원통형 통발에 대한 서해안 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)의 망목선택성

신종근 · 박해훈*†

서해수산연구소, *국립수산과학원

Size selectivity of round traps for greenling (*Hexagrammos otakii*) in the western sea of Korea

Jong Keun SHIN and Hae-Hoon PARK*†

West Sea Fisheries Research Institute, *National Fisheries Research & Development Institute

Abstract

This study investigated the size selectivity of the round traps for greenling (*Hexagrammos otakii*) in the western sea of Korea. The selection curve for the greenling from the experiments on Oct. 2000 and Apr. 2001 was fitted by Kitahara's method to a polynomial equation and two parameter logistic selection curve. The selection curve of the latter was more reasonable than that of the former. The equation of selectivity curve obtained using a logistic function with least square method was $s(R) = \frac{1}{1+\exp(-1.1168R+6.4565)}$, where R=l/m, and l and m are total length and mesh size, respectively. The size selectivity curve showed that the current regulated mesh size (35mm) in case of the round trap was close to the L50 (37.0mm) of the selection curve for the biological minimum length (21.4cm) of the greenling.

Key words : selectivity(선택성), round trap(원통형 통발), Kitahara(北源), logistic(로지스틱), greenling(쥐노래미)

서 론

근래 어업자원의 남획으로 자원감소는 심각한 상태에 직면하고 있어, 자원을 보호하면서 지속 가능한 어업을 유지하기 위해 여러 가지 방안이 강구되고 있다. 이의 한 방법으로 어린 고기는 탈출시키고 큰 고기를 어획하는 어구선택성으로 망목크기를 규제하는 것은 어업규제의 한 방법으로 질적(기술적) 규제에 속하는데, 보다 효과적으로 지속 가능한 어업을 달성하기 위해서는 양적인 규제가 동반되어야 할 것이며, 어획량 예측이나 사망률 등도 자원관리를 위해서 파악할 필요가 있다(장, 1991; Park, 1998).

이 중에서 어구의 어획선택성에 대해서는 국내외에서 많은 연구가 행해지고 있다. 예를 들면, 트롤 어구에서 끝자루의 그물코 크기를 조정하거나 사각망목 사용 및 grid를 설치한 연구 (Millar and Walsh, 1992; 정 등, 1993; Wileman et al., 1996; Tokai, 1996, 1997), 자망, 통발에서 망목크기의 조정이나 개체 크기 사이의 선택성에 대한 연구 (Kitahara, 1968; 小池 · 小倉, 1977; Losanes et al., 1992; Fujimori et al., 1996; Treble et al., 1998; Frusher and Hoenig, 2001; 조 등, 2001; 김·이, 2002), 그리고, 형망에서 갈퀴(써레) 간격의 조정에

†Corresponding author : hhpark@nfrdi.re.kr

관한 연구 (梨本, 1984; 趙·金, 1999; 박·김, 2000) 등이 대표적이다.

어획선택성을 구하는데 쓰이는 기법은 주로 트롤에서 cover net 방식 등에서의 로지스틱 곡선을 이용한 SELECT 방법 (Millar and Walsh, 1992), 삼중자망의 경우 石田의 방법에 마스터 곡선을 도입한 Kitahara 방식 (Kitahara, 1968; Fujimori, 1996; 조 등, 2000; 김·이, 2002)이 많이 쓰이고 있고, 통발의 경우에는 石田의 방법을 이용하거나 (小池·小倉, 1977) SELECT 방법 (Treble *et al.*, 1998)이 쓰인 예가 있는데 비해, 통발에서 Kitahara(1968)의 방법을 이용하여 선택성 곡선을 구한 예는 잘 보이지 않는다. 형망 어구의 경우는 梨本에 의한 방법이 쓰인 예가 있다 (박·김, 2000).

