

# 저층 삼중자망에 대한 동해안산 고무걱정이 (*Dasycottus setiger*)의 망목 선택성

박창두\* · 배재현

국립수산과학원 동해수산연구소

## Mesh selectivity of the bottom trammel net for spinyhead sculpin *Dasycottus setiger* in the eastern coastal sea of Korea

Chang-Doo PARK\* and Jae-Hyun BAE

East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea

Comparative fishing experiments were conducted in the eastern coastal waters near Uljin, Korea from 2002 to 2004, using the experimental trammel nets to estimate the selectivity for spinyhead sculpin *Dasycottus setiger*. The inner panels of the nets were made of nylon monofilament with four mesh sizes (82.2, 89.4, 104.8, and 120.2 mm) while its two outer panels were made of twisted nylon multifilament with a mesh size of 510 mm. The SELECT (Share Each Length's Catch Total) procedure with maximum likelihood method was applied to obtain a master selection curve. The different functional models (normal, lognormal, bi-normal, and logistic model) were fitted to the catch data. The lognormal model with the fixed relative fishing intensity was chosen as the best-fitted selection curve through comparison of model deviance and AIC (Akaike's Information Criterion). The optimum relative length (the ratio of fish total length to mesh size) with the maximum relative efficiency was obtained as 2.492.

Keywords : Spinyhead sculpin, *Dasycottus setiger*, Gill net, Trammel net, Selectivity

### 서론

자망은 대상 생물이 홑겹 망지의 그물코에 걸려서 어획되기를 기다리는 수동형 어구의 일종이다 (FAO, 1992). 삼중자망은 망목이 큰 2겹의 외망 사이에 망목이 작은 내망이 삽입되어 있다 (Thomas et al., 2003; Erzini et al., 2006). 삼중자망의 외망의 높이에 대한 내망의 높이의 비율 (vertical slack)은 1.5~2.0 정도이다 (Erzini et al., 2006; Koike and Takeuchi, 1985; Koike and Matuda 1988).

자망에 어류가 어획되는 형태는 아가미 뚜껍의 후단이 망목에 걸리는 형태 (gilling), 등지느러미 주변의 어체가 망목에 걸리는 형태 (wedging), 두부가 망목에 걸리는 형태 (snagging), 어체가 망목을 통과하지 않고 치아나 지느러미 또는 가시 등이 망사에 얽히는 형태 (entangling) 등으로 분류된다 (FAO, 1992; FAO, 2000; Yano et al., 2012). 어류를 대상으로 조업하는 홑겹 자망에서는 어류의 아가미 뚜껍 후단이나 몸통이 망목에 걸려서 어획되는 비율이 높다 (Holst et al., 2002;

\*Corresponding author: cdpark1@korea.kr, Tel: +82-33-660-8550, Fax: +82-33-661-3923

Wakayama et al., 2006; Yano et al., 2012). 삼중자망의 경우에는 대상 생물이 홑겹 자망에 걸리는 어획 형태에 더하여 망목이 작은 내망과 망목이 큰 외망에 의하여 형성되는 주머니에 갇혀서 어획되는 형태 (pocketing) 등이 추가된다 (Erzini et al., 2006; Fabi et al., 2002). 예를 들어 삼중자망과 조우한 흰꼬뚜기 (*Sepioteuthis lessoniana*), 유럽무늬갑오징어 (*Sepia officinalis*) 등은 망목이 큰 외망의 망목을 통과한 후에 망목이 작은 내망의 망목을 통과하지 못한 개체가 주머니 형태로 형성되는 내망에 갇혀서 어획되었다 (Erzini et al., 2006; Akiyama et al., 2004). 따라서 자망과 삼중자망은 어구의 구성뿐만 아니라 대상 어종의 어획 형태에도 차이가 있다 (Erzini et al., 2006; Fabi et al., 2002). 또한 이들 어구의 어획 형태에 의한 차이로 인하여 삼중자망은 자망에 비하여 덜 선택적인 어구로 이해되고 있다 (Fabi et al., 2002).

삼중자망에 대상 생물이 어획되는 것은 기본적으로 어구의 망목 크기가 중요한 요소이지만, 외망의 높이에 대한 내망의 높이의 비율 등이 영향을 미친다 (Erzini et al., 2006; Koike and Takeuchi, 1985; Koike and Matuda 1988). 지금까지 일부 어종에 대하여 삼중자망과 홑겹 자망의 어획량 비교 시험이 수행되었다. Thomas et al. (2003)의 연구에 의하면, 복합섬유 삼중자망의 새우 어획량이 단일섬유 자망에 비하여 약 2배 정도 많은 것으로 나타났다. Koike and Matuda (1988)는 망목 크기가 전어의 어체 크기에 적합한 경우, 자망의 어획 개체수가 삼중자망의 어획 개체수보다 많았고, 삼중자망의 어획이 자망의 어획보다 항상 많다고는 할 수 없다고 보고하였다. 전어, 무지개송어, 흰꼬뚜기, 유럽무늬갑오징어, 보리새우 등의 일부 어종에 대한 삼중자망의 망목 선택성 곡선도 추정되었다 (Koike and Matuda 1988; Losanes et al., 1992; Erzini et al., 2006; Akiyama et al., 2004; Fujimori et al., 1996). 이들 연구 결과들을 살펴보면, 자망과 삼중자망의 망목 선택성 등은 대상 어종 등에 따라 차이가 있다는 것을 나타낸다.

우리나라 연안 수역에서는 2중 이상의 자망이 제한적으로 승인되어 있으며 지금까지 삼중자망에 대한 어류의 어획 선택성 등에 대한 연구도 많지 않다. 자원 조사 결과에 의하면 동해안에 서식하는 심해성 어종인 고무꼭정어의 분포 밀도는 높다고 보고되어 있으나 (Yang et al., 2007), 이들 자원의 지속적 이용과 관련된 연구는

부족한 실정이다.

