

통발에 대한 물렁가시붉은새우 (*Pandalopsis japonica*)의 망목 선택성

박창두* · 조삼광 · 배재현¹ · 김현영² · 차봉진

국립수산과학원 시스템공학과, ¹국립수산과학원 동해수산연구소, ²국립수산과학원 연구기획과

Size selectivity of a dome-shaped pot for Morotoge shrimp *Pandalopsis japonica* in the eastern coastal waters of Korea

Chang-Doo PARK*, Sam-Kwang CHO, Jae-Hyun BAE¹, Hyun-Young KIM², and Bong-Jin CHA

Fisheries System Engineering Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

¹Aquaculture Industry Division, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangwon-do 210-861, Korea

²Research & Development Planning Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

Morotoge shrimp *Pandalopsis japonica* is caught by pot and others in the eastern coastal waters of Korea. Comparative fishing experiments were carried out in the eastern coast of Korea, using the dome-shaped pots with different five mesh sizes (17.1, 24.8, 35.3, 39.8, and 48.3 mm) in order to estimate the mesh selectivity of the pot for the morotoge shrimp, *Pandalopsis japonica*. The SELECT (Share Each Length's Catch Total) analysis method was applied to the catch data. The master selection curve of the pot for the shrimp was estimated to be $s(R) = \exp(15.770R - 10.573) / [1 + \exp(15.770R - 10.753)]$, where R is the ratio of carapace length to mesh size. From the selection curves, the carapace lengths of 50% retention were 11.6, 17.0, 23.9, and 34.1 mm for 17, 25, 35, and 50 mm mesh-size pot, respectively. It means that the pots of larger mesh size allow more shrimp of small size to escape.

Keywords: shrimp, selectivity, *Pandalopsis japonica*, pot, SELECT

서론

물렁가시붉은새우 (*Pandalopsis japonica*)는 한국 동해안, 일본 서해안 및 북해도 연안 등에 분포하며 수심 60~650 m에서 서식하는 것으로 알려져 있다 (NFRDI, 2001; Miyake, 1982; Kwon et al., 2014). 본 종은 부화한 다음 성장하여 먼저 수컷으로 성숙하고 두흉갑장 25 mm 전후가 되면 암컷으로 성 전환하는 생물적 특성을 지니고 있다 (NFRDI, 2001; Kim et al., 2006). 우리나라

동해안의 연안통발에 어획되는 물렁가시붉은새우는 지역에 따라 다소 차이는 있으나, 수심 약 100~300 m 범위에서 많이 어획된다. 본 종의 어획량은 많지 않으나 중요 어업자원이므로 산업적으로는 중요하다 (Hong, 2006).

최근, 어업자원의 지속적 이용과 관련하여 치어 또는 비목표 어종의 혼획을 감소시키는 다양한 연구가 수행되고 있다 (Tokai et al., 1990; Millar and Fryer, 1999;

*Corresponding author: cdpark1@korea.kr, Tel: +82-51-720-2590, Fax: +82-51-720-2586

Park et al., 2011; Kim et al., 2005; Saiura and Tokai, 2003; Saiura et al., 2006). 그물 어구는 기본적으로 망목 선택성을 가지고 있으므로 이를 활용하여 작은 개체는 바다 속에서 망목을 통하여 빠져나가게 하는 것이 자원의 지속적 이용 측면에서 바람직하다. 어로 작업 측면에서도 치어의 혼획 감소는 선상의 선별 작업에 소요되는 시간과 노동력을 감소시킬 수 있다.

지금까지 통발의 망목 선택성에 관한 연구는 붕장어, 털게, 붉은대게, 멍장어, 물레고둥 등에 대하여 수행되었다 (Uchida et al., 2000; Nishiuchi, 2003; Jeong et al., 1999; Jeong et al., 2000; Harada et al., 2007; Park et al., 2013; Park et al., 2014). 이들 연구를 살펴보면 통발의 망목 크기가 증가할수록 장래에 성장하여 자원 증가에 기여할 수 있는 소형 개체의 어획이 감소하는 결과를 나타낸다.

본 연구는 우리나라 동해안에서 사용되는 반구형 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 망목 선택성을 조사할 목적으로 수행되었다. 망목 크기가 다른 반구형 통발을 제작하여 시험조업을 수행하고 갑장 구성에 기초하여 물렁가시붉은새우의 망목 선택성을 추정하였다. 본 연구에서 얻어진 결과가 물렁가시붉은새우의 지속적 이용을 위한 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

재료 및 방법

시험 조업

동해안 연안통발 어업에서는 반구형 통발, 장구형 통발 등이 사용되어 왔다 (NFRDI, 2008; Park et al., 2013; Park et al., 2014; An et al., 2014). 최근 일부 지역에서는 고동류나 문어를 대상으로 원통형 통발 (일부 어업인들은 북 통발이라고도 부름)이 사용되는 경우도 있으나, 지역에 따라 새우류 등의 어획에는 반구형 통발 (Park et al., 2014)이 사용되고 있다. 본 연구에서는 동해안 연안통발 어선에 사용되는 반구형 통발 (밑면 직경 58 cm, 높이 37 cm, 중량 700 g)을 사용하여 시험조업을 수행하였다. 시험에 사용된 반구형 통발에는 중간 정도의 높이에 좌우로 마주보는 입구 (직경 약 12 cm) 2개가 부착되었고, 입구와 연결되는 망지의 경사각은 약 40°이었다.

