

망지 특성에 따른 방추형 어류의 크기 선택성에 대한 실험적 연구

백세나 · 김형석¹ · 류경진² · 김성훈^{1*}

부경대학교 대학원 수산물리학과 대학원생, ¹부경대학교 실습선 교수, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

An experimental study on the size selectivity of fusiform fish by the netting characteristics

Sena BAEK, Hyungseok KIM¹, Kyung-Jin RYU² and Seonghun KIM^{1*}

Graduate Student, Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Professor, Training Ship, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

This study quantitatively evaluated size selectivity for three netting shapes (T0; regular, T45, T90) and hanging ratio (35%, 70%) of T0 netting used for trawl codend. The size selectivity experiment was performed in a tank using a cube experimental model with a length of 50 cm on one side and 389 experimental individuals, jack mackerel (*Trachurus japonicus*). In the selectivity analysis, a selectivity curve was created based on the selection ratio using a logistic function, and the 25%, 50%, and 70% selection length and selection range (*SR*) were obtained. The T0 netting was 19.54 cm when the 50% selective length, which is a selectivity evaluation index, had a hanging ratio of 35%, a selection range of 0.51 cm, and 22.70 cm and 3.08 cm for the hanging ratio of 70%. The T45 netting was 24.34 cm and 2.13 cm, and the T90 netting was 23.51 cm and 2.84 cm. The results of the T45 netting and the T90 netting are similar, and the 50% selection length and selection range were relatively larger than the T0 netting. There was a significant difference in the correlation between the circumference of the inner circle of the mesh by the shape of the netting and the body girth of the experimental individual (Pearson test, $r = 0.86$, $p < 0.05$). There was no significant difference in the correlation between the selection ratio by the T0 netting, T45 netting, and T90 netting with a 70% hanging ratio (one-way ANOVA, $p > 0.05$). The results of this study showed that selectivity such as T45 netting and T90 netting appeared when the hanging ratio, which maximizes the area of T0 netting, was maintained at 70%.

Keywords: Trawl, Codend, Netting shape, Selectivity, Logistic curve

Received 5 July 2023; Revised 15 August 2023; Accepted 24 August 2023

*Corresponding author: seba@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5888, Fax: +82-51-629-5886

Copyright © 2023 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

서론

트롤 어구는 낚개 그물과 그물의 좌우를 벌려주는 전개판을 장착하여 어군을 예망하여 어획하는 어구로 다양한 어종과 크기의 개체가 어획된다.

자루그물 중 어획 개체가 최종적으로 모이는 끝자루는 일반적으로 T0(일명: 마름모꼴) 망지를 사용하고 있으며, 자원 관리를 위해 관련법으로 망목의 크기를 규제하고 있다(수산업법 시행령 제38조). 하지만, 끝자루는 입망하는 어획물이 적체되어 망목을 막는 경우가 발생하며, 이로 인해, 예망 과정에서 물 빠짐에 영향을 주고, 어린 개체의 탈출을 어렵게 만든다(Cho et al., 2005).

이러한 문제점을 해결하기 위해 트롤 어구는 국내에서 어린 개체의 보호뿐만 아니라, 해양 포유류의 혼획 등 우발적인 어획을 저감하는 다양한 연구들이 수행되었다(Champai, 1986; Brewer et al., 1998). 우리나라에서는 트롤 끝자루의 망목 크기 선택성과 망지의 형상에 따른 혼획 저감(Lee et al., 1994) 등에 관한 연구가 수행된 바 있다.

최근에는 끝자루의 망목 전개 면적(mesh opening) 확보를 통한 선택성을 향상시키기 위해 마름모꼴 망지를 45°로 회전시킨 T45 망지(일명: Square 망지)를 이용하는 방안을 모색하고 있다. 그러나 T45 망지는 제작이 어렵고 파망 시, 보망이 어려운 단점이 있다. 유럽에서는 마름모꼴 망지를 90°로 회전시켜 제작한 이른바, T90 (Turned 90 degree) 망지를 개발하여 끝자루에 적용한 연구가 있다. 또한, 국내에서는 보구치를 대상으로 트롤 끝자루에 Diamond 망지, T90 망지, Square 망지의 어획 선택성 비교에 관한 연구가 있다(Kim, 2019).