대부분의 어구는 종 및 개체 크기에 대한 선택성을 가지고 있다 (FAO, 1992; FAO, 2000). 어구의 망목 선택성은 선택 곡선으로 표현되며, 특정 어종의 개체 크기에 따른 어획 확률을 나타낸다 (FAO, 1992; FAO, 2000; Millar and Fryer, 1999; Wileman et al., 1996). 본 연구에서는 시험용 삼중자망에 어획된 동해안산 고무꼭정어의 망목 선택성을 추정하고 그 결과를 나타내었다. 또한 고무꼭정어에 대한 자망의 망목 선택성 (Park et al., 2016)과 본 연구에서 얻어진 삼중자망의 망목 선택성을 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 시험어구 제작 및 시험 조업

시험에 사용한 삼중자망은 망목이 작은 내망과 망목이 큰 외망 2겹으로 구성하였다. 시험 어구의 내망은 나일론 단일섬유 (경심 3호,  $\varnothing 0.286$ ) 망지를 사용하였고 내망의 망목 크기는 4종류 (84, 90, 105, 120 mm)로 하였다. 이들 망지의 망목 내경 평균치는 각각 82.2, 89.4, 104.8, 120.2 mm이었다 (Table 1). 시험 어구의 외망은 복합섬유로 제작된 1종류의 망지 (나일론 15 ply, 망목 크기 510 mm, 높이 5.5코)를 사용하였다. 상업적으로 판매되는 망지를 활용하여 시험 어구를 제작하였으므로 어구의 길이는 망목 크기에 따라 다소 차이가 있었다. 어구 1폭의 길이는 100~105.8 m, 내망의 성형율은 48~50%이었다. 망목이 큰 외망의 성형율은 71%로 설계하였다. 어구의 깊이 방향으로 외망의 뻗친 길이에 대한 내망의 뻗친 길이의 비는 1.50~1.71이었다 (Table 1).

어획 시험은 2002년부터 2004년 사이에 동해안 울진군 연안 수역에서 연안 자망 어선 2척을 용선하여 수행되었다. 어획물은 선상에서 양망 작업을 하면서 어망으로부터 분리하여 망목 크기별로 분류하였고, 어획물의 제장 등은 입항 후에 육상에서 측정하였다. 어선 1척당 1회 시험에 사용된 망목 크기별 어구의 수는 4~8폭이었다. 매회 시험에 사용한 망목 크기별 삼중자망의 수는 동일하였다. 어구 1틀에 연결된 시험 어구는 내망의 망목크기 순으로 반복하여 연결하였다 (Park et al., 2004). 시험 조업 어장의 수심 범위는 100~145 m이었고, 침지 기간은 2~6일이었다. 고무꼭정어의 전장 (Total length, L)은 1 mm 단위로 측정하였다.

Table 1. Designed specification of the trammel nets used in the fishing experiment

Mesh size (mm)		Vertical mesh number		Lead line length (m)	*Vertical slack
inner netting	outer netting	inner netting	outer netting		
82.2	510	50	5.5	100.0	1.50
89.4	510	50	5.5	105.0	1.60
104.8	510	44	5.5	105.8	1.65
120.2	510	40	5.5	105.8	1.71

\*Vertical slack, the ratio of the stretched depth of the small-meshed inner panel to that of the large-meshed outer panel.

망목 선택성 추정

자망 또는 삼중자망에 어획된 어류 등의 망목선택성은 다양한 방법으로 표현된다 (Ishida, 1962; Koike and Takeuchi, 1985; Koike and Matuda 1988, Kitahara, 1968; Fujimori et al., 1996). 본 연구에서는 최근에 많이 사용되는 SELECT (Share Each Length’s Catch Total) 방법을 사용하여 망목 선택성을 분석하였다 (Millar and Walsh, 1992; Wileman et al., 1996; Millar and Fryer, 1999; Erzini et al., 2006).

일반적으로 망목 크기  $m_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ )인 어구에 체장  $l_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ )인 어류의 어획 개체수  $c_{ij}$  는 다음의 수식으로 나타낼 수 있다 (Fujimori and Tokai, 2001; Park et al., 2004; Wakayama et al., 2006).

$$c_{ij} = s(R_{ij}) q_i x_i d_j = s(R_{ij}) p_i d_j \quad (1)$$

여기서  $s(R_{ij})$ ,  $q_i$  및  $x_i$ 는 각각 망목 크기  $m_i$ 인 어구의 선택률, 어획 능력 및 어획 노력량을 나타낸다. 어구와 조우한 체장  $l_j$ 인 어류의 개체수는  $d_j$ 이다. 또한  $R_{ij}(=l_j/m_i)$ 는 어구의 망목 크기에 대한 물고기의 체장 (전장)의 비를 나타내는 상대 체장 (relative length)이며,  $p_i (=q_i x_i)$ 는 망목 크기  $m_i$ 인 어구의 상대 어획 강도 ( $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ )이다.