시험 통발에 사용한 망목 크기 (내경)는 5종류 (17.1, 24.8, 35.3, 39.8, 48.3 mm)이다. 본 연구에서는 상업적으

로 판매되는 망지를 사용하여 시험 어구를 제작하였다. 통발 사이의 간격은 약 10m로 하였고 망목 크기 순으로 반복 배치하여 투망하였다. 통발의 양쪽 입구 사이에 부착되는 미끼는 정어리 1~3마리를 사용하였다. 시험 통발의 침지시간은 4~5일을 기준으로 하였으나, 기상 상태가 나빠 양망이 곤란한 경우에는 최대 11일까지 침지하였다. 시험 조업은 2003년 7월부터 8월 사이에 동해안 영일만 주변 수역 (Park et al., 2004)에서 총 5회 수행되었다. 동해안에서는 계절별 주요 대상 어종이 달라지므로 동일 수역일지라도 시기에 따라 사용하는 어구가 달라진다. 시험 시기는 연안통발과 다른 어업 사이의 어장 사용 경쟁이 적은 시기를 고려하여 선택하였다. 시험 선박은 연안통발 어선 (5.8톤)을 사용하였고 어장 수심은 150~220 m이었다. 시험 어구에 어획된 새우 등의 어획물은 선상에서 망목 크기별로 분류하여 어항에 운반한 다음, 표준 체장 등을 측정하였다. 물렁가시붉은새우의 갑장은 디지털 캘리퍼스를 이용하여 0.1 mm 단위로 측정하였고 무게는 저울 (CAS, SW-1)을 사용하여 1 g 단위로 측정하였다.

망목 선택성 곡선의 파라미터 추정

통발의 망목 선택성 곡선은 트롤 등의 어구에 적용되는 Logistic 함수가 많이 사용된다 (Uchida et al., 2000; Nishiuchi, 2003; Jeong et al., 2000; Park et al., 2013, 2014). 망목 크기 m_i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$)인 통발에 갑장 (carapace length) 계급 l_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)인 물렁가시붉은새우가 어획되는 망목 선택성 곡선은 아래의 수식으로 표현하였다.

$$s(R_{ij}) = \exp(a + bR_{ij}) / [1 + \exp(a + bR_{ij})] \quad (1)$$

여기서 R_{ij} 는 상대 갑장(l_j/m_i)이며 $s(R_{ij})$ 는 망목 크기에 따른 대상물의 어획 확률을 나타낸다. 수식의 a 와 b 는 망목 선택성 곡선의 형태를 결정하는 파라미터이며 시험 결과로부터 추정된다.

반구형 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 망목 선택성 곡선 추정에는 SELECT (Share Each Length's Catch Total) 모델을 적용하였다 (Millar and Walsh, 1992; Fujimori and Tokai, 2001; Park et al., 2004; Wileman et al., 1996; Yamashita et al., 2009; Park et al., 2011, 2013). 본 모델에서는 어획 대상인 물렁가시붉은새우가

통발의 망목 크기에 관계없이 조우 확률이 일정하다고 가정하는 경우 (*p*-fixed model)와 망목 크기에 따라 조우 확률이 다르다고 가정하는 경우 (*p*-estimated model)로 구분하여 해석된다.

본 연구에서는 각각의 모델로부터 추정된 망목 선택성 곡선의 적합성을 비교하기 위하여 어획 자료에 기초한 완전 모델(Full model)과 각 모델 사이의 일탈도 검증을 수행하였다 (Jeong et al., 2000; Harada et al., 2007; Yamashita et al., 2009; Watanabe, 2005). 또한, 이들 이론 모델 중에서 어느 쪽 모델이 보다 적합한지를 검토하기 위하여 최대대수우도 MLL (Maximum Log-Likelihood)과 파라미터의 수 *Q*에 의해 산정되는 AIC (Akaike's Information Criterion)를 비교하였다 (Akaike, 1974; Harada et al., 2007).

$$AIC = -2MLL + 2Q \quad (2)$$

AIC가 작을수록 이론 모델로서 보다 적합한 것으로 선택된다. 그리고 통발 어구의 망목 선택성을 평가하는 지표로서 수식 (3)에 나타낸 50%상대선택감장 R_{50} 과 선택범위 $SR (= R_{75} - R_{25})$ 를 나타내었다 (Wileman et al., 1996; Miyajima et al., 2012; Jeong et al., 2000).

$$R_{50} = -a/b, \quad SR = (2\ln 3)/b \quad (3)$$

결과 및 고찰

수산동물 종류별 어획량

동해안 영일만 주변 수역에서 망목 크기가 다른 반구형 통발을 사용하여 물렁가시붉은새우를 대상으로 총 5회의 시험 조업을 수행하였다. 선상에 양망된 망목 크기별 통발 개수의 합계를 Table 1에 나타내었다. 망목 크기별 양망된 통발의 개수는 210~224개이었고 양망된 전체 통발의 수는 1,086개를 나타내었다.