일반적으로 끝자루의 선택성 시험은 시험 조업 상에서 예망 시, 실제 설계에서의 전개 면적이나 망지 형상과

는 달리 예망 저항과 어획물의 입망량에 따라 수중 망지 형상이 달라진다.

망목의 크기와 망지의 형상에 대한 어획 선택성 시험은 해상 시험을 통해 대상 어종의 어획체장분포를 이용하여 분석이 이루어진다. 이러한 해상 시험에서는 저항에 의한 망목 크기와 형상의 변화에 따른 요소에 의해 어획 양상이 달라지지만 해당 요소에 대한 면밀한 검토와 연구는 부재한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 망지 형상, 전개 면적, 성형률과 같은 망지의 특성에 따른 크기 선택성을 명확히 구명하기 위해 설계상의 망지 특성이 변하지 않도록 실험 모형을 제작하여 크기 선택성의 변화를 정량적으로 분석하고자 하였으며, 미성숙 개체의 혼획 저감 등 자원 관리를 위한 어구 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

실험 모형

망지 특성에 따른 크기 선택성 실험은 망목크기 내경 66 mm의 T0 (; regular), T45, T90의 3가지 망지 형상과 T0 망지의 35%, 70%의 2가지 성형률을 실험 요인으로 선정하여 수행하였다. 실험에 사용한 망지의 규격은 폴리에틸렌(PE) 360Td 18 합사 결절 망지를 사용하였으며, 각 실험 망지의 형상은 Fig. 1에 나타내었다.

실험은 한 변의 길이 50 cm, 직경 8 mm의 Stainless steel 재질의 환봉으로 제작한 정육면체 프레임에 각 실험 망지를 씌운 모형을 사용하였다. 각 실험 망지는 실험 요소인 망지의 형상과 성형률이 변하지 않도록 망지별 그물 컷수를 계산하여 부착하였으며, 실험 모형의 규격은 Fig. 2에 나타내었다.

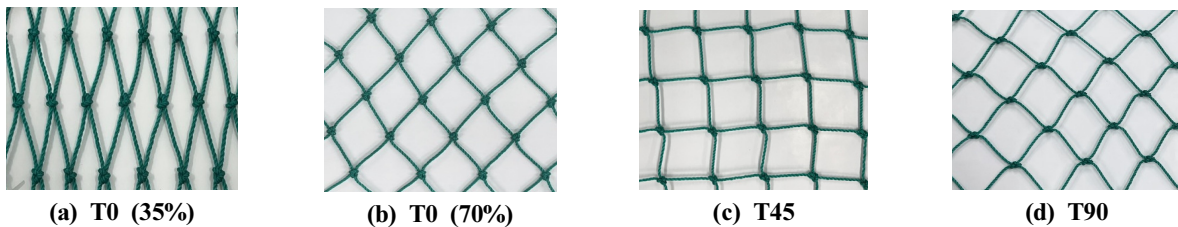


Fig. 1. Netting shapes used in the size selectivity experiments.

* (): Hanging ratio.

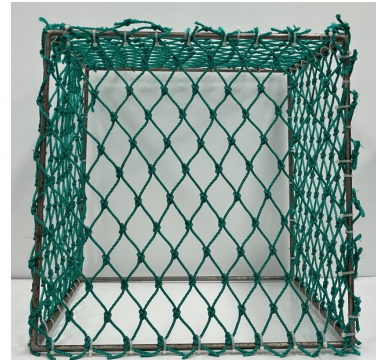
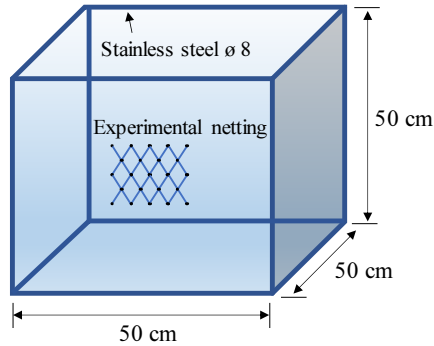


Fig. 2. Schematics of the model gear for size selectivity experiments.