SELECT 방법에 의한 망목 선택성 추정에 있어서 체장  $l_j$ 인 어류가 망목 크기  $m_i$ 인 자망에 어획되는 비율은 아래의 수식으로 표현된다 (Fujimori and Tokai, 2001; Yano et al., 2012; Park et al., 2004). 여기서  $\phi_{ij}$ 는 어획

자료로부터 계산되는 관측치이고  $\phi(R_{ij})$ 는 추정치를 나타낸다.

$$\phi_{ij} = c_{ij} / \sum_{i=1}^k c_{ij} = c_{ij} / C_j \quad (2)$$

$$\phi(R_{ij}) = p_i d_j s(R_{ij}) / \sum_{i=1}^k p_i d_j s(R_{ij}) \quad (3)$$

선택성을 표현하는 각 함수의 파라미터는 아래의 대수우도함수를 최대로 하는 최우법을 적용하여 추정할 수 있다 (Fujimori and Tokai, 2001; Yano et al., 2012; Park et al., 2004).

$$\ln L = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k [c_{ij} \ln(p_i s(R_{ij}) / \sum_{i=1}^k p_i s(R_{ij}))] \quad (4)$$

자망의 경우, 소형 개체는 망목을 통과하여 빠져 나가고 대형 개체는 망목에 잘 걸리지 않으므로 망목 선택성 곡선은 주로 종형 (bell shaped)의 함수가 사용되고 있다 (FAO, 1992; Fujimori and Tokai, 2001; Park et al., 2004; Park et al., 2016). 삼중자망에서는 홑겹 자망의 어획 형태에 더하여 대상 생물이 망목이 작은 내망과 망목이 큰 외망에 의해 형성되는 주머니에 갇혀서 어획되는 형태 (pocketing)가 포함되나, 상당수의 어종에 대한 삼중자망의 선택성 곡선은 종형의 함수로 표현되었다 (Erzini et al., 2006; Koike and Matuda 1988). 삼중자망에 어획된 어종 중에서 대부분의 개체가 외망과 내망에 의해 형성된 주머니 속에 갇혀서 어획되는 경우에는 선택성 곡선이 S-자형 (sigmoid) 함수로 표현되었다

(Erzini et al., 2006; Akiyama et al., 2004). 따라서 본 연구에서는 삼중자망에 대한 고무꼭징이의 망목 선택성을 표현하는 함수 모델로서 중형 함수인 정규함수 (normal function), 대수정규함수 (lognormal function), 이봉성정규함수 (bi-normal function)와 S-자형 함수인 Logistic 함수를 사용하였다 (Fujimori and Tokai, 2001; Park et al., 2004; Yano et al., 2012; Akiyama et al., 2004).

$$\text{normal function : } s(R_{ij}) = \exp\left(-\frac{(R_{ij}-R_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$\text{lognormal function : } s(R_{ij}) = \exp\left(-\frac{(\ln R_{ij}-\ln R_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$\text{logistic function : } s(R_{ij}) = \frac{\exp(a+bR_{ij})}{1+\exp(a+bR_{ij})} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\text{bi-normal function :} \\ s(R_{ij}) &= \frac{1}{\delta} \left[ \exp\left(-\frac{(R_{ij}-R_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + \omega \exp\left(-\frac{(R_{ij}-R_2)^2}{2\sigma_2^2}\right) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 수식의  $R_0$ 는 모델의 최대치를 나타내는 값이고,  $\sigma$ 는 모델의 폭을 결정하는 파라미터이다 (Wakayama et al., 2006 ; Akiyama et al., 2004; Fujimori and Tokai, 2001). 또한  $a$  및  $b$ 는 Logistic 함수의 파라미터이다. 이봉성정규함수의 경우,  $R_1$  및  $R_2$ 는 각각 제1곡선 및 제2곡선의 최대치를 나타내며  $\sigma_1$  및  $\sigma_2$ 는 이들 곡선의 폭을 결정하는 계수이다. 그리고  $\omega$ 는 제1곡선에 대한 제2곡선의 상대적 높이를 나타내는 파라미터이며,  $\delta$ 는 함수의 최대치를 1로 조정하는 계수이다.

#### 모델의 적합도 비교

망목 선택성 곡선으로 추정된 각 함수 모델의 적합도를 비교하기 위하여 일탈도 (model deviance)  $D_m$ 를 계산하였다. 망목 크기  $m_i$ 인 어구의 체장별 표준화 잔차 (deviance residual)  $d_{ij}$  및 일탈도 (model deviance)는 다음의 수식으로 표현된다 (Fujimori and Tokai, 2001;

Wakayama et al., 2006 ; Park et al., 2004). 수식 (9)의 우변 부호는 관측치  $\phi_{ij}$ 가 추정치  $\phi(R_{ij})$ 보다 큰 경우에는 (+), 작은 경우에는 (-)이다.

$$d_{ij} = \pm \left[ 2C_j \left( \phi_{ij} \ln \left( \frac{\phi_{ij}}{\phi(R_{ij})} \right) + (1-\phi_{ij}) \ln \left( \frac{1-\phi_{ij}}{1-\phi(R_{ij})} \right) \right) \right]^{1/2} \quad (9)$$

$$D_m = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (d_{ij})^2 \quad (10)$$

망목 선택성을 표현하는 함수 모델의 일탈도는 근사적으로 자유도 (d.f.)가  $n(k-1)-r$ 인  $\chi^2$  분포를 따른다 (Fujimori and Tokai, 2001; Wileman et al., 1996). 여기서  $r$ 은 함수의 파라미터 수이다.  $\chi^2$ 검정에 의하여 선택성 곡선으로서 적합한 모델에 대해서는  $-2MLL+2r$ 로 표현되는  $AIC$  (Akaike's Information Criterion)를 비교하였다 (Akaike, 1974; Fujimori and Tokai, 2001). 수식의  $MLL$  (maximum log-likelihood)은 최대 대수 우도이다.  $AIC$ 가 작을수록 최적의 모델로 평가된다.

