

서해안 통발에 대한 별불가사리 (*Asterina pectinifera*)의 망목 선택성

박창두* · 이건호¹

국립수산과학원 시스템공학과, ¹국립수산과학원 서해수산연구소

Mesh selectivity of the drum-shaped pot for starfish *Asterina pectinifera* in the western coastal waters of Korea

Chang-Doo PARK*, Gun-Ho LEE¹

Fisheries system engineering Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

¹Aquaculture Industry Division, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

Starfish, a species of Echinoderm, is widely known as a predator on benthic invertebrate. A series of fishing experiments was carried out in the western coastal waters of Korea from September, 2011 to November, 2012, using the drum-shaped pots of different mesh sizes (17.1, 24.8, 35.3, 39.8, and 48.3 mm) to describe the composition of the catch species and the mesh selectivity of the pot for starfish. Some species including fish, crab, and starfish were caught in the experimental pots. The SELECT (Share Each Length's Catch Total) method was applied to describe the selectivity of the pot for starfish *Asterina pectinifera*. The master selection curve was estimated to be $s(R) = \exp(10.358R - 4.086) / [1 + \exp(10.358R - 4.086)]$, where R is the ratio of arm length to mesh size. The relative arm length of 50% retention was 0.395, and the selection range was 0.212. The results should be helpful to understand the relationship between the catch size of starfish and the mesh size of pot.

Keywords: starfish, *Asterina pectinifera*, pot, selectivity, selection curve, SELECT method

서론

불가사리는 해삼, 성게와 같이 몸의 표면에 가시가 있는 극피동물에 속하며 대부분 5개 또는 그 이상의 팔을 가지고 있다. 또한, 많은 종류의 불가사리는 체외수정을 하고 유생은 플랑크톤 생활을 하는 것으로 알려져 있다 (NFRDA, 1989 ; Son et al., 2008). 우리나라 연안에서 흔히 볼 수 있는 불가사리 종류는 별불가사리 (*Asterina pectinifera*), 아무르불가사리 (*Asterias amurensis*), 일본

불가사리 (*Distolasterias nipon*), 햇님불가사리 (*Solaster paxillatus*), 검은띠불가사리 (*Luidia quinaria*) 등이다 (Son et al., 2008). 이들 불가사리의 식성은 종류에 따라 다소 차이가 있고, 해저에 있는 사체, 유기물 등을 섭식하므로 해저 청소부 역할을 수행하는 것으로 보고 되어 있다. 또한, 외부 자극이나 다른 포식자에 대한 방어 과정에서 몸의 일부가 잘려 나가는 자절(自切) 현상이 발생하기도 한다 (Son et al., 2008).

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

불가사리 중에서 일부 종류는 연안 어장에 서식하는 패류 등을 포식하므로 어업 생산성을 감소시킨다. 어구에 어획된 경우에는 선별작업에 노동력과 시간이 소요된다. 지금까지 불가사리와 관련된 연구를 살펴보면 아무르불가사리의 산란기에 관한 연구 (Ino et al., 1955 ; NFRDA, 1989), 별불가사리의 성숙 등에 관한 연구 (NFRDA, 1989 ; Choi et al., 2006), 불가리를 이용한 이료 제조 연구 (Higashi et al., 1955), 체성분 및 추출물에 관한 연구(NFRDA, 1989 ; Jo et al., 2014 ; Go et al., 2014) 등이 수행되었다. 또한, 연안의 소형 트롤 등에 입망한 불가사리 등의 비유용 생물을 분리 어획하는 연구가 수행되었다 (Tokai et al., 1997 ; Matsushita et al., 1999a ; 1999b).

불가사리에 의한 어업 피해를 감소시키는 방안으로 불가사리 구제 기구를 개발하는 연구도 수행되었다 (NFRDI, 1989 ; Park et al., 1997). 저질이 평탄하고 수심이 얇은 수역에서는 자루걸레형 구제 기구 등을 활용할 수 있다. 수심이 깊고 저질이 울퉁불퉁한 수역에서는 통발을 사용하는 것이 유리하나, 망목 크기의 증감에 따른 구제 가능한 불가사리의 크기가 구명되어 있지 않다. 따라서 통발을 활용한 불가사리의 구제에는 통발의 망목 크기에 따른 불가사리의 어획 크기에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 서해안 태안반도 연안 수역에서 망목 크기가 다른 통발을 사용하여 어획물의 조성 등을 조사하고 어획 비율이 높은 별불가사리의 망목 선택성 곡선을 추정하였다. 본 연구에서 얻어진 결과가 통발의 망목 크기와 별불가사리의 포획 크기를 이해하는 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

