	Circle hook	Straight shank hook	
Bigeye tuna	914	400	129.5	125.9	0.022*
Yellowfin tuna	450	180	124.2	122.0	0.129

* $0.01 \leq p < 0.05$

Table 6. Summary of Fisher's exact tests of differences in the location of hooking between hook types

Species	Number of samples								p-value
	Circle hook				Straight shank hook				
	Body	Jaw	Mouth	Throat	Body	Jaw	Mouth	Throat	
Bigeye tuna	2	2	746	133	2	–	294	72	< 0.001***
Yellowfin tuna	–	–	419	20	–	–	155	16	0.034*

*** $0 \leq p < 0.001$, * $0.01 \leq p < 0.05$

Table 7. Effect of hook type on survival. The odds ratio "OR (alive)" from the Fisher's exact test is the probability of an animal being retrieved alive on a circle hook compared to the probability of it being retrieved alive on a tuna hook. A value greater than one indicates that the species was more likely to be alive on circle hook than on J4.0 hook

Species	Number of samples		OR (alive)	p-value
	Circle hook	Straight shank hook		
Bigeye tuna	939	407	1.230	0.115
Yellowfin tuna	454	182	0.954	0.789

Table 8. Model comparison of a generalized linear model fit to bigeye tuna catch. Bold indicates the best fitting GLM

Models	Degrees of freedom	Δ Residual Deviance	AIC	Pseudo-R ²
YR	1,112	36.14	2,040.89	0.038
MN	1,111	32.31	2,045.71	0.034
Lat	1,113	41.24	2,034.78	0.043
Lat ²	1,112	50.32	2,026.70	0.052
Long	1,113	0.08	2,075.94	0.000
Long ²	1,112	9.59	2,067.44	0.010
Depth	1,107	33.91	2,048.11	0.035
Depth ²	1,112	21.69	2,055.33	0.023
HT	1,108	24.09	2,056.93	0.025
Size	1,111	13.62	2,064.40	0.014
Off-set	1,113	2.71	2,073.31	0.003
Lat ² +YR	1,110	57.02	2,022.01	0.059
Lat ² +MN	1,109	73.32	2,006.71	0.076
Lat ² +Long ²	1,110	57.07	2,021.96	0.060
Lat ² +Depth	1,105	80.40	2,003.63	0.084
Lat ² +HT	1,106	58.63	2,024.39	0.061
Lat ² +Size	1,109	55.65	2,024.37	0.058
Lat ² +Off-set	1,111	50.33	2,027.70	0.052
Lat ² +Depth+YR	1,103	85.05	2,000.98	0.089
Lat ² +Depth+MN	1,102	101.90	1,985.12	0.106
Lat ² +Depth+Long ²	1,103	84.83	2,001.19	0.088
Lat ² +Depth+HT	1,099	93.05	1,996.98	0.097
Lat ² +Depth+Size	1,102	89.20	1,997.82	0.093
Lat ² +Depth+Off-set	1,104	81.49	2,003.54	0.085
Lat ² +Depth+MN+YR	1,101	103.93	1,984.10	0.108
Lat ² +Depth+MN+Long ²	1,100	103.28	1,985.75	0.108
Lat ² +Depth+MN+HT	1,096	112.79	1,980.24	0.118
Lat ² +Depth+MN+Size	1,099	110.08	1,979.94	0.115
Lat ² +Depth+MN+Off-set	1,101	101.93	1,986.10	0.106
Lat ² +Depth+MN+Size+YR	1,098	112.53	1,978.50	0.117
Lat ² +Depth+MN+Size+Long ²	1,097	111.80	1,980.23	0.117
Lat ² +Depth+MN+Size+HT	1,096	112.79	1,980.24	0.118
Lat ² +Depth+MN+Size+Off-set	1,098	110.09	1,980.93	0.115
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+Long ²	1,096	114.89	1,978.14	0.120
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+HT	1,095	115.95	1,978.07	0.121
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+Off-set	1,097	112.61	1,979.42	0.117
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+HT+Long ²	1,093	118.30	1,977.73	0.123
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+HT+Off-set	1,095	115.95	1,978.07	0.121
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+HT+Long ² +Off-set	1,093	118.30	1,977.73	0.123