Table 1. Number of pots hauled in the fishing experiments

Mesh size (mm)	Haul pots	Relative fishing efficiency
17.1	210	0.193
24.8	224	0.206
35.3	222	0.204
39.8	216	0.199
48.3	214	0.197
Total	1,086	1.000

시험 통발에 어획된 수산동물의 종류는 물렁가시붉은새우 (Morotoge shrimp, *Pandalopsis japonica*)를 비롯하여 물레고등 (Finely-striate buccinum, *Buccinum striatissimum*), 세고리물레고등 (Constricted whelk, *Buccinum opisthoplectum*), 명주매물고등 (*Neptunea constricta*), 대게 (Snow crab, *Chionoecetes opilio*), 굽은띠매물고등 (*Neptunea frater*), 도화새우 (Coonstripe shrimp, *Pandalus hypsinotus*) 등이었다 (Table 2). 망목 크기가 작은 통발에는 거미불가사리 등이 일부 어획되었으나, 개체수나 중량은 측정하지 않았다.

시험에 사용된 반구형 통발의 입구 끝부분에는 철사로 제작된 직경 약 12 cm의 원형 테가 부착되어 있고 원형 테에는 입망한 어류 등이 되돌아 나가는 것을 방해하는 별도의 그물 등은 붙어 있지 않다. 따라서 어류 등은 유영하여 입구를 쉽게 통과할 수 있는 구조이므로 어류는 대부분 탈출하였다고 생각된다. 어획물 중에서 고동류의 어획이 비교적 많은 것으로 나타났다. 고동류는 통발 밖에서 입구와 연결되는 경사 망지를 타고 올라가 입망하기는 쉬우나, 통발 안에서 역방향으로 기어 올라가 입구를 통하여 탈출하는 것이 어렵기 때문이라고 생각된다. 새우류의 경우에는 보행 또는 유영에 의하여 통발 속으로 입망한다 (Kim et al., 2008). 물렁가시붉은새우가 통발에 입망하거나 탈출하는 행동 등에 관한 연구 자료는 거의 없는 실정이다. 그러나 도화새우 등의 행동에 관한 연구 (Kim et al., 2008)를 참고하면 입구를 통하여 다소 탈출할 가능성은 있으나, 통발 입구와 연결되는 망지의 경사 각도가 90° 이상이므로 탈출에 장애가 될 것으로 생각된다. 금후, 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 행동 특성 등에 대한 연구 등을 통하여 입망 또는 도피 행동 등의 구명이 필요하다.

시험 어구에 어획된 물렁가시붉은새우의 갑장(CL)과 체중(W)의 관계를 Fig. 1에 나타내었다. 갑장이 동일한 개체일지라도 중량에는 차이가 있는 것으로 나타났다.

망목 선택성 곡선 추정 및 적합도 비교

시험 통발에 어획된 물렁가시붉은새우의 갑장은 12.5~37.5 mm의 범위를 나타내었다 (Fig. 2). 망목 크기 17.1 mm의 경우를 제외하면 망목 크기의 증가에 따라 물렁가시붉은새우의 어획 개체수는 감소하는 것으로 나타났다. 망목 크기가 17.1, 24.8, 35.3, 39.8 mm로 증가함에 따라 갑장의 최빈치 (mode)는 각각 20.5, 21.5,

26.5, 29.5 mm를 나타내었다. 망목 크기 48.3 mm의 통발에서는 어획 개체수가 매우 적은 것으로 나타났다.

시험 통발에 어획된 망목 크기별 물렁가시붉은새우의 갑장 조성에 기초하여 망목 선택성 곡선을 추정하였다. 갑장 l_j 인 물렁가시붉은새우가 망목 크기 m_i 인 통발에 어획된 비율을 계산하고 조우 확률이 일정하다고 가정한 경우 (p -fixed)와 추정한 경우 (p -estimated)의 어획 비율을 그림으로 나타내었다 (Fig. 3). 시험 결과로부터 계산된 관측치 (Observed value)와 이론 모델로부터 계산된 추정치 (Expected value)를 보면 망목 크기 17.1, 24.8 mm의 통발에서는 갑장 16 mm 이하의 범위에서, 망목 크기 17.1, 39.8 mm의 통발에서는 갑장 32 mm 이상의 범위에서 추정치와 관측치가 다소 일치하지 않는 것으로 나타났다. 이것은 이들 갑장 범위에 해당되는 소형 개체와 대형 개체의 어획 개체수가 충분하지 못한 영향으로 생각된다.