재료 및 방법

시험 어구 및 조업 방법

서해안에서는 원통형 통발 (일명 꽃게 통발) 등을 사용하여 꽃게, 쥐노래미, 조피볼락 등을 어획한다 (NFRDI, 2008; An et al., 2014). 본 연구에서는 서해안에서 많이 사용되는 원통형 통발 (직경 60 cm, 높이 25 cm, 중량 3kg)을 사용하여 어획시험을 수행하였다. 시험 조업에 사용한 통발은 철봉 (Ø9 mm)으로 제작된 틀에 망목 크기가 다른 PE 망지 (15~21합사)를 덮어서 제작하였다. 통발에는 측면에 3개의 입구 (망목 크기

20 mm, PE 12합사)가 부착되어 있고 통발 속에는 미끼 주머니가 연결되어 있다.

시험 통발의 망목 크기 (본 연구에서는 내경을 나타낸다)는 6종류 (22, 35.5, 50.1, 64.7, 79.1, 99.6 mm)를 사용하였다. 시험 조업 1회에 사용한 망목 크기별 통발의 개수는 40개였고 전체 사용 통발의 개수는 240개 (4틀)이었다. 어구 1틀(통발 60개)은 망목 크기별 5개의 통발을 2번 반복하여 배치하였다. 통발의 설치 간격은 약 8 m, 아릿줄의 길이는 약 4 m로 하였다. 시험 어구는 상업선이 사용하는 어구와 거의 동일하게 구성하였다 (<http://www.nfrdi.re.kr/portal/bbs?id=mimetic&flag=lis>). 시험 조업은 2011년 9월부터 2012년 11월 사이에 서해안 태안반도 연안 수역에서 수행하였다. 시험 선박은 연안통발 어선 (7.9톤)을 사용하였다. 어장의 수심은 10~32 m이었고 통발의 침지시간은 1~2일로 하였다. 미끼는 고등어를 조각내어 사용하였다.

불가사리의 대표 체장은 팔길이 (腕長, Arm length, l)로 표현되며 체반 중앙부에 위치한 입의 중심에서부터 팔의 끝부분까지의 길이로 나타낸다 (Ino et al., 1995; Choi et al., 2006; Hong, 2006). 시험 통발에 어획된 별불가사리의 팔길이는 디지털 캘리퍼스를 이용하여 0.1 mm 단위로 측정하였다. 별불가사리의 개체 중량은 전자 저울 (CAS, SW-1)을 사용하여 1 g 단위로 측정하였다.

망목 선택성 곡선 추정법

어구의 망목 선택성 추정에는 여러 가지 방법이 있다 (Kitahara, 1968; Millar and Fryer, 1999). 본 연구에서는 SELECT (Share Each Length's Catch Total) 모델을 적용하여 추정하였다 (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, 2014). 통발의 망목 선택성을 표현하는 수식 $s(R_{ij})$ 는 이하의 Logistic 함수로 표현하였다 (Wileman et al., 1996 ; Mituhasi et al., 2000). 또한, 수식의 파라미터는 최우법 (Maximum Likelihood Method)을 사용하여 추정하였다 (Kim et al., 200a, 2005b; Harada et al. 2007).

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

여기서 통발의 망목 크기는 m_i , 별불가사리의 팔길이는 l_j 로 나타내었고 R_{ij} 는 불가사리의 상대팔길이로서 l_j/m_i 로 표현된다. 또한, 수식의 a 와 b 는 망목 선택성 곡선을 표현하는 파라미터이다.

본 연구에서는 어장에 서식하는 별불가사리가 각각의 망목 크기의 통발과 조우할 확률 (p_i)이 일정 (동일)하다고 가정한 모델 (p -fixed model)과 조우할 확률이 다르다고 가정한 모델 (p -estimated model)을 적용하여 망목 선택성 곡선을 추정하였다. 이들 모델 중에서 어느 쪽 모델이 보다 적합한지를 검토하기 위하여 AIC 값 (Akaike's Information Criterion)을 비교하였다 (Akaike, 1974).

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

여기서 MLL은 최대대수우도이고 Q 는 파라미터의 개수이다. 일반적으로 AIC 값이 작은 모델이 보다 적합한 통계 모델로 채택된다.

어구의 망목 선택성을 나타내는 지표로서 수식 (3)에 나타난 50% 상대선택팔길이 R_{50} 과 선택범위 $SR (= R_{75} - R_{25})$ 을 나타내었다 (Wileman et al., 1996; Miyajima et al., 2012 ; Jeong et al., 2000).