실험 방법

망지 특성에 따른 크기 선택성 실험은 선택성 작용이 명확한 방추형 어류 중 전갱이(*Trachurus japonicus*)를 대상으로 수행하였다. 실험 개체는 2022년 12월 28~29일, 거제도 인근 해역에서 국립 부경대학교 실습선(백경호, G/T 3,997 ton)의 트롤 시험에서 어획된 개체로 가랑이체장(Fork Length) 10.7~32.4 cm 범위의 398마리를

Table 1. Length distribution of jack mackerel for size selectivity experiments

Fork Length Class (FL, cm)	Number of individual (individual)	Individual of rate (%)
~ 11	8	2.0
11 ~ 12	34	8.5
12 ~ 13	31	7.8
13 ~ 14	6	1.5
14 ~ 15	12	3.0
15 ~ 16	18	4.5
16 ~ 17	22	5.5
17 ~ 18	11	2.8
18 ~ 19	20	5.0
19 ~ 20	33	8.3
20 ~ 21	40	10.1
21 ~ 22	23	5.8
22 ~ 23	21	5.3
23 ~ 24	29	7.3
24 ~ 25	19	4.8
25 ~ 26	19	4.8
26 ~ 27	14	3.5
27 ~ 28	17	4.3
28 ~ 29	6	1.5
29 ~ 30	10	2.5
30 ~	5	1.3
Total	398	100

사용하였다. 실험 개체의 체장계급별 마릿수는 Table 1에 나타내었다.

크기 선택성 실험은 공기 중에서 실험할 경우, 망목과 어체의 과도한 마찰과 실험 개체의 수분 증발로 인한 오차를 방지하기 위해 해수가 담긴 원형의 캔버스 수조 (Ø 180 cm × H 60 cm)에서 수행하였다. 실험은 모형에 실험 개체를 10~15마리를 투입하고 수중에서 통과한 개체와 잔류한 개체가 완전히 분리될 때까지 수차례 좌우로 흔들어 탈출을 유도하였다. 어체 측정은 통과한 개체와 잔류한 개체를 분류하여 대표 체장(단위, 0.1 mm), 체중(단위, 0.1 g), 체동주(단위, 0.1 mm)를 측정하였다.

선택성 분석 방법

선택성 분석은 체장계급별로 실험 모형에 잔류한 개체수와 통과한 개체수의 비를 선택비(θ_l)로 정의하고, 각 체장계급별 선택비 자료를 바탕으로 logistic 함수를 이용하여 선택성 곡선을 추정하였다. 선택비는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_l = \frac{c_{unescaped_l}}{c_l} = \frac{c_{unescaped_l}}{(c_{unescaped_l} + c_{escaped_l})} \quad (1)$$

여기에서 θ_l 은 선택비, c_l 은 투입한 개체수, $c_{escaped_l}$ 은 통과한 개체수, $c_{unescaped_l}$ 은 잔류한 개체수를 나타낸다. 본 연구에서 선택성 $r(l)$ 은 식 (2)와 같이 체장에 대한 logistic 곡선 함수 식으로 나타낼 수 있다(Harada and Tokai, 2007).

$$r(l) = \frac{\exp(a+bl)}{1 + \exp(a+bl)}, \quad 0 < r(l) < 1 \quad (2)$$

여기에서 $r(l)$ 은 선택성으로써 l 은 실험 개체의 체장을 나타내며, a, b 는 선택성 곡선 식의 파라미터이다. 곡선의 파라미터는 상용 소프트웨어인 MS-EXCEL의 SOLVER (Excel, Microsoft, USA) 기능을 이용하여 최대우도법(Maximum likelihood method)으로 추정하였다(Hiramatsu, 1992; Fujimori and Tokai, 2001).

또한, 추정한 선택성 곡선으로부터 25%, 50%, 75% 선택체장값 l_{25}, l_{50}, l_{75} 를 구하여 선택성을 평가하였으며, 어획되는 개체의 범위를 파악하기 위해 선택범위 (Selection Range, SR)를 추정하였다.