YR: year, MN: month, Lat: latitude, Long: longitude, HT: hook type, Size: hook size and Off-set: circle hook with off-set

우리나라 다랑어연승어업에 있어서 환형낚시와 재래식낚시를 사용하여 목표종의 어획률을 결정하는 요인 분석

정에서 눈다랑어 ($p < 0.001$)와 황다랑어 ($p = 0.034$) 모두 통계적으로 유의하였으므로, 두 낚시 시간 어체에 걸리는 위치의 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 7은 어획된 개체의 생존상태에 대한 환

형낚시와 재래식낚시의 차이를 분석한 결과를 나타낸다. 상대적 어획률을 나타내는 오즈비에서 눈다랑어는 1.230, 황다랑어는 0.954로 계산되었다. 즉, 눈다랑어는 재래식낚시보다 환형낚시에서 생존할 수 있는 확률이 23% 더 높은 것

Table 9. Model comparison of a generalized linear model fit to yellowfin tuna catch. Bold indicates the best fitting GLM

Models	Degrees of freedom	Δ Residual Deviance	AIC	Pseudo-R ²
YR	540	67.60	1,150.64	0.101
MN	539	43.97	1,175.27	0.065
Lat	541	18.09	1,199.15	0.027
Lat ²	540	25.90	1,192.34	0.039
Long	541	69.17	1,148.07	0.103
Long ²	540	69.26	1,148.98	0.103
Depth	535	28.42	1,194.82	0.042
Depth ²	540	24.14	1,194.10	0.036
HT	536	25.15	1,197.09	0.037
Size	539	7.37	1,211.87	0.011
Off-set	541	14.73	1,202.51	0.022
Long2+YR	538	77.11	1,143.13	0.115
Long2+MN	537	73.50	1,147.74	0.109
Long2+Lat2	538	93.45	1,126.79	0.139
Long2+Depth	533	88.18	1,137.05	0.131
Long2+HT	534	77.70	1,146.54	0.116
Long2+Size	537	73.06	1,148.18	0.109
Long2+Off-set	539	75.12	1,144.12	0.112
Long2+Lat2+YR	536	105.76	1,116.48	0.157
Long2+Lat2+MN	535	101.41	1,121.83	0.151
Long2+Lat2+Depth	531	110.83	1,116.40	0.165
Long2+Lat2+HT	532	102.55	1,123.69	0.153
Long2+Lat2+Size	535	96.83	1,126.41	0.144
Long2+Lat2+Off-set	537	100.53	1,120.71	0.150
Long2+Lat2+Depth+YR	529	123.28	1,105.96	0.183
Long2+Lat2+Depth+Month	528	118.50	1,111.74	0.176
Long2+Lat2+Depth+HT	525	117.37	1,115.87	0.175
Long2+Lat2+Depth+Size	528	116.65	1,113.59	0.174
Long2+Lat2+Depth+Off-set	530	113.50	1,114.73	0.169
Long2+Lat2+Depth+YR+MN	527	132.31	1,098.93	0.197
Long2+Lat2+Depth+YR+HT	523	129.79	1,105.45	0.193
Long2+Lat2+Depth+YR+Size	526	128.57	1,103.67	0.191
Long2+Lat2+Depth+YR+Off-set	528	127.40	1,102.84	0.190
Long2+Lat2+Depth+YR+MN+HT	521	139.18	1,098.06	0.207
Long2+Lat2+Depth+YR+MN+Size	524	137.60	1,096.64	0.205
Long2+Lat2+Depth+YR+MN+Off-set	526	136.61	1,095.63	0.203
Long2+Lat2+Depth+YR+MN+Off-set+HT	521	139.18	1,098.06	0.207
Long2+Lat2+Depth+YR+MN+Off-set+Size	523	138.56	1,096.68	0.206
Lat ² +Depth+MN+Size+YR+HT+Long ² +Off-set	521	139.18	1098.06	0.207

YR: year, MN: month, Lat: latitude, Long: longitude, HT: hook type, Size: hook size and Off-set: circle hook with off-set

으로 나타났고, 황다랑어는 재래식낚시에서 생존할 확률이 환형낚시보다 상대적으로 4.6% 더 높은 것으로 나타나 두 낚시형태간에 큰 차이는 없었다. 그러나 통계적인 유의성에서 눈다랑어와 황다랑어의 확률값 (p -value)이 각각 0.115와 0.789로 두 어종 모두 유의하지 않았기 때문에 두 낚시간의 생존율의 차이는 없었다.