## 결 과

### 어획물 조성

고무꼭징이의 어획 개체수가 비교적 많았던 7회의 조업 자료를 정리하여 어종별 개체수를 나타내었다 (Table 2). 어획물의 종 동정은 어류도감 등을 참고하였다 (NFRDI, 1999; NFRDI, 2004). 시험 어구에 어획된 어종은 고무꼭징이 (Spinyhead sculpin, *Dasycottus setiger*), 대구 (Pacific cod, *Gadus macrocephalus*), 기름가자미 (Blackfin flounder, *Glyptocephalus stelleri*), 황불락 (Owston's rockfish, *Sebastes owstoni*), 꼼치 (Tanaka's snailfish, *Liparis tanakai*), 임연수어 (Atka mackerel, *Pleurogrammus azonus*), 물레고둥 (Finely-striate buccinum, *Buccinum striatissimum*), 명주매물고둥 (*Neptunea constricta*) 등으로 나타났다 (Table 2). 이들 어종 중에서 대구, 고무꼭징이, 기름가자미의 어획 비율이 높았다.

왕돌초 수역에서 2002년부터 2004년 사이에 자망과 삼중자망 (망목 크기 90.9 mm)을 사용하여 수심 50~

Table 2. Catch numbers and percentage of each species caught in the experimental trammel nets

Species	Mesh size (mm)				Total	(%)
	82.2	89.4	104.8	120.2		
Pacific cod <i>Gadus macrocephalus</i>	178	166	138	127	609	31.3
Spinyhead sculpin <i>Dasycottus setiger</i>	92	114	127	120	453	23.3
Owston's rockfish <i>Sebastes owstoni</i>	28	27	32	16	103	5.3
Blackfin flounder <i>Glyptocephalus stelleri</i>	173	153	92	37	455	23.4
Tanaka's snailfish <i>Liparis tanakai</i>	9	17	24	10	60	3.1
Pointhead flounder <i>Hippoglossoides pinetorum</i>	3	1	0	1	5	0.3
Black edged sculpin <i>Gymnocanthus herzensteini</i>	0	1	1	1	3	0.2
Atka mackerel <i>Pleurogrammus azonus</i>	3	6	0	1	10	0.5
Finely-striate buccinum <i>Buccinum striatissimum</i>	49	39	51	15	154	7.9
<i>Neptunea constricta</i>	17	15	8	6	46	2.4
others	18	12	10	8	48	2.5
Sum	570	551	483	342	1946	100.0
No. net used.	52	52	52	52	208	

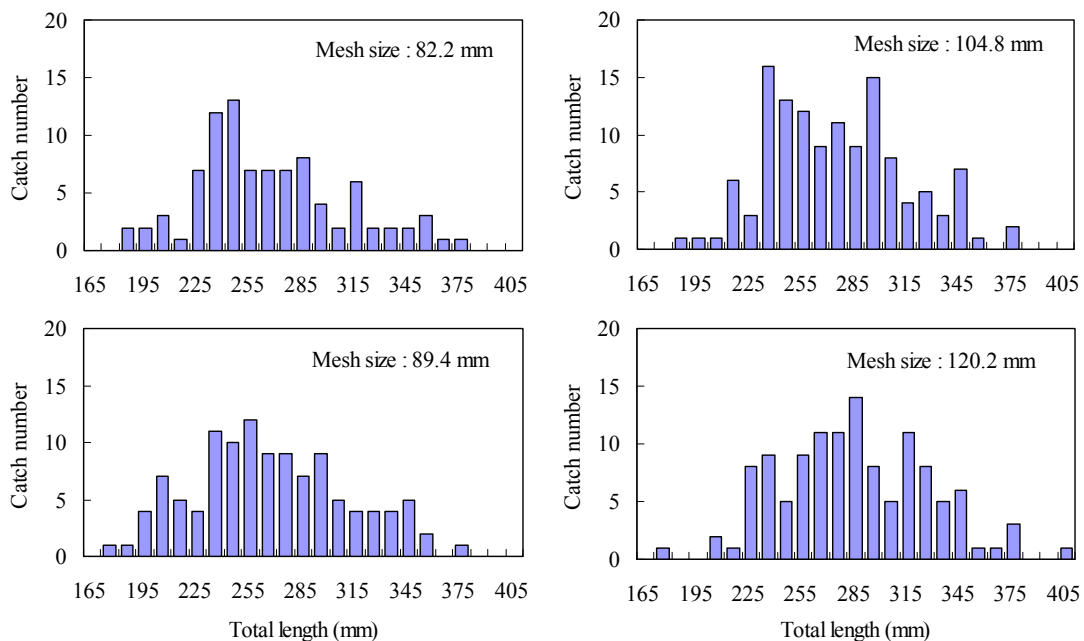


Fig. 1. Size frequency distributions of spinyhead sculpin caught in the experimental trammel nets.

120 m 사이에서 어종별 어획 개체수를 조사한 결과에 의하면, 자망에는 기름가자미 (3.1%), 대구 (20.3%), 불볼락 (17.1%), 임연수어 (48.3%) 등이 많이 어획되었고, 삼중자망에는 기름가자미 (15.3%), 대구 (16.9%), 불볼락 (15.6%), 빨간횃대 (8.8%), 임연수어 (27.6%) 등의 어획 비율이 높았다 (Lee et al., 2008). 또한 어획 비율이 높은 어종 중에서 자망에 많이 어획된 어종은 대구, 불볼

락, 임연수어 등이었고, 삼중자망에 많이 어획된 어종은 기름가자미, 빨간횃대 등이었다. 본 연구의 결과와 Lee et al. (2008)에 의한 삼중자망의 결과를 비교하면, 대구와 기름가자미의 어획 비율은 공통적으로 높았으나, 고무꼭정어의 비율은 본 연구에서 높았고, Lee et al. (2008)의 조사에서는 임연수어와 불볼락의 비율이 높았다. 이들 두 연구 사이의 어종별 어획 비율의 차이는

망목 크기, 어장의 위치, 수심 등에 의한 영향으로 생각된다.