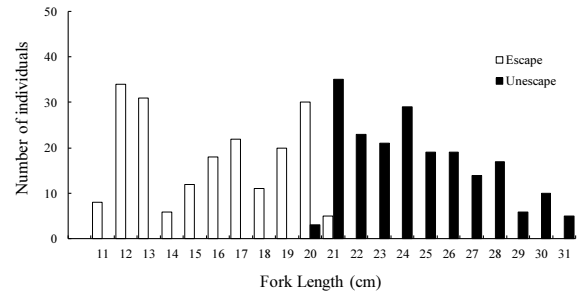
본 연구에서는 어체의 체동주와 망목의 내접원 둘레의 상관관계를 파악하기 위하여 실험 망지의 형상별 망목의 내접원의 둘레를 구하였다. 이렇게 구한 내접원의 둘레와 선택성 지표로 사용되는 50% 선택체장값에 해당하는 개체의 체동주와 상관관계를 분석하였다(Liang Z et al., 1999).

결과 및 고찰

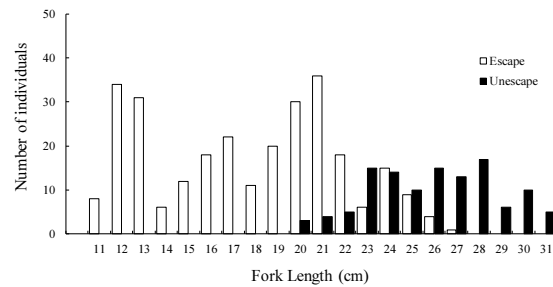
T0 망지의 성형률에 따른 크기 선택성

T0 망지의 성형률 35%, 70%에 대한 크기 선택성 실험 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 실험 개체는 35% 성형률 망지보다 상대적으로 전개 면적이 큰 성형률 70% 망지에서 통과하는 개체의 크기가 크게 나타났다. 성형률 35%에서는 20.8 cm 이하의 개체, 성형률 70%에서는 26.2 cm 이하의 개체는 전수 통과하였으며, 성형률 70%에서 통과하는 개체가 약 5.4 cm 크게 나타났다.

T0 망지의 35%, 70% 성형률별 선택성 곡선은 logistic 함수를 이용하여 Fig. 4에 나타내었다. 선택성 곡선은 성형률 35%에 비해 성형률 70%일 때 곡선이 오른쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었으며, 통과하는 개체의 크기도 상대적으로 커지는 것으로 나타났다. 이는 성형률 70%일 때 전개 면적이 상대적으로 크기 때문으로 사료되며, 전개 면적의 증가에 따라 통과하는 개체의 크기도 동시에 커진 것으로 판단된다. 또한, 각 성형률별 l_{25}, l_{50}, l_{75} 선택체장값, 선택범위는 Fig. 4의 선택성 곡선에서 산출하여 Table 2에 나타내었다. 전갱이의 성형률 35%에 대한 l_{50} 은 19.54 cm, 성형률 70%는 22.70 cm로



(a) Hanging ratio 35%



(b) Hanging ratio 70%

Fig. 3. Distributions of fork length for jack mackerel by the hanging ratio of T0 netting.

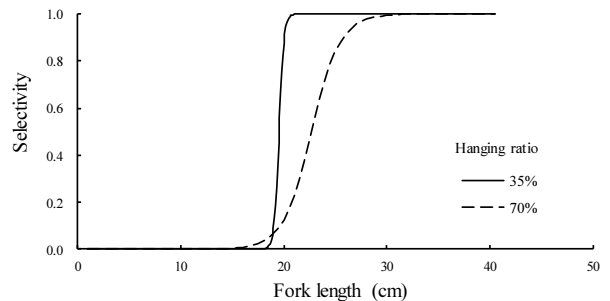


Fig. 4. Selectivity curve of jack mackerel by the hanging ratio of T0 netting.

Table 2. The fork length of l_{25}, l_{50}, l_{75} selection of jack mackerel and the selection ranges by the hanging ratio of T0 netting

Hanging ratio (%)	Fork length of retention ration (cm)			Selection range (SR*) (cm)
	l_{25}	l_{50}	l_{75}	
35	19.29	19.54	19.80	0.51
70	21.16	22.70	24.24	3.08

* SR: $l_{75} - l_{25}$

성형률 35%에 비해 약 1.16배 커지는 것으로 나타났다. 전갱이의 성형률 35%에 대한 선택범위는 0.51 cm, 70%는 3.08 cm로 나타났다. 선택범위는 성형률 70%에 비해 성형률 35%의 선택범위가 보다 좁은 것으로 나타났다. 이는 Fig. 3에 나타난 실험 개체의 망목 통과 여부 결과에서 나타난 바와 같이 성형률 70%의 경우, 성형률 35%에 비해 체장계급별 완전히 통과하지 않은 개체의 범위가 넓게 나타났으며, 그 결과가 선택범위에 영향을 미친 것을 알 수 있었다.