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

시험 결과 및 고찰

어획물 조성

시험 기간 동안에 총 13회의 어획 시험이 수행되었고 양망된 망목 크기별 통발의 수는 520개였다. 시험 어구에 어획된 어획물 종류별 개체수는 Table 1에 나타내었다. 어획물 중에서 유용종은 꽃게 (Swimming crab, *Portunus trituberculatus*), 민꽃게 (Portunid crab, *Charybdis Japonica*), 깨다시꽃게 (Sand crab, *Ovalipes punctatus*), 갯가재 (Mantis shrimp, *Oratosquilla oratoria*), 쥐노래미 (Greenling, *Hexagrammos otakii*), 봉장어 (White spotted conger, *Conger myriaster*), 주꾸미 (Webfoot octopus, *Octopus ocellatus*), 낙지 (Long arm octopus, *Octopus minor*), 갈색띠매물고동 (Arthritic neptune, *Neptunea cumingi*) 등이었다. 그리고 불가사리류는 별불가사리 (*Asterina pectinifera*), 아무르불가사리

(*Asterias amurensis*), 검은띠불가사리 (*Luidia quinaria*), 일본불가사리 (*Distolasterias nipon*)가 포획되었다. 통발의 망목 크기가 증가하면 갯가재, 쥐노래미, 봉장어, 주꾸미 등의 어획량은 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

시험 통발에 어획된 전체 어획물의 개체수 중에서 불가사리의 비율은 76%이었고 별불가사리의 비율은 64%를 차지하였다. 별불가사리의 어획 개체수가 어류, 게류, 두족류 등에 비하여 상대적으로 많았던 것은 시험 어장에 분포하는 별불가사리의 밀도가 상대적으로 높았거나 별불가사리가 미끼에 잘 유인되는 것으로 추정된다. 시험 조업에서 얻어진 별불가사리의 팔길이(l)와 체중(w) 사이의 관계를 회귀식으로 나타내었다 (Fig. 1). 별불가사리의 체중은 팔길이의 2.2승에 비례하는 것으로 나타났다.

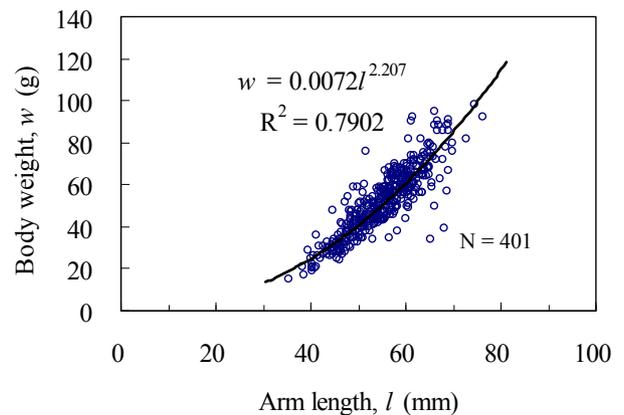


Fig. 1. The body weight of starfish *Asterina pectinifera* in relation to its arm length. N , catch number.

시험 통발의 망목 크기별 별불가사리의 팔길이 조성을 Fig. 2에 나타내었다. 통발 어구에 어획된 별불가사리의 팔길이는 30~82 mm의 범위를 나타내었다. 통발의 망목 크기별 별불가사리의 개체수는 22 mm에서 가장 많았고, 64.7, 35.5, 79.1, 99.6, 50.1 mm의 순으로 나타났다. 망목 크기별 별불가사리의 개체수가 망목 크기의 증감에 따라 일정한 경향을 나타내지 않은 것은 별불가사리가 어장에 균등하게 분포하지 않은 영향으로 생각된다. 시험 어구에 포획된 별불가사리의 팔길이 최빈치 (mode)는 54~62 mm로 나타났다. 시험 통발의 망목 크기가 증가하면 상대적으로 소형 개체의 비율이 다소 감소하는 경향을 보였다.

Table 1. Catch numbers of species caught in the experimental pots

Species	Mesh size (mm)						Total	(%)
	22	35.5	50.1	64.7	79.1	99.6		
Swimming crab <i>Portunus trituberculatus</i>	697	682	610	227	125	33	2,374	(15.1)
Portunid crab <i>Charybdis Japonica</i>	239	202	207	144	83	30	905	(5.8)
Sand crab <i>Ovalipes punctatus</i>	78	67	51	50	22	4	272	(1.7)
Mantis shrimp <i>Oratosquilla oratoria</i>	50	20	-	-	-	-	70	(0.4)
Greenling <i>Hexagrammos otakii</i>	37	4	1	1	-	-	43	(0.3)
White spotted conger <i>Conger myriaster</i>	31	2	-	-	-	-	33	(0.2)
Webfoot octopus <i>Octopus ocellatus</i>	19	3	-	1	-	-	23	(0.1)
Long arm octopus <i>Octopus minor</i>	3	-	-	-	-	-	3	(0.0)
Arthritic neptune <i>Neptunea cumingi</i>	11	14	15	4	6	1	51	(0.3)
Others	6	2	2	-	-	-	11	(0.1)
<i>Asterina pecinifera</i>	1,954	1,704	1,426	1,800	1,684	1,533	10,101	(64.2)
<i>Asterias amurensis</i>	506	440	270	220	189	165	1,790	(11.4)
<i>Luidia quinaria</i>	26	4	6	5	2	2	45	(0.3)
<i>Distolasterias nipon</i>	2	3	2	-	-	3	10	(0.1)
Sum	3,659	3,147	2,590	2,453	2,111	1,771	15,731	(100)