눈다랑어와 황다랑어의 어획률에 미치는 요소들을 분석하기 위해 연도, 월, 위·경도, 조업수심 등 8개의 요소들에 대한 일반화선형모델 (GLM)의 결과는 각각 Table 8 및 Table 9와 같다. 단계선택 (stepwise selection)에 의해 어획률에 크게 영향을 미치는 변수들을 선택한 결과 눈다랑어의 어획률에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 공간적 요소인 위도였다 (Table 8). 위·경도 및 조업수심의 경우 일차식과 이차식의 두가지 형태로 모델에 적합화시켜 보았으며, 그 결과 위·경도의 경우 AIC값이 더 작은 이차식의 형태가 모델에 더 적합화하였다. 따라서 눈다랑어의 어획률에 가장 크게 영향을 미치는 요소로는 위도였고, 다음으로 월, 낚시형태, 조업수심, 연도, 경도 순으로 나타났다. 낚시의 크기와 휘어짐 유무에 대한 변수는 눈다랑어의 어획률에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

황다랑어의 어획률에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 공간적 요소인 경도가 가장 컸다 (Table 9). 위·경도 및 조업수심에 대한 일차식 형태와 이차식 형태의 모델 적합도에서 위도의 경우 일차식보다 이차식에서 AIC값이 더 작았으므로 이차식의 형태를 사용하였다. 경도는 이차식보다는 일차식 유형에서 AIC값이 더 작았으나 이후 다른 변수들을 추가하여 모델에 적합화시켜 본 결과 AIC값이 이차식 유형에서 더 작은 값을 나타냈기 때문에 위도의 경우와 마찬가지로 경도 역시 이차식 유형으로 모델에 적합화시켰다. 조업수심의 경우에는 눈다랑어와 마찬가지로 이차식 유형에서 더 작은 AIC값을 나타냈으나 이후 변수들을 추가하여 모델에 적합화

시켜 본 결과 일차식 유형의 AIC값이 더 작은 것으로 나타났기 때문에 조업수심은 일차식 유형으로 모델에 적합화시켰다. 그 결과 황다랑어의 어획률에 가장 크게 영향을 미치는 변수는 경도였고, 다음으로 위도, 조업수심, 연도, 월, 휘어짐 유무의 순으로 나타났다. 낚시크기 및 낚시형태에 대한 변수는 황다랑어의 어획률에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

고 찰

본 연구는 다랑어연승어업에서 부수어획되는 바다거북의 생존율을 증가시키기 위해 개발된 환형낚시가 우리나라 다랑어연승어업에서도 사용가능한지에 대한 여부를 알아보기 위해 우리나라 다랑어연승어선을 대상으로 재래식낚시와 환형낚시를 사용하여 시험조업을 실시하였다. 그 결과가 낚시형태에 따른 주요 목표종의 어획률이 통계학적으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 환형낚시에 의한 어획률이 재래식낚시보다 높은 값을 보였다. 특히, 눈다랑어의 어획률은 환형낚시 C16s에서 보다 높은 것으로 나타났다. Watson et al. (2003)는 멕시코만에서 수행한 환형낚시에 대한 어획률 조사에서 C16s의 어획률이 가장 효과적이라고 보고하였으며, Boggs and Swimmer (2007)는 인도양해역에서 낚시형태별 어획률을 조사한 결과 역시 목표종에 대해 환형낚시의 어획률이 가장 효과적이었다고 보고하였다. 이 외에도 최근의 대부분 연구결과에서 C16s가 재래식낚시에 비해 어획률이 높다고 보고하고 있다 (Hoey, 1996; Hoey and Moore, 1999; Boggs and Swimmer, 2007; Falterman and Graves, 2002; Kerstetter and Graves, 2006). 그리고 일부 연구결과에서는 통계적으로 유의하지는 않았지만, 눈다랑어의 경우 C18o의 어획률이 가장 효과적이라고 하였다 (Watson et al., 2005; Minami et al., 2006). 따라서 위 연구결과들을 종합해 보면, 조사해역 또는 대상어종에 따라 가장 효과적인 낚시형태의 차이