Table 2. Catch numbers of species caught in the pot of each mesh size

Species	Mesh size of pot (mm)				
	17.1	24.8	35.3	39.8	48.3
<i>Buccinum striatissimum</i>	477	545	502	522	354
<i>Neptunea constricta</i>	34	38	32	23	29
<i>Buccinum opisthoplectum</i>	614	650	601	514	401
<i>Pandalopsis japonica</i>	475	549	282	132	19
<i>Chionoecetes opilio</i>	25	51	59	66	90
<i>Pandalus hypsinotus</i>	1	1	1	-	-
<i>Neptunea frater</i>	25	18	34	27	16
octopus	2	2	-	1	1
Others	1	0	0	0	0
Total	1,654	1,854	1,511	1,285	910

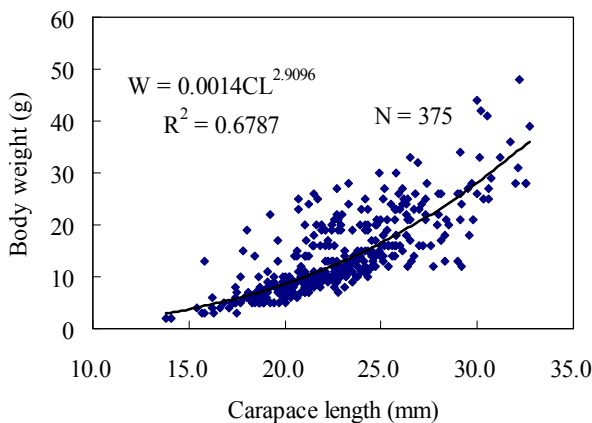


Fig. 1. Relationship between carapace length and body weight of Morotoge shrimp, *Pandalopsis japonica*. N, catch number.

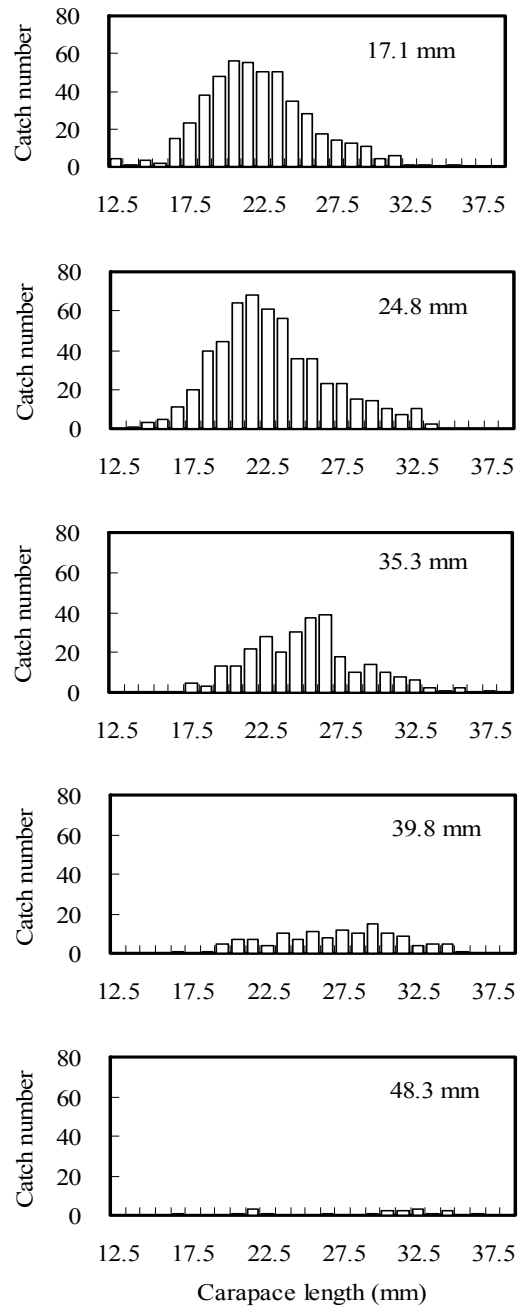


Fig. 2. Carapace length distributions of Morotoge shrimp, *Pandalopsis japonica* caught in the experimental pots.

각각의 이론 모델에 기초하여 추정된 Logistic 함수의 파라미터 (a , b), 조우 확률 (p), AIC 등을 Table 3에 나타내었다. 통발의 망목 크기별 조우 확률을 추정한 모델 (p -estimated)과 망목 크기에 관계없이 조우 확률이 일정하다고 가정한 모델 (p -fixed)의 50%상대선택갑장 R_{50} 은 각각 0.682 및 0.654를 나타내었다 (Table 3).