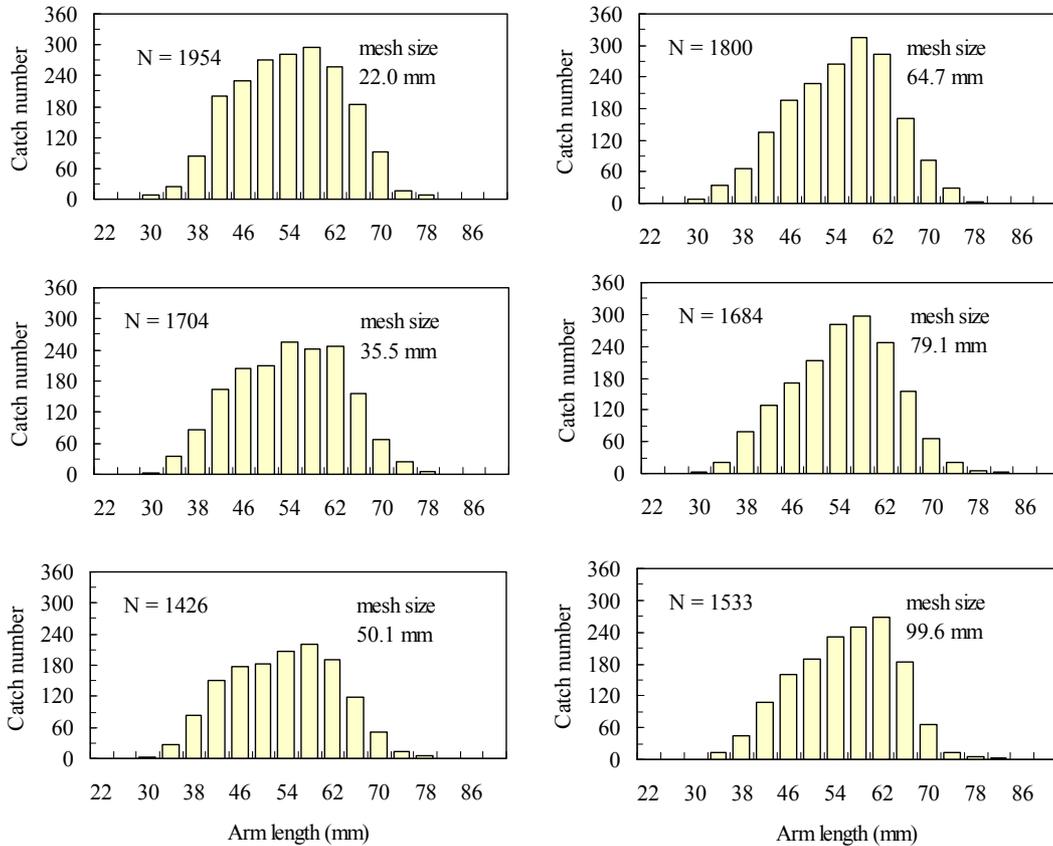


Fig. 2. Total arm length distributions of starfish *Asterina pecinifera* caught in the experimental fishing gears. N, catch number.

망목 선택성 곡선

시험 통발에 어획된 망목 크기별 별불가사리의 팔길이 조성을 사용하여 망목 선택성 곡선 파라미터를 추정하였다. 팔길이별 전체 개체수에 대한 각 망목 크기별 개체수 비율을 산정하여 관측치 (Observed value)로 하고 별불가사리의 조우 확률 (p_i)을 추정된 모델 (p -estimated)과 조우 확률이 일정 (동일)하다고 가정한 모델 (p -fixed)로부터 계산된 추정치 (Expected value)를 나타내었다 (Fig. 3).