망지 형상에 따른 크기 선택성

망지 형상에 따른 크기 선택성 실험 결과는 Fig. 5에

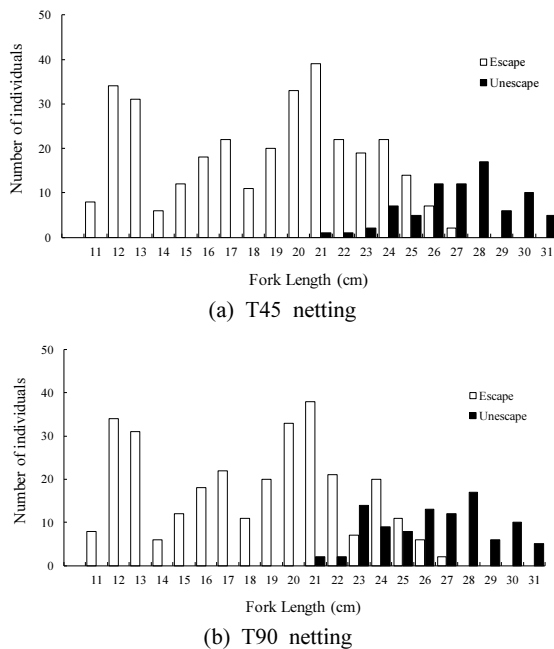


Fig. 5. Distributions of fork length of jack mackerel by the nettings.

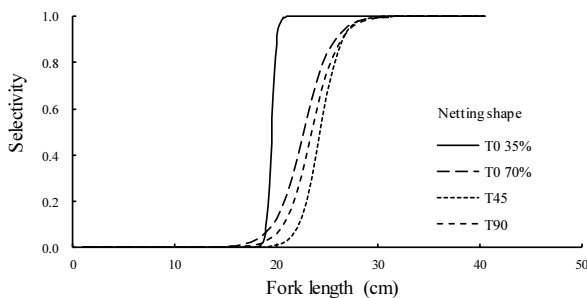


Fig. 6. Selectivity curves of jack mackerel by the netting shape.

Table 3. The fork length of l_{25} , l_{50} , l_{75} selection of jack mackerel and the selection ranges by the netting shapes

Netting shape	Fork length of retention ration (cm)			Selection range (SR [*]) (cm)
	l_{25}	l_{50}	l_{75}	
T45	23.27	23.34	25.40	2.13
T90	22.09	23.51	24.93	2.84

* SR: $l_{75} - l_{25}$

나타내었다. 실험 결과, T45 망지는 10.7~26.2 cm의 개체가 통과하였으며, T90 망지는 10.7~26.2 cm의 개체가 통과하였다. 이는 성형률 70%인 T0 망지와 유사한 결과를 나타내었다.

크기 선택성 곡선은 망지 형상별 실험 개체의 통과 여부를 바탕으로 logistic 함수를 이용하여 Fig. 6에 나타내었다. 전갱이의 l_{25} , l_{50} , l_{75} 선택체장값, 선택범위는 Fig. 6의 선택성 곡선에서 산출하여 Table 3에 나타내었다. 망지 형상별 l_{50} 은 T45 망지 24.34 cm, T90 망지 23.51 cm로 나타났고, 선택범위는 T45 망지 2.13 cm, T90 망지 2.84 cm로 나타났다. T45 망지와 T90 망지의 실험 결과는 성형률 70%인 T0 망지의 실험 결과와 동일하게 나타났다. 이는 3가지 형상의 망지가 모두 전개 면적에 차이가 없고, 한정된 실험 개체의 체장 범위로 인해 유사한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

망목 내주와 체동주의 관계

일반적으로 망목의 전개 면적은 망목을 통과하는 어류의 크기, 특히 체동주(Body Girth)와 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(Harada et al., 2007).