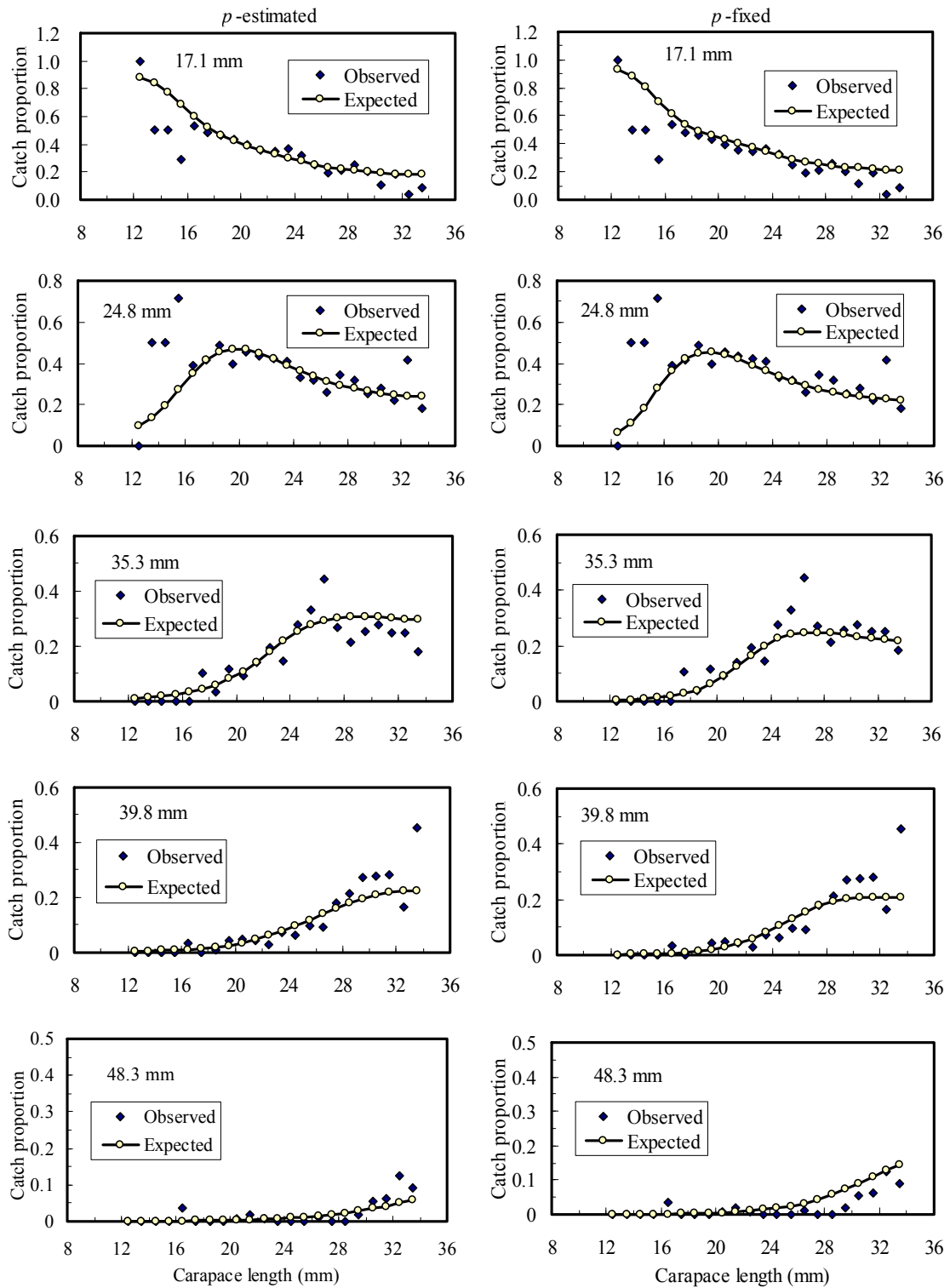


Fig. 3. Plots of the proportion taken in each mesh pot to the total catch of Morotoge shrimp (*Pandalopsis japonica*) and fitted curves for the two models with p -estimated (left) and p -fixed (right). p , split parameter.

Table 3. Estimates of master selection curves and split parameters using the extended SELECT model

Parameter and MLL* ¹	model	
	<i>p</i> -estimated	<i>p</i> -fixed
Logistic parameters of master curve $s(R)=\exp(a+bR)/[1+\exp(a+bR)]$, where $R=l/m$		
<i>a</i>	-10.753	-12.413
<i>b</i>	15.770	18.978
R_{50} (mm)* ²	0.682	0.654
SR (mm)* ³	0.139	0.116
Split parameter <i>p</i> for each mesh size		
17.1 mm	0.169	0.193
24.8 mm	0.223	0.206
35.3 mm	0.281	0.204
39.8 mm	0.229	0.199
48.3 mm	0.098	0.197
MLL	-1789.3	-1806.2
MLL (full model)	-1743.4	
AIC* ⁴	3590.5	3616.3
H_0 : model fit		
model deviance	91.74	125.57
degree of freedom	81	85
<i>P</i> value	0.195	0.003

*1, Maximum log-likelihood

*2, Relative carapace length of 50% retention

*3, Selection range defined as R_{75} (relative carapace length of 75% retention) - R_{25} (relative carapace length of 25% retention)

*4, Akaike's information criterion

각 모델로부터 추정된 파라미터를 사용하여 선택성 곡선 Master curve 및 망목 크기별 선택성 곡선을 나타내었다 (Figs. 4, 5). 일반적으로 망목 크기가 증가함에 따라 동일한 선택 확률을 나타내는 개체의 크기 및 선택 범위는 증가한다 (Harada et al., 2007; Jeong et al., 2000). 조우 확률이 일정하다고 가정한 경우, 물렁가시붉은새우의 50%선택잡장 (l_{50})은 망목 크기가 17, 25, 35, 50 mm로 증가함에 따라 각각 11.1, 16.4, 22.9, 32.7 mm를 나타내었다. 조우 확률을 추정할 경우, 물렁가시붉은새우의 50%선택잡장 (l_{50})은 망목 크기가 17, 25, 35, 50 mm로 증가함에 따라 각각 11.6, 17.0, 23.9, 34.1 mm를 나타내었다. 이들 망목 선택성 결과는 통발의 망목 크기가 증가함에 따라 소형 개체 어획이 감소한다는 것을 나타낸다.