망목 크기 22 mm 및 35.5 mm의 경우에는 별불가사리의 팔길이가 작은 범위에서 관측치와 추정치가 다소 일치하지 않는 부분이 보인다. 조우 확률이 일정하다고 가정한 경우 (p -fixed), 망목 크기 50.1 mm에서 추정치와 관측치 사이에 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 조우 확률을 추정된 모델의 추정치는 관측치와 추정치가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

최우법을 사용하여 추정된 Logistic 함수의 파라미터 (a , b), 조우 확률 (p_i) 등을 Table 2에 나타내었다. 또한, 이들 파라미터를 사용하여 계산된 선택성 곡선 Master curve를 Fig. 4에 나타내었다. 조우 확률을 추정된 모델 (p -fixed)과 조우 확률을 일정하다고 가정한 모델 (p -estimated)의 50% 상대선택팔길이 R_{50} 은 각각 0.395 및 0.371을 나타내었다 (Table 2).

각각의 이론 모델로부터 구해진 파라미터 (a , b)를 사용하여 망목 크기별 선택 곡선을 나타내었다 (Fig. 5). 시험 통발의 망목 크기가 22, 35, 50, 65, 80, 100 mm로 증가하면 별불가사리의 50%선택팔길이 (l_{50})는 조우 확률 추정 모델에서는 각각 8.7, 13.8, 19.7, 25.6, 31.6, 39.5 mm로 증가하고 조우 확률 일정 모델에서는 각각 8.2, 13.0, 18.5, 24.1, 29.7, 37.1 mm로 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 통발의 망목 크기가 증가하면 별불가사리의 소형 개체 어획이 감소한다는 것을 의미한다.

통발에 대한 게류나 Lobster의 행동 시험 결과를 보면 포식자 또는 자신보다 큰 개체가 있을 경우, 이를 회피하는 현상을 나타낸다 (Miller and Addison, 1995). 또한, 통발 속에 있는 개체의 밀도가 입망 행동 등에 영향을 미친다 (Miller and Addison, 1995; Fogarty and Borden, 1980). 이와 같은 현상은 대상 생물의 시각 등에 의한 영향으로 생각된다. 따라서 시각이 발달한 개

체가 통발의 망목을 통과하여 쉽게 탈출할 수 있으면 소형 개체의 어획은 감소할 것이다. 별불가사리의 경우에는 시각이 없으므로 미끼의 냄새에 따라 통발 속으로 들어가고, 시간이 지나면 망목 크기와 개체 크기 사이의 상대적인 관계 (Nashimoto et al., 1995)에 의하여 소형 개체는 망목을 통하여 빠져 나가는 것으로 생각된다. 금후, 통발에 대한 별불가사리의 입망 및 탈출 행동에 대한 시험을 통하여 어획 과정을 구명하는 것이 필요하다.

Table 2. Parameter estimates of the SELECT model

Parameter and MLL*1	model	
	p -estimated	p -fixed
Logistic parameters of master curve $s(R)=\exp(a+bR)/[1+\exp(a+bR)]$, where $R=l/m$		
a	-4.086	-5.193
b	10.358	14.002
R_{50} (mm)*2	0.395	0.371
SR (mm)*3	0.212	0.157
Split parameter p for each mesh size		
22.0 mm	0.182	0.167
35.5 mm	0.159	0.167
50.1 mm	0.133	0.167
64.7 mm	0.173	0.167
79.1 mm	0.171	0.167
99.6 mm	0.182	0.167
MLL	-17939.5	-17986.0
AIC*4	35892.9	35976.1

*1, Maximum log-likelihood.

*2, Relative arm length of 50% retention

*3, Selection range defined as $R_{75} - R_{25}$.

*4, Akaike information criterion

본 연구에서는 별불가사리가 각각의 망목 크기의 통발과 조우할 확률을 추정된 모델과 조우 확률이 일정하다고 가정한 모델에 대하여 망목 선택성을 추정하였다. 이들 모델 중에서 어느 쪽이 보다 적합한지를 검토하기 위하여 AIC 값을 비교하였다 (Table 2). 모델의 적합도 비교에서는 AIC 값이 작은 모델이 보다 적합한 것으로 평가된다. 따라서 본 연구에서는 조우 확률을 추정된 모델의 망목 선택성 결과를 채택하였다. 망목 크기별 별불가사리의 조우 확률을 추정된 모델의 결과로부터 Logistic 함수의 파라미터는 $a=-4.086$, $b=10.358$ 이고 50%상대선택팔길이 (R_{50})는 0.395를 나타내었다.