본 연구에서 많이 어획된 고무꺼정이의 전장 범위는 175~405 mm이었다 (Fig. 1). 우리나라 동해안 등에 서식하는 고무꺼정이는 수심 20~800 m에 분포하는 냉수성 어종이며, 두부가 크고 두부의 상부에는 돌기 (가시)들이 돌아 있다 (NFRDI, 2004; Yang et al., 2007; Park et al., 2016). 따라서 고무꺼정이의 망목 선택성에는 이들 돌기의 영향이 포함될 것으로 생각된다.

**망목 선택성 곡선**

고무꺼정이에 대한 삼중자망의 선택성 곡선을 추정하

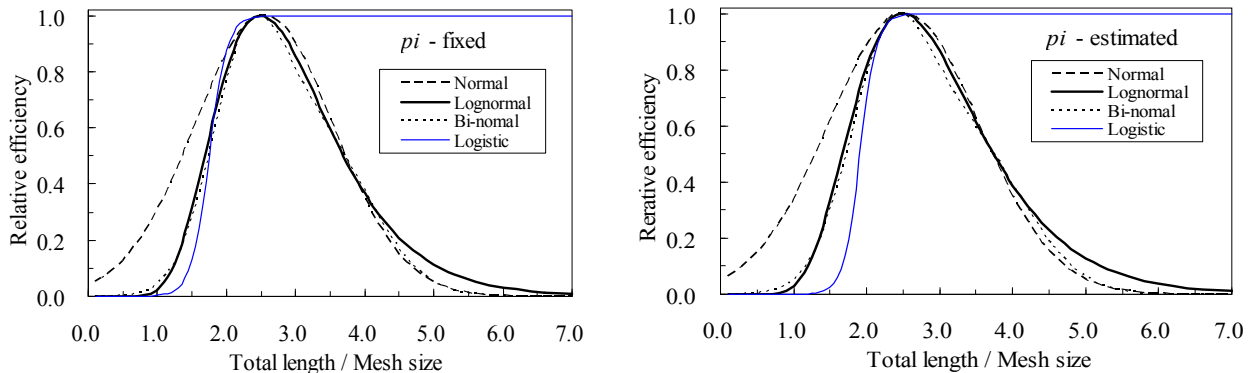
였다. 선택성 곡선의 계산에 사용된 고무꺼정이의 전장 범위는 개체수가 비교적 많은 205~345 mm로 하였다. 상대 어획강도 ( $p_i$ )를 고정한 모델 ( $p_i$ -fixed model)과 상대 어획강도 ( $p_i$ )가 다르다고 가정한 모델 ( $p_i$ -estimated model)의 선택성 곡선을 추정하고 적합도 등을 비교하였다 (Table 3). 각 함수 모델의  $\chi^2$ 검정에 따른 적합도 검정 결과를 보면, 상대 어획강도를 고정한 Logistic 함수의 경우를 제외하면 적합한 것으로 나타났다 ( $P \geq 0.05$ ). 망목 선택성을 나타내는 함수 모델 중에서 상대 어획강도를 고정한 대수정규함수가 가장 높은 적합도를 나타내었다.

고무꺼정이에 대한 시험 어구의 선택성을 표현하는

**Table 3. Parameter estimates and model deviance for each functional model**

Models	Parameters						MLL	$D_m$	d.f.	P-value	AIC				
	$R_0$	$\sigma_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$									
Normal															
$p_i$ -fixed	2.541	1.002	0.250	0.250	0.250	0.250	-577.8	49.5	43	0.231	1159.5				
$p_i$ -estimated	2.508	1.028	0.241	0.260	0.260	0.240	-577.5	48.7	40	0.163	1165.0				
Lognormal															
$p_i$ -fixed	2.492	0.334	0.250	0.250	0.250	0.250	-577.1	47.7	43	0.287	1158.2				
$p_i$ -estimated	2.496	0.343	0.236	0.258	0.260	0.246	-576.9	47.0	40	0.206	1163.8				
Logistic															
	$a$	$b$													
$p_i$ -fixed	-13.545	7.748	0.250	0.250	0.250	0.250	-585.2	68.9	43	0.007	1174.4				
$p_i$ -estimated	-17.009	8.916	0.182	0.231	0.279	0.309	-579.2	52.6	40	0.087	1168.4				
Bi-normal															
	$R_1$	$R_2$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\omega$	$\delta$									
$p_i$ -fixed	2.284	3.291	0.526	0.781	0.778	1.387	0.250	0.250	0.250	0.250	-576.9	47.2	40	0.201	1163.9
$p_i$ -estimated	2.279	3.316	0.538	0.805	0.768	1.381	0.254	0.239	0.253	0.254	-576.7	46.6	37	0.135	1169.4

MLL, maximum log-likelihood; d.f., degree of freedom; AIC, Akaike's information criterion.



**Fig. 2. Master selection curves of the trammel net for spinyhead sculpin by each function model.**



Master curve를 Fig. 2에 나타내었다. 상대 어획강도 일정의 모델에서는 최대 선택률 (=1.0)을 나타내는 정규함수, 대수정규함수, 이봉성정규함수의 최적 상대 전장 (optimum relative length)이 각각 2.541, 2.492, 2.284로 추정되었다 (Table 3). 상대 어획강도 추정의 모델에서는 선택률 1.0을 나타내는 정규함수, 대수정규함수, 이봉성정규함수의 최적 상대 전장은 각각 2.508, 2.496, 2.279이었다 (Table 3).