어류나 패류를 어획하는데 여러 가지의 통발을 사용하고 있다 (Slack-Smith, 1992). 서해안의 연안성 어종인 쥐노래미는 백령, 대청 근해에서 주요 어종의 하나로 주로 원통형 통발에 의해 어획되고 있다. 이 지역의 어민들은 자체 규정을 마련하여 소형어를 다시 방류하거나 산란기에는 금어기를 설정하는 등 자체 규정을 마련하여 조업을 규제하고 있어 비교적 관리를 잘하고 있는 편이었다.

본 연구는 서해안의 통발에 의한 쥐노래미 어업이 지속적으로 유지되기 위해서, 소형어를 보호하는 효율적인 어구 사용과 현재 정해져 있는 망목크기가 적정한가를 파악하기 위하여 망목선택성 실험을 하였다. 쥐노래미 통발에 대한 망목선택성을 Kitahara의 방법에서 객관성이 있도록 선택성 곡선을 다항식이나 로지스틱 곡선식을 적용하여 구하고, 쥐노래미의 최소성숙체장에 대한 적정 망목 크기를 구하고자 하였다.

자료 및 방법

1. 실험방법

우리나라 서해안의 대청·백령 인근해역에서 연안성 어족인 쥐노래미를 대상으로 원통형 통발어구를 이용하여 망목선택성 실험을 실시하였다. 실험한 시기는 2000년 10, 11월, 2001년 4월, 5월에 총 4차례에 걸쳐 어선을 이용하여 어획 실험하였고, 조업한 해역은 Fig. 1에 나타낸 바와 같다.

Fig. 2는 쥐노래미 통발의 어구구조를 나타내고 있다. 사용한 원통형 통발어구의 직경은 60*cm*, 높이는 25*cm*였고, 그물코 크기(내경)는 4종류로 32.5*mm*, 52.7*mm*, 64.5*mm*, 82.9*mm* 였다. 사용한 통발의 형태와 구조는 현지 어민들이 사용하고 있는 통발과 유사하나 사용하지 않을 때는 접어서 보관할 수 있는 구조로 하였으며, 사용한 통발수는 1회 2틀(총 100개)이었다. 조업시 이들 통발을 그물코 크기 순으로 순차적으로 되풀이하여 배열시켜서 작업하였다. 사용한 조업선은 쥐노래미 자원조사 당시 대청도 어민회에서 선정한 시험어선 중에서 조사시의 여건에 따라 제공된 선박을 사용하였다.

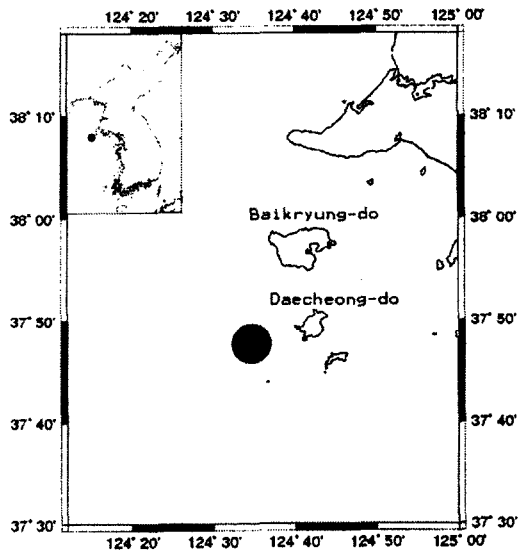

Fig. 1. Map showing the area of fishing experiments.

투승은 선수에서 미끼를 넣은 통발을 순서대로 정리하여 놓고 미속 전진하면서 우현측에서 투망하였다. 양망은 현지 어업인들의 조업방법과 동일하게 오전에 투승한 경우는 오후에, 오후에 투승한 경우에는 다음날 오전에 양승하였다. 어획물은 거의 대부분 쥐노래미였으며 어획된 쥐노래미는 망목크기별로 분리한 후, 전장은 어체측정판을 이용하여, 몸둘레(체주)는 면사를 이용하여 0.1*cm* 단위로, 중량은 접시저울을 이용하여 1*g* 단위로 전수 측정하였다. 분석에 사용한 자료는 4차례의 어획시험 중 어획량이 상대적으로 많았던 2000년 10월과 2001년 4월의 자료만 사용하였다.