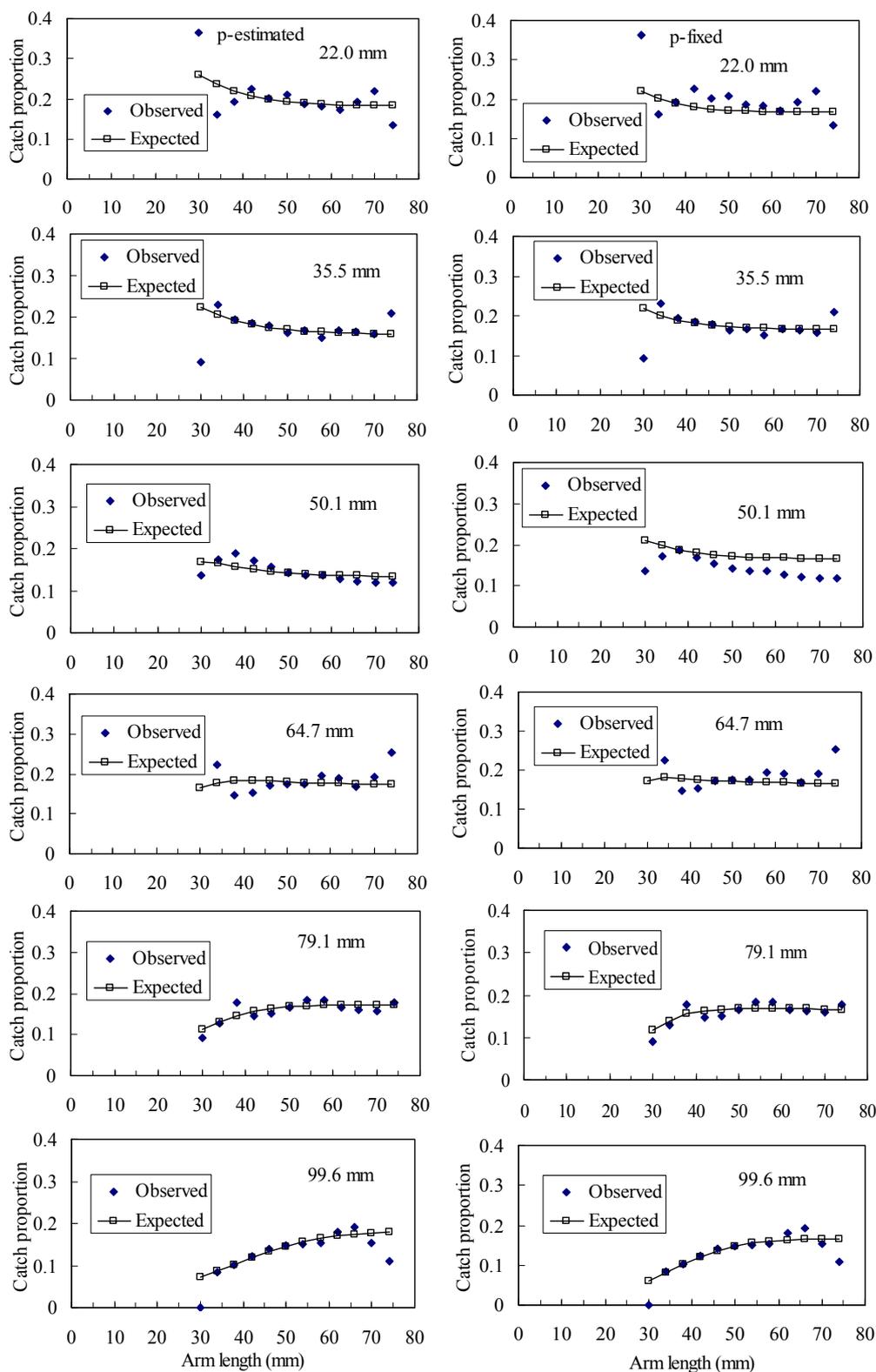


Fig. 3. Proportion of starfish *Asterina pecinifera* caught by each mesh-size pot to the total catch and the estimated curves. p , split parameter.

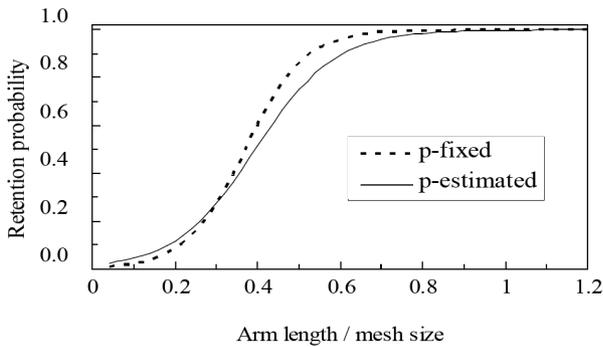


Fig. 4. Estimated master selection curves of the experimental pots for starfish *Asterina pectinifera*.