는 있으나, 대부분의 연구결과들이 환형낙시의 어획률이 재래식낙시 보다 효과적인 것으로 보고하였고, 본 연구결과에서도 환형낙시가 재래식낙시 보다 효과적인 것으로 판단된다.

어획량과 관련되는 어획물의 평균체장 비교에서도 통계적으로 유의한 결과를 나타내지는 않았으나 ($p>0.05$), 단순산술평균으로는 환형낙시에 어획된 개체의 평균체장이 더 큰 것으로 나타났다. Kerstetter and Graves (2006)가 대서양연안에서 수행한 조사결과에 의하면, 황다랑어의 경우 체장이 120cm 이하의 소형개체들이 재래식낙시에서 많이 어획이 되었으며, 120cm 이상 개체들은 대부분 환형낙시에서 어획이 되어 환형낙시에서 보다 대형개체들이 많이 어획되는 것으로 보고하였고, 이러한 결과는 통계학적으로도 유의하였다. 이는 환형낙시가 재래식낙시에 비해 크기가 크기 때문에 상대적으로 소형어보다는 대형어가 더 많이 어획되는 것으로 생각된다. 그러나 Ward et al. (2009)는 호주 근해에서 이와 같은 조사를 수행하였고, 그 결과 재래식낙시에 의한 어획물의 평균체장이 환형낙시에 의한 어획물 보다 더 컸으나 통계학적으로는 유의하지 않았다고 보고하였다. 따라서 연구결과들을 종합해 볼 때 재래식낙시와 환형낙시에 의한 어획물의 평균체장은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

어체가 낙시에 걸리는 부위에 어획된 개체의 생존율과 관련이 있으며, 환형낙시와 재래식낙시간의 유의성 검정에서 두 낙시간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 낙시가 어체의 어느 부위에 걸리는가에 따라서 방류 후 생존율에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 어획된 개체는 대부분 입과 목구멍에 걸렸으며, 그 중 목구멍보다는 입에 걸린 비율이 재래식낙시에 비해 환형낙시가 더 높았다. Kerstetter and Graves (2006)는 목구멍보다는 입에 걸리는 개체가 재래식낙시에 비해 환형낙시가 더 높은 것으로 조사되었고 보고했으며, Ward et al. (2009) 역시 같은 결

과를 보고했다. 그러나 두 낙시간의 눈다랑어와 황다랑어의 생존상태에 대해서는 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며, 이는 Ward et al. (2009)의 결과와도 동일하다. 다랑어의 생태적인 특징에 기인한다고 볼 수 있다.

바다거북의 부수어획율을 저감시키기 위한 최근 연구에서, Gilmand and Kobayashi (2007)와 Dalzell and Gilman (2006)은 붉은바다거북의 어획률이 재래식낙시에 비해 C180에서 그 어획률이 90%나 감소되었다고 보고했다. 이는 환형낙시가 재래식낙시에 비해 크기가 크고 둥근 형태이기 때문에 삼키기가 어려웠기 때문으로 판단된다. 최근 연구에서도 바다거북이나 바다새 등이 낙시를 물었을 때, 낙시가 삼켜져서 어획되는 확률이 환형낙시가 재래식낙시에 비해 더 낮으며, 방류 후 생존율도 높은 것으로 보고되고 있다 (Faltermann and Graves, 2002; Cooke and Suski, 2004; Kerstetter and Graves, 2006). 이는 환형낙시가 재래식낙시에 비해 상대적으로 삼키기가 어렵기 때문인 것으로 보인다.