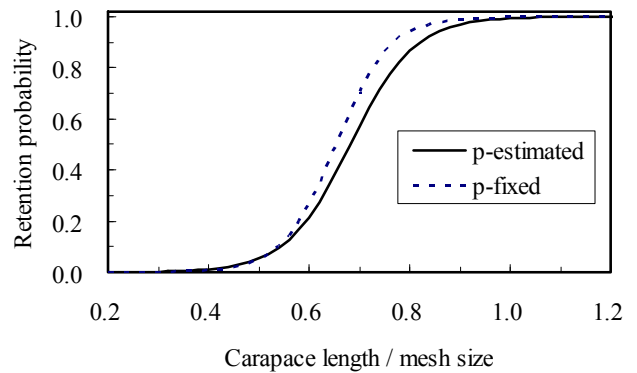


Fig. 4. Estimated master selection curves of the dome-shaped pots for Morotoge shrimp.

통발에 대한 물렁가시붉은새우의 망목 선택성 추정에 사용된 두 이론 모델 (*p*-estimated, *p*-fixed)이 시험 결과를 표현하는 모델로서 타당한지를 검토하기 위하여 일탈도 (deviance) 검증을 수행하였다 (Jeong et al., 2000; Harada et al., 2007; Yamashita et al., 2009; Watanabe, 2005). 즉 시험 조업에서 얻어진 관측치를 완전 모델 (full model)로 가정하고 각각의 이론 모델이 관측치와 일치하는지를 검증하였다. 일탈도 검정에 있어서 확률 *P*가 낮은 경우에는 이론 모델에 적합한 어획 자료가 확보되지 못하였거나 이론 모델이 관측 자료를 표현하는 모델로서 적합하지 못한 것을 의미한다. 본 연구에서 수행된 일탈도 검증의 결과를 보면 조우 확률이 일정하다고 가정한 모델 (*p*-fixed)의 적합도는 낮은 값 ($P<0.05$)을 나타내나, 조우 확률을 추정할 모델 (*p*-estimated)의 적합도는 다소 높은 값 ($P=0.195$)을 나타낸다.

본 연구에서는 두 가지 이론 모델 (*p*-estimated, *p*-fixed)로부터 추정된 망목 선택성 곡선 중에서 보다 적합한 결과를 나타내기 위하여 AIC를 비교하였다 (Akaike, 1974). AIC는 조우 확률을 추정할 모델이 더 작은 값을 나타낸다. AIC가 작은 모델이 보다 적합한 모델로 평가되므로 본 연구에서는 조우 확률을 추정할 모델의 망목 선택성 결과를 채택한다. 따라서 망목 선택성 곡선으로 표현되는 Logistic 함수의 파라미터는 $a=-10.753$, $b=15.770$ 이고 50%상대선택잡장 R_{50} 과 선택 범위 SR 은 각각 0.682 및 0.139이다.

본 연구에서는 그물로 덮인 반구형 통발의 망목 선택성을 추정하였다. 금후, 통발에 대한 물렁가시붉은새우

의 입망 및 탈출 행동 등을 조사하고 이들의 행동 특성을 어구 설계에 반영하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 탈출구 (escape gap 또는 escape vent) 또는 격자 (grid spacing) 등을 부착하여 소형 개체는 탈출시키고 어구와 접촉한 개체의 생존율을 향상시키는 연구도 필요할 것으로 생각된다 (Fogarty and Borden, 1980; Treble et al., 1998; Watanabe and Yamasaki, 2006; Jirapunpipat et al., 2008; Boutson et al., 2009; Kim et al., 2010).

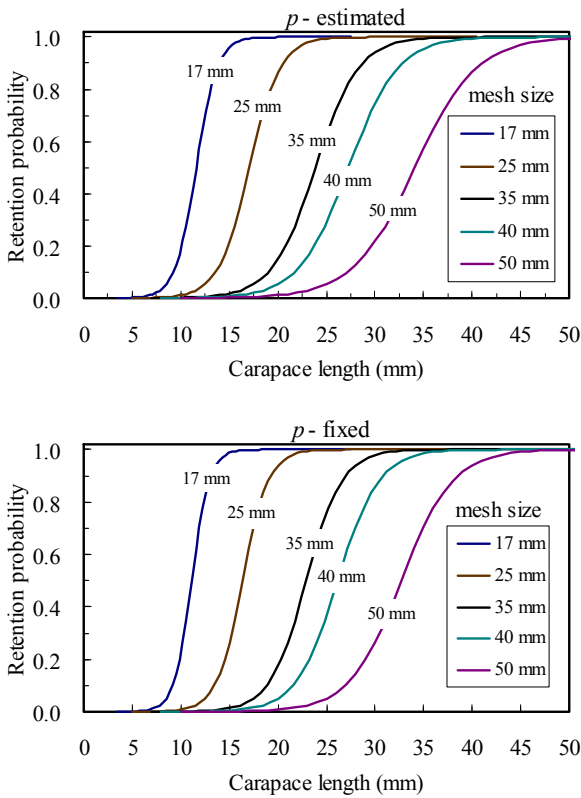


Fig. 5. Selection curves of the pots for Morotoge shrimp using the two models with p -estimated and p -fixed.