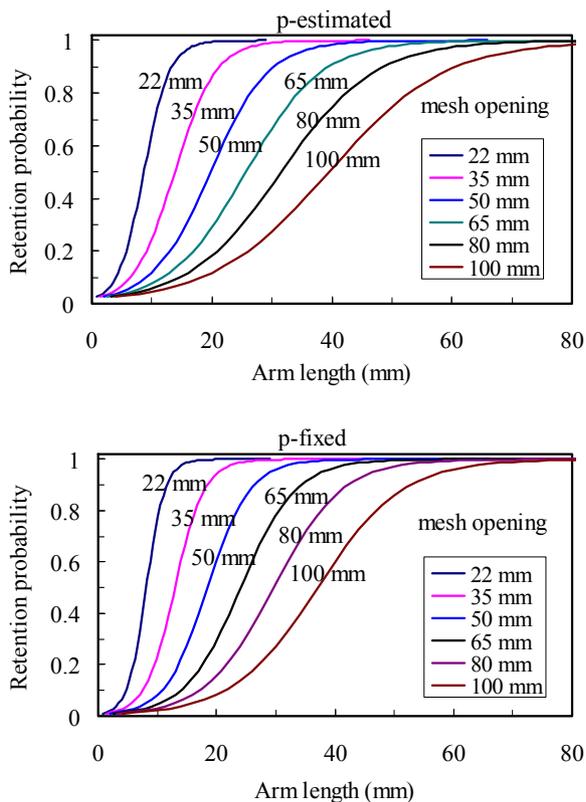


Fig. 5. Selection curves of each mesh-size pot for starfish *Asterina pectinifera* estimated from the master curves of the two models.

본 연구에서 얻어진 망목 선택성 결과가 통발을 사용한 불가사리 구제 등에 활용되기를 기대한다. 망목 크기가 작은 통발은 별불가사리의 포획에는 유리하나, 쥐노래미, 꽃게, 민꽃게, 갯가재 등의 어획 비율이 높아지는 결과를 나타내었으므로 이들 수산 동물의 어획을 고려한 망목 크기의 선정이 필요하다 (Table 1). 금후, 통

발에 대한 불가사리의 행동 특성, 입망 및 탈출 과정 등에 대한 다양한 연구 수행이 필요하다고 생각된다.

결론

불가사리는 해저 포식자이고 청소 동물로 알려져 있다. 또한, 이들 불가사리는 어장에 서식하는 패류 등을 포식하거나 그물에 걸려 선별 작업에 시간과 노동력이 소요되므로 어업에 피해를 주는 동물로 인식되어 있다. 불가사리를 구제하는 방법으로 전용 구제 기구를 활용하거나 어구 등을 활용할 수 있다. 수심이 깊고 저질이 평탄하지 못한 수역에서는 통발을 사용한 구제를 고려할 수 있으나, 통발의 망목 크기와 불가사리의 포획 크기에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 2011년 9월부터 2012년 11월 사이에 서해안 태안반도 연안 수역에서 서해안에서 많이 사용되는 원통형 통발 (직경 60 cm, 높이 25 cm, 중량 약 3 kg)을 사용하여 시험 조업을 수행하고 어획물 조성, 망목 크기에 따른 별불가사리의 망목 선택성 등을 조사하였다. 시험 어구에 어획된 어종은 꽃게 (Swimming crab, *Portunus trituberculatus*), 민꽃게 (Portunid crab, *Charybdis Japonica*), 깨다시꽃게 (Sand crab, *Ovalipes punctatus*), 갯가재 (Mantis shrimp, *Oratosquilla oratoria*), 쥐노래미 (Greenling, *Hexagrammos otakii*), 붕장어 (White spotted conger, *Conger myriaster*), 주꾸미 (Webfoot octopus, *Octopus ocellatus*), 낙지 (Long arm octopus, *Octopus minor*), 갈색띠매물고동 (Arthritic neptune, *Neptunea cumingi*) 등이었다 (Table 1). 그리고 불가사리류는 별불가사리 (*Asterina pectinifera*), 아무르불가사리 (*Asterias amurensis*), 검은띠불가사리 (*Luidia quinaria*), 일본불가사리 (*Distolasterias nipon*)가 포획되었다. 전체 어획물의 개체수 중에서 별불가사리가 64%를 차지하였다.

본 연구에서는 통발에 대한 별불가사리의 망목 선택성 곡선을 Logistic 함수로 표현하고 SELECT 모델을 적용하여 함수의 파라미터 등을 추정하였다. 통발에 대한 별불가사리의 망목 선택성 Master curve는 $s(R) = \exp(10.358R - 4.086) / [1 + \exp(10.358R - 4.086)]$ 로 추정되었다. 수식의 $R (= l/m)$ 은 통발의 망목 크기 (m)에 대한 별불가사리의 팔길이 (l)를 나타낸다. 본 연구에서 얻어진 망목 선택성 결과로부터 통발의 망목 크기가 증