본 연구에서는 각 실험 망지의 전개 면적과 실험 개체의 체동주와 상관관계를 명확히 하고자 하였다. 실험 개체의 가랑이체장과 체동주의 상관관계로 Fig. 7과 같이 회귀선으로 나타내었다. 전갱이의 가랑이체장(L)과 체동주(G)는 직선적인 비례 관계가 있는 것을 알 수 있었으며, 회귀식은 직선식 $G = 0.6303 L - 1.1987 (R^2 = 0.964)$ 로 추정되었다.

각 망지 형상별 내접원의 둘레 길이와 해당 망지에 대한 50% 선택(l_{50})되는 개체의 체동주는 Table 4에 나타내었다. 성형률 35% T0 망지에 내접하는 원의 둘레는 약 104 mm, 이 망지에 l_{50} 전갱이의 체동주는 내접원

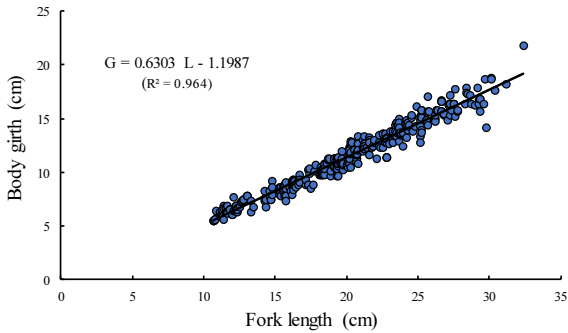


Fig. 7. Relationship of jack mackerel between the fork length and the body girth.

Table 4. Circumferences of inscribed circle by each netting characteristic for jack mackerel

Mesh shape	Circumference of inscribed circle (mm)	Body girth of l_{50} ²⁾ (mm)	G/C ³⁾ (%)
T0 (35%) ¹⁾	104	108	103.85
T0 (70%)	207	131	63.29
T45	207	141	68.12
T90	207	141	68.12

1) HR: Hanging Ratio

2) l_{50} : 50% selection length

3) G: Body girth of l_{50} , C: Circumference of inscribed circle.

둘레에 비해 108 mm로 3.9%, 크게 나타났다. 성형률 70% T0 망지 내접원의 둘레는 약 207 mm, l_{50} 체동주는 131 mm로 36.7% 작게 나타났다. T45 망지 내접원의 둘레는 약 207 mm, l_{50} 체동주는 141 mm로 31.9% 작게 나타났다. T90 망지 내접원의 둘레는 약 207 mm, l_{50} 체동주는 141 mm로 31.9% 나타났다. 또한, 각 실험 망지별 그물코 1코의 전개 면적의 크기는 Table 4에 나타내었다. 성형률 70%의 T0 망지와 T45 망지, T90 망지는 내접하는 원의 크기는 유사하다. 따라서 내접원 둘레는 동일하게 나타났으며, 50% 선택되는 실험 개체의 크기 도 유사하게 나타났다.

각 망지 형상에 대한 내접원 둘레와 50% 선택되는 개체의 체동주의 상관관계 분석은 상용 통계 소프트웨어인 SPSS (IBM SPSS Statistics 27, IBM)를 사용하여 이변량 상관관계수(Pearson's correlation analysis)를 분석한 결과, 망지 형상에 대한 내접원의 둘레와 해당 망목을 통과하는 실험 개체의 체동주는 유의한 상관관계를 나

타내었다($r = 0.86, p < 0.05$). 또한, 성형률 70%의 T0 망지와 T45 망지 그리고 T90 망지의 선택비는 유의성 검정(one-way ANOVA)을 수행한 결과, 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 이러한 결과, T0 망지인 일반적인 마름모꼴 망지는 면적이 최대가 되는 성형률 70%를 유지하면, T45 망지, T90 망지와 같은 선택성이 나타나는 것을 알 수 있었으며, 미성숙 개체의 혼획 저감 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 트롤 끝자루에 사용하는 3가지 망지 형상(T0; regular, T45, T90)과 T0 망지의 2가지 성형률(35%, 70%)에 대해 크기 선택성을 정량적으로 평가하였다. 크기 선택성 실험은 한 변의 길이 50 cm의 정육면체 모형 어구와 실험 개체 전갱이 389 마리를 사용하여 수조에서 수행하였다. 선택성 분석은 로지스틱 함수를 사용하여 선택비를 기준으로 선택성 곡선을 작성하였으며, 25%, 50%, 70% 선택체장과 선택범위(SR)를 구하였다.