2. 망목선택성 곡선과 적정 망목의 추정

망목선택성 곡선을 추정하는데 있어서, Baranov는

일정한 크기의 어체가 어떤 망목에 대해 어획될 확률은, 망목 크기가 k배 커지고 어체의 체장도 k배 커진 경우 어획확률은 동일하다고 가정을 하였다. 石田은 이러한 기하학적인 상사를 적용하여 몇 종류의 망목으로 어획시험하여 삼중자망에 대해 선택성 곡선을 구하였고, 여기에 Kitahara (1968)는 망목크기에 대한 어체길이비를 변수로 하여 마스터 곡선을 도입하였는데 주관적인 면이 들어 있어, Fujimori 등 (1996)이 객관성이 있도록 삼중자망 어구에서 선택성 곡선으로 다항식을 적용시켰다. 통발의 경우에도 이러한 다항식을 적용하여 검토하고, 또한 logistic 함수를 적용시켜 구한 선택성 곡선을 비교하고, 이것으로부터 자원보호와 관련된 쥐노래미의 최소성숙체장의 어체가 50% 어획될 망목크기를 구하였다. 이들의 방법을 간략히 요약하면 다음과 같다.

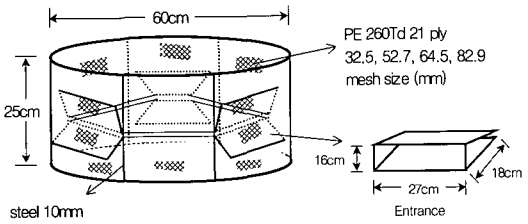

Fig. 2. Construction of round trap for greenling.

망목크기만 다른 동일한 몇 가지 어구로 어획효율을 구할 때 Baranov는 어체의 크기와 망목크기 사이의 기하학적인 상사를 이용하여 다음과 같이 동일한 상대 어획효율 S로 어획될 수 있다고 식 (1)과 같이 가정하였다. 즉,

$$S(m, l)=S(km, kl) \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, k는 비례상수이다. 망목 크기 m에 대해 체장 l의 고기가 어획될 확률은 망목크기가 km인 어구에 어체 크기가 kl인 고기가 어획될 효율은 같다는 것을 뜻한다. 여기에서 Kitahara는 체장 l을 망목크기 m으로 표준화시켜 망목에 대한 상대체장 l/m을 변수로 하는 선택률 $S(l/m)$를 사용하여 식(1)을 다음과 같이 나타내었다.

$$S(m, l)=s(l/m)$$
$$S(km, kl)=s(kl/km)=s(l/m) \quad \cdots\cdots (2)$$

망목크기가 m_1인 그물에 체장 l_m인 고기가 어획되는 마리수 C_{1m}는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{1m}= s(l_m/m_1) \cdot q_1 \cdot X_1 \cdot d_m \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서, q_1는 체장과는 무관한 것으로 어구구조상의 차이나 침지시간 등의 조업조건의 영향을 나타내는 망목크기 m_1인 어구의 어획효율이고, X_1는 어구의 노력량으로 망목 m_1의 반복수이며, d_m는 체장계급 j의 자원밀도이다. 따라서, 단위노력당 어획마리수 c_{1m}는 다음과 같이 된다.

$$c_{1m}= C_{1m}/X_1 = s(l_m/m_1) \cdot q_1 \cdot d_m \quad \cdots\cdots (4)$$

위 식의 양변에 대수를 취하면 식(5)가 성립한다.

$$\ln s(l_m/m_1) = \ln c_{1m} - \ln (q_1 \cdot d_m) \quad \cdots\cdots (5)$$

식(5)의 두 번째항은 어획효율이나 자원밀도와 관련된 보정치이다. Kitahara의 마스터 곡선에 객관성을 주기 위하여 Fujimori 등 (1996)은 삼중자망의 경우에 적용한 함수로서 식(6)과 같은 다항식을 적용하였다.