가함에 따라 소형 개체의 별불가사리 어획이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 별불가사리의 50%상대선택팔 길이는 0.395, 선택범위는 0.212로 추정되었다. 통발의 망목 크기가 35, 50, 65, 80 mm로 증가하면 별불가사리의 50%선택팔길이 (l_{50})는 각각 13.8, 19.7, 25.6, 31.6 mm를 나타내었다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과가 통발의 망목 크기와 별불가사리의 포획 크기를 이해하는 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

사 사

본 논문은 국립수산물연구원 수산과학연구소(R2015043)의 지원에 의해 수행된 연구입니다. 시험 조업에 협조하여 주신 연안통발 어선의 선장님 등에게 깊이 감사드립니다. 또한, 본 논문의 내용에 많은 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).
- Choi IY., Lee JS., and Yoo MS. 2006. Sexual maturation and reproduction cycle of the bat star, *Asterina pectinifera* (Echinodermata : Asteroidea). J Kor Fish Soc 39(1), 27-34.
- 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 and Tokai T. 2001. Estimation of gill net selectivity curves by maximum likelihood method. Fish Sci 67, 644-654.
- Go HJ, Jo MJ, Kim GD, and Park NG. 2014. Biological activities of acidic extracts of the starfish *Asterina pectinifera*. J Kor Fish Aquat Sci 47(2), 122-128.
- 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.
- Higashi H., Murayama S., Yanase M., Tabei K. 1955. Studies on utilization of worthless marine animals for feed - I (Production of starfish solubles for feed). Bull Japan Soc Sci Fish 21(4), 271-279.
- Hong, S. Y. 2006. Marine invertebrates in Korean coasts. Academy Publishing Company, Inc., Seoul, pp 412-429. (in Korean with scientific name).
- Ino T., Sagara J., Hamada S., Tamakawa M. 1955. On the spawning season of the starfish, *Asterias amurensis*, in Tokyo bay. Bull Japan Soc Sci Fish 21(1), 32-36.
- 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.
- Jo MJ, Go HJ, Kim GD, and Park NG. 2014. Isolation and purification of Neuropeptides from the tube feet of the starfish *Asterias amurensis*. J Kor Fish Aquat Sci 47(2), 129-134.
- Kim IO, Mituhasi T, Jo TH, Park CD and Tokai T. 2005a. Effect of tooth spacing on the contact selection and available selection of a dredge for the equilateral Venus clam *Gomphina melanaegis*. Fish Sci 71, 713-720.
- Kim IO, Jo TH, Park CD and Tokai T. 2005b. Mesh selectivity of dredge bag net for a clam, equilateral Venus clam *Gomphina melanaegis*. 2005. Nippon Suisan Gakkaishi 71, 54-59.
- 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, 759-763.
- Matsushita Y., Nojima Y., Inoue Y. 1999a. Development of species separation devices for coastal trawl. Nippon Suisan Gakkaishi 65(1), 11-18.
- Matsushita Y., Inoue Y., Shida M., Nojima M. 1999b. Development of two-level codend trawl with bycatch exclusion window in a coastal trawl fishery. Nippon Suisan Gakkaishi 65(4), 673-679.
- Miller R. J. and Addison J. T. 1995. Trapping interactions of crabs and American lobster in laboratory tanks. Can J Fish Aquat Sci 52, 315-324.
- 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.
- Mituhasi T, Tokai T, Ercoli R, Garcia JC, Salvini L, Bartozzetti J and Roth R. 2000. Estimating codend selectivity and fish escapement from a cover net of an insufficiently small mesh size. Fish Sci 66, 327-333.
- 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.
- Nashimoto K, Suzuki K, Takagi T, Motomatsu K and Hiraishi T. 1995. Selectivity of traps for whelks *Neptunea arthritica*. Nippon Suisan Gakkaishi 61, 525-530.
- National Fisheries Research & Development Agency (NFRDA). 1989. Studies on the ecology, extermination and utilization

- of starfishes. Technical paper No. 77, 1-74.
National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2008. Fishing Gear of Korea. Hangul Graphics, Busan, 110-125.
- 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).
- Park SW, Kim TH, and Oh HK. 1997. A study on the development of the extermination gear for starfish, *Asterias amurensis* and its efficiency. *Bull Kor Soc Fish Technol* 33(3), 166-172.
- Son M.H, I.S. Seo, M.H. Kim, and D.I. Kim. 2008. Korean seastars. Bokook Press, Busan, 1-106.
- Tokai T., Omoto S., Fujimori Y., Kanehiro H., Matuda K. 1997. Species separation efficiency of small beam trawl for Mantis shrimp in Tokyo bay. *Nippon Suisan Gakkaishi* 63(3), 715-721.
- 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 selectivity for red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. *Fish Sci* 75, 863-874.
-
2015. 7.31 Received
2015. 8.25 Revised
2015. 8.25 Accepted