결론

우리나라 동해안에 서식하는 물렁가시붉은새우 (*Pandalopsis japonica*)는 연안통발 등에 어획되고 있다. 이들 자원의 합리적 이용을 위해서는 장래 성장하여 자원 증식에 도움이 되는 어린 개체의 혼획을 감소시키고 시장 가치가 높은 큰 개체를 선택적으로 어획하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 동해안에서 사용되고 있는 반구형 통발을 사용하여 시험 조업을 수행하고 망

목 선택성을 추정하였다. 시험은 2003년 7월과 8월 사이에 영일만 주변 수역에서 수행되었고 망목 크기는 5 종류 (17.1, 24.8, 35.3, 39.8, 48.3 mm)를 사용하였다. 시험 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 망목 선택성 곡선은 Logistic 함수로 표현하였으며 트롤 어구 등의 망목 선택성 해석에 사용되는 SELECT 모델을 적용하여 망목 선택성 곡선의 파라미터 (a , b), 조우 확률 (p) 등을 추정하였다. 그리고 일탈도 검증, AIC 비교를 통하여 망목 선택성 곡선으로서 보다 적합한 결과를 채택하였다. 반구형 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 망목 선택성 Master curve는 $s(R)=\exp(15.770R-10.753)/[1+\exp(15.770R-10.753)]$ 으로 추정되었다. 여기서 상대감장 $R(=l/m)$ 은 통발의 망목 크기 (m)에 대한 물렁가시붉은새우의 갑장 (l)의 비를 나타낸다. 시험 결과는 망목 크기가 증가하면 소형의 물렁가시붉은새우 어획이 감소하는 것으로 나타났다. 망목 선택성 Master curve로부터 50% 상대선택갑장은 0.682, 선택범위는 0.139로 추정되었다. 또한, 통발의 망목 크기가 17, 25, 35, 50 mm로 증가함에 따른 50%선택갑장 (l_{50})은 각각 11.6, 17.0, 23.9, 34.1 mm를 나타내었다. 금후, 통발에 대한 물렁가시붉은새우의 행동 등을 조사하고 어구 설계에 반영하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사사

본 논문은 국립수산물학원 수산과학연구소 (R2015043)의 지원에 의해 수행된 연구입니다. 시험 조업 등에 협조하여 주신 어선의 선장님 등에게 깊이 감사드립니다. 또한, 바쁘신 중에도 본 논문에 다양한 조언을 하여 주신 심사위원님께서도 감사의 뜻을 전합니다.

References

Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans Autom Contr AC-19, 716-723.

An HC, Bae JH, Park JM, Hong SE, and Kim SH. 2014. Bycatch and discards of the whelk trap in the Uljin waters, East Sea. J Kor Soc Fish Technol. 50(4), 520-529. (10.3796/KSFT. 2014.50.4.520).

Boutson A, Mahasawasde C, Mahasawasde S, Tunkijjanukij S and Aromoto T. 2009. Use of escape vents to improve size and species selectivity of collapsible pot for blue swimming crab *Portunus pelagicus* in Thailand. Fish Sci 75, 25-33.