눈다랑어와 황다랑어의 어획률은 낙시형태보다는 위·경도와 같은 공간적인 요소 및 연도나 월과 같은 시간적인 요소에서 더 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 낙시형태나 낙시크기와 같은 어구·어법적인 요소들 역시 어획률에 영향을 주었으나, 낙시형태만을 고려했을 때, 재래식낙시보다는 환형낙시의 어획률이 더 높았으며, 어획되는 평균체장의 크기도 다소 큰 것으로 분석되었다.

따라서 우리나라 다랑어연승어업에 있어서 주요 대상종에 대한 어획률 뿐만 아니라 부수어획종이나 보호종에 대한 보존 및 관리적인 측면을 고려해 볼 때, 환형낙시를 사용하는 것이 더 효율적인 것으로 판단된다.

결 론

태평양해역의 우리나라 다랑어연승어업에서 목표종으로 하는 눈다랑어와 황다랑어의 어획

물에 영향을 미치는 요소들에 대한 분석을 실시하였다. 2005년부터 2007년까지 3개년간의 실험에서 주로 환형낙시와 재래식낙시간의 어획률에 대한 실험이 이루어졌으며, 어획된 개체들은 각 낙시별로 체장, 체중, 성별 등과 같은 생태학적 자료가 수집되었다. 환형낙시는 연승어업에서 바다거북이나 바다새와 같은 부수어획종의 어획률 감소 및 방류 후 생존율을 높이는 목적으로 국제지역수산물관리기구에서 다양한 실험이 행해지고 있다. 환형낙시와 재래식낙시간의 어획된 체장의 차를 분석하기 위해 t -검정을 실시하였으며, 그 결과 눈다랑어가 다소 유의한 차 ($p=0.022$)를 보였으며, 황다랑어는 차이가 없었다. 두 낙시간의 생존률에 대해 분석한 결과 두 어종 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 낙시가 어체에 걸리는 위치 차이에 대한 분석에서는 두 어종 모두 통계적으로 유의한 차를 보였다. 눈다랑어와 황다랑어의 어획률에 영향을 미치는 어업요소들에 대한 분석을 한 결과 두 어종 모두 공간적 요소인 위도와 경도에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 다음으로 시간적 요소인 연도와 달에도 영향을 받는 것으로 나타났다. 낙시형태와 낙시크기의 요소는 눈다랑어의 어획률에는 영향을 주었으나, 재래식낙시보다 C16크기의 환형낙시에서 어획률이 더 높았다. 다랑어의 어획률의 경우 기존의 연구결과들은 재래식낙시보다 환형낙시에서 어획률이 더 높았으며, 통계적으로도 유의한 수준이었다고 보고하고 있다. 따라서 부수어획종이나 보호종의 보존 및 관리적인 측면이나 다랑어의 어획률의 측면에서 볼 때, 환형낙시를 사용하는 것이 좀 더 바람직할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 (RP-2010-FR-022)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Akaike, H., 1985. Prediction and entropy. In: A Celebration of Statistics. Atkinson, A.C. and S.E. Feinberg, des. Springer-Verlag, Berlin, 1–24.
- Baum, J.K., R.A. Myers, D.G. Kehler, B. Worm, S.J. Harley and P.A. Doherty. 2003. Collapse and conservation of shark populations in the northwest Atlantic. *Science (Wash., D.C.)*, 299, 389–392.
- Boggs, C.H. and Y. Swimmer. 2007. Developments (2006–2007) in scientific research on the use of modified fishing gear to reduce longline bycatch of sea turtles. WCPFC-SC3-EB SWG/WP–7, pp. 10.
- Cooke, S.J. and C.D. Suski. 2004. Are circle hooks an effective tool for conserving marine and freshwater recreational catch-and-release fisheries?. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 14, 299–326.
- Cox, A. 2009. Quota allocation in international fisheries. OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers, No. 22, OECD Publishing, pp. 60.
- Dalzell, P. and E. Gilman. 2006. Turtle bycatch mitigation in the Hawaiian longline fishery. WCPFC-SC2-2006/EB WP–13, pp. 8.
- Falterman, B. and J.E. Graves. 2002. A preliminary comparison of the relative mortality and hooking efficiency of circle and straight shank (“J”) hooks used in the pelagic longline industry. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 30, 80–87.
- FAO, 2004. Report of the Expert Consultation on Interactions between Sea Turtles and Fisheries within an Ecosystem Context. FAO Fisheries Report No. 738, Rome, FAO, pp. 38.
- FAO, 2005. Report of the Technical Consultation on Sea Turtles Conservation and Fisheries. FAO Fisheries Report No. 765, Rome, FAO, pp. 31.
- Gilmand, E. and D. Kobayashi. 2007. Sea turtle interactions in the Hawaii-based longline swordfish fishery: First quarter 2007 and comparison to previous periods. Western Pacific Regional Fishery Management Council. Available from <http://www.wpcouncil.org/hot/>. Accessed 19 February 2008. pp. 10.