$$\ln s(R) = a_q R^q + a_{q04} R^{q04} + a_{q05} R^{q05} + \cdots + a_3 \quad \cdots\cdots (6)$$

단, $R=l_m/m_1$ 이다. 상대효율의 최대치를 1로 두면 구하고자 하는 선택성 곡선을 나타내는 함수 s(R)은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(R) = \exp\{(a_q R^q + a_{q04} R^{q04} + a_{q05} R^{q05} + \cdots + a_3) - F_{pdf}\} \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서, F_{pdf}는 식(6)에서의 최대값인데, 식(6)을 미분하여 구할 수 있다 (김 · 이, 2002).

한편, 통발로 어획한 경우에 石田의 방법을 이용해 주관적인 보정으로 망목선택성을 구한 예가 있으나 (小池·小倉, 1977), Kitahara 방법의 마스터 곡선에 함수형을 적용하여 망목선택성을 구한 예는 별로 없는 것 같다. 따라서, 마스터 곡선에 적용할 함수로서 쥐노래미 통발의 경우에 삼중자망에서와 같은 다항식을 적용하여 검토하고, 또한, 로지스틱(logistic) 함수를 통발의 망목선택성 곡선에 적용하여 비교해 보고자 한다. 로지스틱 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$s(R) = 1 / [1 + \exp(aR+b)] \quad \cdots\cdots (8)$$

단, a, b는 로지스틱 함수의 변수로 비선형 최소제곱법으로 구할 수 있고, 50% 선택체장 R_{83}과 75%와 25% 사이인 선택범위 SR과는 식(9)와 같은 관계가 있다.

$$R_{83} = -b/a$$
$$SR = -2 \text{ Ln } (3) / a \quad \cdots\cdots (9)$$

그리고, 자원보호와 관련되는 최소성숙체장의 50%가 어획되는 체장에 대해 적정한 망목크기를 구하였다.

결과 및 고찰

1. 어획시험 결과

2000년 10, 11월과 2001년 4월, 5월의 4차례의 어획시험에서 거의 대부분 쥐노래미가 어획되었다. 이 중에서 2000년 11월과 2001년 5월의 어획마리수는 상당히 적었기에 분석에서는 제외시키고, 2000년 10월과 2001년 4월에 어획된 쥐노래미의 자료만을 사용하여 어획 시험결과에 대해 분석하고 망목선택성 곡선을 구하였다.

Fig. 3은 망목크기별로 어획된 쥐노래미의 체장분포를 보여주며, Table 1은 4종류의 그물코에 대해 봄과 가을에 어획된 쥐노래미의 두 집단 사이에 체장에 차이가 있는지 어떤지를 파악하고자 망목크기별 어획된 마리수와 평균 어체크기 및 평균크기의 계절별 차이에 대해 t-test로 검정한 것이다. Fig. 3과 Table 1을 보면 32.5*mm*를 제외한 52.7, 64.5, 82.9*mm* 망목에서 가을에 어획된 어체의 크기가 외관상으로 다소 크게 보였고, 망목의 크기가 커짐에 따라 어획마리수가 적은 것을 보여주었다. 그러나, 각각의 망목에서 어획된 평균 체장의 차이에 대해 양측 t 검정한 결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 차이가 없었다. 따라서, 이후의 분석에서는 두 자료를 통합하여 분석을 하였다. 4종류의 그물코 크기 중 가장 큰 그물코인 80*mm*로 어획한 쥐노래미의 양은 매우 적었기에 망목선택성 분석에는 나머지 3종류의 망목크기에 대해 분석하였다. 쥐노래미 통발의 어획선택성 곡선을 구하기 위하여 사용한 체장계급별 분포가 Table 2에 나타나 있다.