Fogarty M and Borden D. 1980. Effects of trap venting on gear

- selectivity in the inshore Rhode Island American lobster, *Homarus Americanus*, fishery. Fish Bull 77(4), 925-933.
- Fujimori Y., 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, Shimizu T. 2007. Size selectivity of escape-holes on conger eel-tube for the inshore hagfish *Eptatretus burgeri* and the white-spotted conger eel *Conger myriaster* in Tokyo Bay. Fish Sci 73, 477-488.
- Hong, S. Y. 2006. Marine invertebrates in Korean coasts. Academy Publishing Company, Inc., Seoul, p. 340. (in Korean with scientific name).
- Jeong EC, Kim SK, Park CD, Shin JK, and Tokai T. 1999. Size-selectivity of hole on tubular-pot for white spotted conger eel *Conger myriaster* in the adjacent sea of Korea. Nippon Suisan Gakkaishi, 65, 260-267. (in Japanese with English abstract).
- Jeong EC, Park CD, Park SW, Lee JH, and Tokai T. 2000. Size selectivity of trap for male red queen crab *Chionoecetes japonicus* with the extended SELECT model. Fish Sci 66, 494-501.
- Jirapunpipat K, Phomikong P, Yokota M and Watanabe S. 2008. The effect of escape vents in collapsible pots on catch and size of the mud crab *Scylla*. Fish Res 94, 73-78.
- Kim DH, Choi JH, Kim JN, Cha HK, Oh TY, Kim DS, and Han CH. 2006. Gonad and androgenic gland development in relation to sexual morphology in *Pandalopsis japonica* Balss, 1914 (Decapoda, Pandalidae). Crustaceana 79, 541-554.
- Kim SH, Lee JH, and Kim HS. 2008. Size selectivity by alter the slope length and angle of coonstripe shrimp (*Pandalus hypsinotus* Brandt) pot using in Hokkaido, Japan. J Kor Soc Fish Technol. 44(4), 273-281. (10.3796/KSFT.2008.44.4.273).
- Kim SH, Lee JH, Kim HS, and Park SW. 2010. Optimal design of escape vent for the dome type coonstripe shrimp (*Pandalus hypsinotus*) pot. J Kor Soc Fish Technol. 46(2), 115-125. (10.3796/KSFT.2010.46.2.115).
- Kim I.-O., Mituhasi T, Jo T.-H., Park C.-D., and Tokai T. 2005. Effect of tooth spacing on the contact selection and available selection of a dredge for the equilateral Venus clam *Gomphina melanaeais*. Fish Sci 71, 713-720.
- Kwon ON, Lim MS, and Park KY. 2014. Effects of three diets on the larval growth of Pandalid shrimp *Pandalopsis japonica*. Kor J Fish Aquat Sci. 47(5), 562-566.
- 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.
- Miyajima T, Yagishita N, Yamasaki A and Tokai T. 2012. Mesh selectivity of Danish seine for Japanese sand fish *Arctoscopus japonicus*. Nippon Suisan Gakkaishi 78, 27-36.
- Miyake S. 1982. Japanese crustacean decapods and stomatopods in color. Vol 1, Hoikusya, Oosaka, 64-65. (in Japanese with scientific name).
- National Fisheries Research & Development Institute. 2008. Fishing Gear of Korea. Hangul Graphics, Busan, 104-130.
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI). 2001. Shrimps of the Korean Waters. Hangul Graphics, Busan, 134-135. (in Korean with scientific name).
- Nishiuchi S. 2003. A study on size-selectivity of hair crab pots. Sci Rep Hokkaido Fish Exp Stn 64, 1-103.
- 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, Park HH and Kim JN. 2011. Size selectivity of a shrimp beam trawl for the Southern rough shrimp *Trachysalambria curvirostris* with the Extended SELECT Method. Kor J Fish Aquat Sci 44(4), 390-396. (doi: 10.5657/KFAS.2011.0390)
- Park CD, Bae JH, Cho SK, Cha BJ and Kim HY. 2013. Size selectivity of the dome-shaped pot for whelk *Buccinum opisthoplectum* in the eastern coastal waters of Korea. J Kor Soc Fish Technol. 49(4), 368-376. (doi: 10.3796/KSFT.2013.49.4.368)
- Park CD, Bae JH, Cho SK, and Kim IO. 2014. Mesh selectivity of a dome-shaped pot for Finely-striate buccinum *Buccinum striatissimum* in the eastern coastal waters of Korea. J Kor Soc Fish Technol. 50(3), 284-291. (10.3796/KSFT.2014.50.3.284).
- Saiura K. and Tokai T. 2003. Mesh selectivity of boat seine fisheries for anchovy larvae on pocket-nets experiment. Nippon Suisan Gakkaishi 69(4), 611-619. (in Japanese with English abstract).
- Saiura K., Mori K. and Tokai T. 2006. Mesh selectivity of boat seine codend for anchovy larvae and juveniles. Nippon Suisan Gakkaishi 72(3), 414-423. (in Japanese with English abstract).
- Tokai T., Ito H, Masaki Y., and Kitahara T. 1990. Mesh selectivity curves of a shrimp beam trawl for southern rough shrimp *Trachypenaeus curvirostris* and mantis shrimp *Oratosquilla oratoria*. Nippon Suisan Gakkaishi 1990, 56(8), 1231-1237.
- Treble RJ, Millar RB and Walker TI. 1998. Size selectivity of lobster pots with escape-gaps : application of SELECT method to the southern rock lobster (*Jasusedwardsii*) fishery in Victoria, Australia. Fish Res 34, 289-305.
- Uchida K, Tokai T, Mitsuhashi T, Fuxiang H, Matuda K. 2000. Size selectivity of net-pot for white-spotted conger eel estimated from paired-gear tests with change in sampling. Nippon Suisan Gakkaishi 66: 228-235.
- Watanabe T. 2005. Simulated ghost fishing experiment on size selectivity of red queen crab traps. Nippon Suisan Gakkaishi 71, 16-23. (in Japanese with English abstract).
- Watanabe T and Yamasaki S. 2006. Size selectivity of the red

queen crab trap estimated with pocket cages. Tech Rept Nat Res Inst Fish Eng 28, 1-11.

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.

Yamashita H, Shiode D and Tokai T. 2009. Longline hook se-

lectivity for red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. Fish Sci 75, 863-874.

2015. 7.31 Received

2015. 8.24 Revised

2015. 8.25 Accepted