## 고 찰

본 연구에서 추정된 선택성 곡선 중에서 AIC가 가장 작은 함수 모델은 상대 어획강도가 일정하다고 가정된 대수정규함수이었다. 따라서 본 연구에서는 삼중자망에 대한 고무꼭정어의 최적 망목 선택성 곡선으로 상대 어획강도 일정의 대수정규함수를 채택하였다.

지금까지 보고된 자망에 대한 전어, 고무꼭정어, 연어, 대구 등의 망목 선택성 곡선은 이봉성정규함수가 적합한 것으로 나타났다 (Park et al., 2004; Park et al., 2016; Fujimori and Tokai, 2001; Hovgard, 1996). 또한 정어리에 대한 자망의 선택성 곡선은 대수정규포함수로 표현되었고, 고등어의 경우에는 왜정규함수 (skew-normal function) 또는 대수정규함수로 표현되었다 (Sato et al., 2015; Yano et al., 2012; Sato et al., 2016). 상당수의 어종에 대한 삼중자망의 망목 선택성 곡선은 이봉성정규함수로 표현되었으나, 일부 어종에 대한 삼중자망의 선택성 곡선은 Logistic 함수 등으로 표현되었다 (Erzini et al., 2006; Akiyama et al., 2004). 이들 결과들을 종합하면 자망 또는 삼중자망의 망목 선택성을 표현하는 함수 형태는 어종에 따라 다르고 동일 어종인 경우에도 어획 시기 등에 따라 차이가 있다 (Sato et al., 2015; Yano et al., 2012; Sato et al., 2016). 자망에 어획된 대구의 어획 형태를 보면, 최적 상대 전장 주변에서는 대부분의 개체가 망목에 걸리는 형태로 어획되었고 상대 전장이 작은 범위에서는 치아 등이 얽히는 어획 형태이었으며, 상대 전장이 큰 범위에서는 두부가 망목에 걸리는 어획 형태를 나타내었다 (Hovgard et al., 1999). Fabi et al. (2002)의 결과에 의하면, 자망이나 삼중자망에 어획되는 대부분의 개체는 망목에 걸려서 어획되었으나, 일부 개체는 얽히거나 주머니에 갇혀서 어획되었다. 또한 자망에서는 이들 비율이 매우 낮았지만 삼중자망에

서는 높은 값을 나타내었다고 보고하였다. 본 연구에서 최적 모델로 선정된 대수정규함수는 종형 함수에 속하므로 삼중자망에 어획된 고무꼭정어의 어획 형태는 내망의 망목에 걸려서 어획되는 형태 (gilling 또는 wedging)가 많았을 것으로 생각되나, 주머니에 갇혀서 어획되는 형태, 돌기 등에 얽혀서 어획되는 형태 등이 포함되어 있다고 생각된다.

트롤이나 통발의 망목 선택성은 대부분 Logistic 함수로 표현되며, 50% 상대 선택 전장 ( $R_{50\%} = -a/b$ )과 선택 범위 ( $SR = R_{75\%} - R_{25\%} = (2 \ln 3)/b$ )는 함수의 파라미터  $a$  및  $b$ 를 사용하여 산정된다 (Harada et al., 2007). 자망의 선택 범위는 트롤 또는 통발 어구와는 달리 선택률 5%를 나타내는 체장 범위로 표현되는 경우가 있다 (Pope et al., 1975; Yano et al., 2012). 연구자에 따라서는 자망의 선택률이 50%, 25%, 10%, 또는 5%를 나타내는 체장 범위를 선택 범위로 표현하기도 한다 (Koike and Matuda, 1988; Clay, 1981; Ehrhardt and Die, 1988; Park et al., 2004). 본 연구에서 구해진 최적의 선택성 곡선으로부터 선택률 50%, 25%, 10%, 또는 5%를 나타내는 상대 전장의 하한치 ( $R_{\%, small}$ )는 각각 1.101, 1.217, 1.429, 1.628이고 상대 전장의 상한치 ( $R_{\%, large}$ )는 각각 3.691, 4.344, 5.100, 5.641이었다. 따라서 선택률 50%, 25%, 10%, 또는 5%를 나타내는 상대 전장의 선택 범위는 각각 2.009, 2.915, 3.883, 4.540으로 산정되었다.

자망에 대한 고무꼭정어의 망목 선택성 결과에 의하면, 제1곡선의 최대치를 나타내는 상대 전장, 최적 상대 전장 (제2곡선으로 영향으로 제1곡선의 최대치를 나타내는 상대 전장보다 약간 증가함) 및 50% 선택 범위는 각각 2.338, 2.363, 0.851을 나타내었다 (Park et al., 2016). 본 연구에서 추정된 삼중자망의 최적 상대 전장 및 50% 선택 범위는 각각 2.492, 2.009이었다. 이들 결과를 비교하면 삼중자망의 최적 상대 전장은 자망에 비하여 약간 높은 값을 나타내었고, 50% 선택 범위는 삼중자망이 홑자망에 비하여 2배 이상 큰 값을 나타내었다. 자망의 경우에는 어류가 망목에 걸려서 어획되는 형태가 많으나, 삼중자망의 경우에는 자망의 어획 형태에 더하여 망목이 작은 내망과 망목이 큰 외망에 의하여 형성되는 주머니에 갇혀서 어획되는 형태 등이 더해지

므로 선택 범위가 넓어졌다고 생각된다 (Fabi et al., 2002; Erzini et al., 2006).