T0 망지는 성형률 35%인 경우, 선택성 평가 지표인 l_{50} 19.54 cm, SR 0.51 cm로 나타났다. 성형률 70%인 경우, l_{50} 22.70 cm, SR 3.08 cm로 나타났다. T45 망지는 l_{50} 24.34 cm, SR 2.13 cm로 나타났다. T90 망지는 l_{50} 23.51 cm, SR 2.84 cm로 나타났다. T45 망지와 T90 망지의 50% 선택체장과 선택범위는 T0 망지에 비해 상대적으로 크게 나타났으며, T45 망지와 T90 망지의 결과는 유사하게 나타났다. 망지 형상별 망목 내접원의 둘레와 실험 개체의 체동주의 관계에서는 상관관계에 유의한 차이를 나타내었다($r = 0.86, p < 0.05$). 70% 성형률의 T0 망지와 T45 망지, T90 망지에 따른 선택비의 상관관계는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

본 연구에서는 정량적으로 분석되지 않은 망지의 특성에 따른 크기 선택성을 명확히 구명하기 위해 크기 선택성의 변화를 정량적으로 분석하고자 하였다.

본 연구의 결과는 일반적인 마름모꼴 망지인 T0 망지의 면적이 최대가 되는 성형률을 70%로 유지하면 T45 망지, T90 망지와 같은 선택성이 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서 자루그물을 이용하는 어법에 있어, 망지 형상과 선택성에 따라 자원관리형 어구 설계에 기여하여

미성숙 개체의 혼획 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(KIMST)의 지원을 받아 수행된 연구입니다(20210549, 전기복합 추진어선의 검증 및 실용화를 위한 기술개발과 체계구축).

References

- Brewer D, Rawlinson N, Eayrs S and Burrige C. 1998. An assessment of bycatch reduction devices in a tropical Australian prawn trawl fishery. *Fish Res* 36, 195-215. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(98\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(98)00096-4).
- Champai AU. 1986. Trawling efficiency device: a new concept for selective shrimp trawling gear. *Marine Fisheries Review* 48, 1-9.
- Cho SK, An HC, Shin JK, Yang YS and Park CD. 2005. Study on the development of trawl escapement device. *J Korean Soc Fish Technol* 41, 241-247.
- Fujimori Y and Tokai T. 2001. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fisheries Science* 67, 644-654. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00301.x>.
- Harada M, Tokai T, Kimura M, Hu F and Shimizu T. 2007. Size selectivity of escape holes in conger tube traps for inshore hagfish *Eptatretus burgeri* and white-spotted conger *Conger myriaster* in Tokyo Bay. *Fish Res* 73, 477-488. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01360.x>.
- Hiramatsu K. 1992. A statistical study of fish population dynamics using maximum likelihood method: Parameter estimation and model selection. *Bull Natl Inst Far Seas Fish* 29, 57-114.
- Kim BG. 2019. Research on bycatch reduction of juvenile fishes based on codends selectivity in bottom trawl gears. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 130.
- Lee JH, Kim SK and Kim JK. 1994. Studies on the selectivity of the trawl net with square mesh cod-end (1)-Selectivity of the Square Mesh Cod-End. *J Korean Soc Fish Technol* 30, 161-171.
- Liang Z, Horikawa H, Tokimura M and Tokai T. 1999. Effect of cross-sectional shape of fish body on mesh selectivity of trawl codend. *Nippon Suisan Gakkai Shi* 65, 441-447. <https://doi.org/10.2331/suisan.65.441>.
- Tokac A, Herrmann B, Aydın C, Kaykac., Ünlüler A and Gökçe G. 2014. Predictive models and comparison of the selectivity of standard (T0) and turned mesh (T90) codends for three species in the Eastern Mediterranean. *Fish Res* 150, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.10.015>.