선택성 곡선은 Table 2의 자료를 써서 앞에서 설명한 Kitahara의 방법으로 최소제곱법을 이용하여 삼중자망에서 많이 쓰고 있는 다항식 (6)을 적용하여 구한 결과, 식(10)과 같이 추정되었다.

$$s(R) = \exp[(0.0170\ R^3 - 0.4774\ R^2 + 4.4318R - 9.2075) - 4.429] \quad \cdots\cdots (10)$$

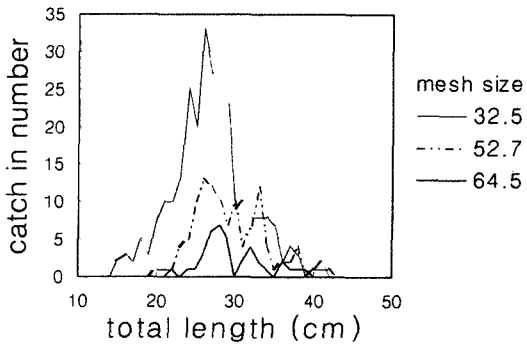

Fig. 3. Size frequency distribution using total length of greenling caught by round traps.

여기서, 선택성 곡선은 대칭이 아니기에 일반적으로 쓰이는 3차식을 적용하였다. 이 망목선택성의 마스터 곡선을 나타낸 것이 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에서 3차식 선택성 곡선의 오른쪽 부분인 상대체장이 큰 영역에서 위로 급격히 증가하는데, 이것은 기존의 삼중자망에서 구한 곡선들과는 다른 현상이고 (Fujimori et al., 1996; 조 등, 2000; 김 · 이, 2002), 石田방법으로 구한 통발의 망목선택성 곡선과도 다른 경향이다 (小池小倉, 1977). 이것은 Table 2을 참조하면 어획마리수는 적으나, 어체가 큰 체장계급에서 조정치가 지나치게 크게 영향을 미쳤기 때문이다. 따라서, 쥐노래미 통발의 경우 Kitahara의 마스터 곡선에 3차식을 적용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 보이며, 동일한 자료에 선택성 곡선으로 로지스틱 곡선을 적용한 것이 Fig. 5에 나타나 있는데 다항식보다 적절한 것으로 판단되며, 그 곡선식은 식(11)과 같다.

$$s(R) = \frac{1}{1 + \exp(-1.1168R + 6.4565)} \quad \cdots\cdots (11)$$

쥐노래미의 최소성숙체장은 21.4*cm*로 알려져 있다

Table. 1 The number of greenling caught by round traps of several mesh size and t-test for differences between the two means of total length in different seasons.

	mesh size (*mm*)							
	32.5		52.7		64.5		82.9	
date of experiment	2000. Oct.	2001. Apl.	2000. Oct.	2001. Apl.	2000. Oct.	2001. Apl.	2000. Oct.	2001. Apl.
catch in number	152	119	73	40	22	16	4	3
average total length	26.17	26.69	29.31	27.85	30.00	28.12	38.18	34.60
P (t-test)	0.378		0.093		0.153		0.279	

Table. 2 Length frequency distribution of greenling from round traps

Length class (*cm*)	Mesh size		
	32.5*mm*	52.7*mm*	64.5*mm*
13-15	2	0	0
15-17	5	0	0
17-19	8	0	0
19-21	18	2	0
21-23	23	5	1
23-25	45	15	2
25-27	60	25	9
27-29	48	17	12
29-31	19	14	2
31-33	16	19	6
33-35	15	5	1
35-37	6	4	3
37-39	3	4	2
39-41	3	2	0
41-43	0	1	0
total	271	113	38

(최 등, 1997). 식(11)에 의하면 최소성숙체장에 대해 50% 어획될 확률(L_{50})이 되는 망목크기는 37.0*mm*이었다. 그리고, 75% 어획될 L_{75} 때의 망목크기는 31.7*mm*, L_{25} 때의 망목크기는 44.4mm이었고, 선택범위(SR)는 12.7*mm*이었다. 현재 통발의 망목크기 제한은 35*mm*로 규정되어 있는데, 쥐노래미의 경우에 망목이 다소 작으나 큰 차이는 없는 것 같다.