자망 또는 삼중자망의 망목에 어류가 걸리는 확률은 망목 내주 ( $P \approx 2 \times \text{망목내경}$ )와 체동주 ( $G$ ) 사이의 상대적 관계가 중요하다 (Koike and Matuda 1998; Akiyama et al., 2004; Wakayama et al., 2006; Yano et al., 2012). Reis and Pawson(1999)은 자망에 어획되는 상당수의 어종은 상대 체동주 ( $G/P$ )가 1.0~1.1에서 어획 비율이 가장 높다고 보고하였다. 삼중자망에 대한 고무끼정이의 망목 선택성 결과로부터 내망의 망목 내경이 90, 105, 120, 135 mm로 증가하면 선택률 1.0에 해당하는 고무끼정이의 전장은 각각 224, 262, 299, 336 mm로 추정되었다. 고무끼정이의 전장 ( $L$ , mm)과 최대 체동주 ( $G$ , mm) 사이의 회귀식 ( $G = 0.7433L - 3.4437$ ; Park et al., 2016)을 사용하여 이들 전장에 해당하는 체동주를 계산하면 각각 163, 191, 219, 247 mm이었다. 또한, 상대 체동주는 약 0.91이며 자망에 대한 고무끼정이의 상대 체동주 (0.86~0.87)보다 약간 높은 값을 나타내었다 (Park et al., 2016). 선택률 1.0을 나타내는 고무끼정이의  $G/P$  값이 1.0보다 작은 값을 나타내는 것은 고무끼정이의 형태적 특징에 기인한다고 생각된다. 즉 고무끼정이의 눈과 아가미 뚜껑 후단 사이의 머리 부분 상부에는 여러 개의 돌기가 있고, 체동주의 측정치에는 이들 돌기의 크기가 포함되지 못한 영향으로 생각된다. 또한 선택률 1.0을 나타내는 삼중자망의 상대 체동주가 자망에 비하여 다소 큰 값을 나타내는 것은 삼중자망의 최적 상대 전장이 자망의 최적 상대 전장에 비하여 약간 큰 값으로 추정된 영향으로 생각된다. 삼중자망과 자망의 최적 상대 전장의 차이에 대해서는 금후 추가적인 연구를 통하여 구명되어야 할 것이다. 그리고 삼중자망에 어획되는 고무끼정이의 어획 형태, 체동주와 망목 내주 사이의 관계, 망사 직경에 따른 선택성 변화 등에 대하여 보다 많은 자료 수집과 분석이 필요한 것으로 생각된다.

### 결론

동해안 울진 연안 수역에서 외망의 망목 크기는 일정하고 내망의 망목 크기를 다른 저층 삼중자망을 사용하여 어획시험을 수행하고, 그 결과를 분석하였다. 시험 어구에 어획된 어종은 대구 (31.3%), 고무끼정이 (23.3%), 기름가자미 (23.4%), 물레고둥 (7.9%) 등이었다.

고무끼정이에 대한 삼중자망의 망목 선택성은 SELECT (Share Each Length's Catch Total) 모델을 사용하여 추정하였다. 망목 선택성을 표현하는 함수 모델은 중형 함수 3종류 (정규함수, 대수정규함수, 이봉성정규함수)와 S자형의 Logistic 함수를 적용하였다. 망목 선택성 곡선의 파라미터 추정에는 최우법을 적용하였다. 각 함수 모델의 일탈도 및 AIC 비교를 통하여 최적 망목선택성 곡선으로 상대 어획 강도 일정 ( $p_i$ -fixed)의 대수정규함수가 채택되었다. 선택률 1.0을 나타내는 최적 상대 전장 (optimum relative length) 은 2.492로 추정되었다. 자망에 대한 고무끼정이의 망목 선택성 결과와 비교하면 선택률 1.0을 나타내는 최적 상대 전장은 차이가 적으나, 50% 선택 범위는 삼중자망이 홑자망에 비하여 큰 값을 나타내었다. 삼중자망의 경우, 자망의 어획 형태에 더하여 주머니 속에 갇혀서 어획되는 형태 등이 더해지므로 선택 범위가 넓어졌다고 생각된다. 이것은 삼중자망이 자망에 비하여 덜 선택적인 어구이라는 것을 의미한다. 금후, 삼중자망에 어획되는 어류의 어획 형태와 망목 선택성 사이의 관계 등을 비교 조사하는 연구가 필요하다.

### 사사

본 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업 (R2017040)의 지원에 의해 수행된 연구입니다. 시험 조업 및 조사에 협조하여 주신 연안자망 어선의 선장님 등에게 깊이 감사드립니다. 또한 본 논문의 내용에 대하여 많은 조언을 하여 주신 심사위원님께도 감사의 뜻을 전합니다.

### References

- Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans Autom Contr AC-19, 716-723.
- Akiyama S, Kaihara S, Arimoto T and Tokai T. 2004. Size selectivity of a trammel net for oval squid *Sepioteuthis lessoniana*. Fish Sci 70, 945-951.
- Clay D. 1981. A new technique for estimation of gillnet selectivity and Re-analysis of data for several fish species. NAFO Sci Coun Studies 1, 7-22.
- Ehrhardt NM and Die D. 1988. Selectivity of gill nets used in the commercial Spanish mackerel fishery of Florida. Trans American Fish Soc 117, 574-580.