- Gilman, E., D. Kobayashi, T. Swenarton, N. Brothers, P. Dalzell and I. Kinan-Kelly. 2007. Reducing sea turtle interactions in the Hawaii-based longline swordfish fishery. *Biol. Conserv.*, 139, 19–28.
- 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.
- Hoey, J.J. 1996. Bycatch in Western Atlantic pelagic longline fisheries. In: *Solving Bycatch: Considerations for Today And Tomorrow*. Alaska Sea Grant College Program, Rep., No. 96–03, 193–203.
- Hoey, J.J. and N. Moore. 1999. Multi-species catch characteristics for the US Atlantic pelagic longline fishery. *Captain's Report*. National Marine Fisheries-NOAA-NMFS. Marfin Grant-NA77FF-0543, (SK) Grant-NA86FD0113, 1–78.
- Kerstetter, D.W. and J.E. Graves. 2006. Effects of circle versus J-style hooks on target and non-target species in a pelagic longline fishery. *Fish. Res.*, 80, 239–250.
- Kim, S.S., D.Y. Moon, D.H. An, S.J. Hwang, Y.S. Kim, K. Bigelow and D. Curran. 2008. Effects of hook bait types on bigeye tuna catch rates in the tuna longline fishery. *Kor. J. Ichthy.*, 20 (2), 105–111.
- Minami, H., K. Yokota and M. Kiyota. 2006. Effect of circle hooks and feasibility of de-hooking devices to reduce incidental mortality of sea turtles in the Japanese longline fishery. *WCPFC/SC/EBWG06/WP–9*, pp. 9.
- Ward, P. and R.A. Myers. 2005. Shifts in open-ocean fish communities coinciding with the commencement of commercial fishing. *Ecology*, 86 (4), 835–847.
- Ward, P. and S. Hindmarsh. 2007. An overview of historical changes in the fishing gear and practices of pelagic longliners, with particular reference to Japan's Pacific fleet. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 17, 501–516.
- Ward, P., S. Epe, D. Kreutz, E. Lawrence, C. Robins and A. Sands. 2009. The effects of circle hooks on bycatch and target catches in Australia's pelagic longline fishery. *Fish. Res.*, 97, 253–262.
- Watson, J.W. and D.W. Kerstetter. 2006. Pelagic longline fishing gear: a brief history and review of research efforts to improve selectivity. *Mar. Technol. Soc. J.*, 40, 6–11.
- Watson, J.W., D.G. Foste, S. Epperly and A. Shah. 2003. Experiments in the Atlantic northeast distant waters to evaluate sea turtle mitigation measures in the pelagic longline fishery. Report on experiments conducted in 2001 and 2002. NOAA Fisheries, March 5, 2003. pp. 89.
- Watson, J.W., S.P. Epperly, E.A. Shah and D.G. Foster. 2005. Fishing methods to reduce sea turtle mortality associated with pelagic longlines. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62, 965–981.
- 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.

2011년 4월 14일 접수
 2011년 7월 27일 1차 수정
 2011년 8월 29일 2차 수정
 2011년 9월 3일 3차 수정
 2011년 9월 14일 수리