- Erzini K, Goncalves JMS, Bentes L, Moutopoulos DK, Casal JAH, Soriguer MC, Puente E, Errazkin LA and Stergiou K. 2006. Size selectivity of trammel nets in southern European small-scale fisheries. *Fish Res* 79, 183-201. (DOI:10.1016/j.fishres.2006.03.004)
- Fabi G, Sbrana M, Biagi F, Grati F, Leonori I and Sartor P. 2002. Trammel net and gill net selectivity for *Lithognathus mormyrus* (L., 1758), *Diplodus annularis* (L., 1758) and *Mullus barbatus* (L., 1758) in the Adriatic and Ligurian seas. *Fish Res* 54, 375-388.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1992. Introduction to tropical fish stock assessment (by Sparre P and Venema SC). Part I - Manual. FAO Fisheries Technical Paper 306/1, Rome, 172-199.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Manual on estimation of selectivity for gillnet and longline gears in abundance surveys (by Hovgard H and Lassen H). FAO Fisheries Technical Paper 397, Rome, 1-84.
- Fujimori Y, Tokai T, Hiyama S and Matuda K. 1996. Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). *Fish Res* 26, 113-124.
- Fujimori Y and Tokai T. 2001. Estimation of gill net selectivity curves by maximum likelihood method. *Fish Sci* 67, 644-654.
- Harada M, Tokai T, Kimura M, Hu F and Shimizu K. 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 Sci* 73, 477-488. (DOI:10.1111/j.1444-2906.2007.01360.x)
- Holst R, Wileman D and Madsen N. 2002. The effect of twine thickness on the size selectivity and fishing power of Baltic cod gill nets. *Fish Res* 56, 303-312.
- Hovgard H. 1996. A two-step approach to estimating selectivity and fishing power of research gill nets used in Greenland waters. *Can J Fish Aquat Sci* 53, 1007-1013.
- Hovgard H, Lassen H, Madsen N, Poulsen TM, Wileman D. 1999. Gillnet selectivity for North Sea Atlantic cod (*Gadus morhua*): model ambiguity and data quality are related. *Can J Fish Aquat Sci* 56, 1307-1316.
- Ishida T. 1962. On the gill-net mesh selectivity curve. *Bull Hokkaido Reg Fish Res Lab* 25, 20-25.
- Kitahara T. 1968. On sweeping trammel net (kogisiasiami) fishery along coast of the San-in districts-III. Mesh selectivity curve of sweeping trammel net for branquillos. *Nippon Suisan Gakkaishi* 34(9), 759-763.
- Koike A and Takeuchi S. 1985. Effect of trammel net with different sizes of mesh of inside net on catching efficiency. *Bull Japan Soc Sci Fish (Nippon Suisan Gakkaishi)* 51(6), 895-901.
- Koike A and Matuda K. 1988. Catching efficiency of trammel net with different slackness. *Bull Japan Soc Sci Fish (Nippon Suisan Gakkaishi)* 54(2), 221-227.
- Lee SI, Hwang SJ, Yang JH and Shim JM. 2008. Seasonal variation in species composition of gill net and trammel net catches in the coastal waters off Wangdol-cho, Korea. *Kor J Ichthyology*, 20, 291-302.
- Losanes PL, Matuda K and Fujimori Y. 1992. Estimating the entangling effect of trammel and semi-trammel net selectivity on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Res* 15, 229-242.
- Millar RB and Fryer RJ. 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. *Rev Fish Biol Fish* 9, 89-116.
- Millar RB and Walsh DJ. 1992. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. *Fish Res* 13, 205-220.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 1999. Commercial Molluscs from the Freshwater and Continental Shelf in Korea. Goodeok, Busan, 1-197.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2004. Commercial Fishes of the Coastal & Offshore Waters in Korea. Hangeul, Busan, 1-333.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2008. Fishing Gear of Korea. Hangul Graphics, Busan, 528-570.
- Park CD, Jeong EC, Shin JK, An HC and Fujimori Y. 2004. Mesh selectivity of encircling gill net for gizzard shad *Konosirus punctatus* in the coastal sea of Korea. *Fish Sci* 70, 553-560.
- Park CD, Bae JH, Cho SK, An HC and Kim IO. 2016. Size selectivity of the gill net for spinyhead sculpin, *Dasycottus setiger* in the eastern coastal waters of Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 52(4), 281-289. (DOI:10.3796/KSFT.2016.52.4.281)
- Pope JA, Margetts AR, Hamley JM and Akyuz EF. 1975.

- Manual of methods for fish stock assessment part III. Selectivity of fishing gear. FAO. Fish Techn Paper 41, 3-6.
- Reis EG and Pawson MG. 1999. Fish morphology and estimating selectivity by gillnets. Fish Res 39, 263-273.
- Sato M, Tokai T and Kawabata A. 2015. Mesh selectivity of experimental drift net for Japanese sardine. Nippon Suisan Gakkaishi 81(2), 290-292.
- Sato M, Tokai T, Mori Y and Nakame Y. 2016. Appropriate mesh size combination of research drift net for chub mackerel resources off Hokkaido, Pacific. Nippon Suisan Gakkaishi 82(3), 290-297. (DOI:10.2331/suisan.15-00061)
- Thomas SN, Edwin L and George VC. 2003. Catching efficiency of gill nets and trammel nets for penaeid prawns. Fish Res 60, 141-150.
- Wakayama K, Fujimori Y, Itaya K, Murakami O and Miura T. 2006. Mesh selectivity of gillnet for pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum*. Nippon Suisan Gakkaishi, 72(2) 174-181.
- Wileman DA, Ferro RST, Fonteyne R and Millar RB. 1996. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Cooperative research report No. 215, 1-126.
- Yang JH, Lee SI, Hwang SJ, Park JH, Kwon HC, Park KY and Choi SH. 2007. Maturity and Spawning of Spinyhead Sculpin, *Dasycottus setiger* (Bean) in the East Sea, Korea. Korean J Ichthyol 19(3), 179-184.
- Yano A, Tokai T and Kawabata A. 2012. Selectivity of experimental drift net for chub mackerel *Scomber japonicus*. Nippon Suisan Gakkaishi 78(4), 681-691.
- 
2017. 10. 20 Received  
2017. 11. 22 Revised  
2017. 11. 22 Accepted