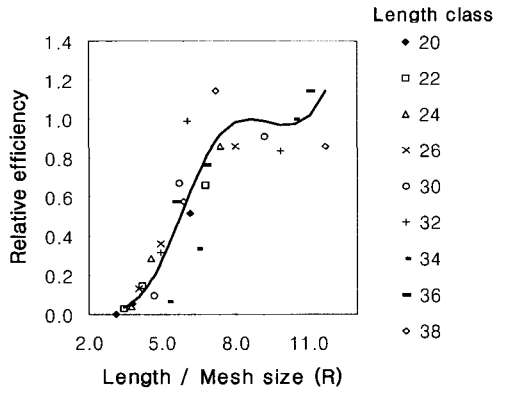

Fig. 4. Master curve of mesh selectivity of the round trap for greenling in the western sea of Korea.

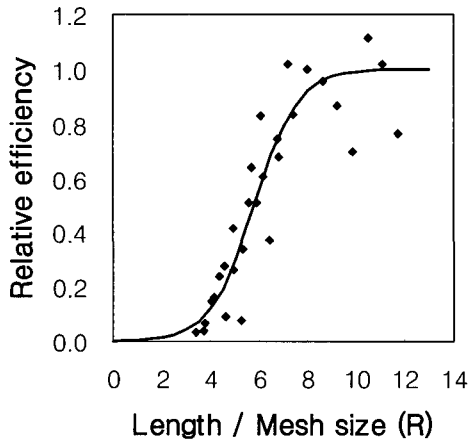

Fig. 5. Selectivity curves (straight line) and data points of round traps for greenling.

여기선 구한 선택성 곡선이 knife edge 형과 같이 날카롭지는 않으나, knife edge 형이 좋다고만 할 수는 없다. 왜냐면 성숙어가 많이 잡혀서 산란기 때 미성숙어가 대량으로 남아 있으면 자원학적으로도 좋다고 할 수 없다. 그리고, 근래 자원감소에 따라 지속가능한 어업을 위해 자원관리형 어업을 시행함에 있어서는 자원량 파악과 어획량 예측이 필요하며, 어업규제는 일반적으로 질적(기술적)인 규제와 양적이 규제로 나눌 수 있는데, 어구의 어획선택성 같은 질적인 규제에 이외에, 충분한 효과를 거두기 위해서는 총 허용어획량 같은 양적인 규제가 반드시 병행되어야 할 것이다 (Park, 1998).

요 약

서해안의 연안성 어종인 쥐노래미는 백령, 대청 근해에서 주요 어종의 하나로 주로 통발에 의해 어획되고 있다. 쥐노래미 어업이 지속적으로 유지되기 위해서, 소형어를 보호하는 효율적인 어구 사용과 현재 정해져 있는 망목크기가 적정한가를 파악하기 위하여 망목선택성 실험을 하였다. 쥐노래미 통발에 대한 망목선택성을 Kitahara의 방법에서 객관성이 있도록 선택성 곡선을 다항식이나 로지스틱 곡선식을 이용하여 구하고, 쥐노래미의 최소성숙체장에 대한 적정망목크기를 구하였다.

통발의 경우, 선택성 곡선(마스터 곡선)을 구할 때 적용한 다항식은 삼중자망에서와는 달리 어체가 큰 부분에서 보정치가 지나치게 작용하여 선택성 곡선을 신뢰할 수 없었고, 로지스틱 곡선이 보다 합리적이었으며, 그 식은 다음과 같았다.

$$s(R) = \frac{1}{1+\exp(-1.1168R+6.4565)}.$$

쥐노래미의 최소성숙체장은 21.4*cm*로 알려져 있으며, 이 최소성숙체장에 대해 50% 어획될 확률(L_{50})이 되는 망목크기는 37.0*mm*이었다. 현재 통발의 망목크기 제한은 35*mm*로 규정되어 있는데 쥐노래미의 경우에 다소 작으나 큰 차이는 없는 것 같다.

감사의 글

현장 실험 당시 바다에서 어로작업으로 도와주신 대청도 어민들과 조사할 기회를 주신 관련 공무원들 및 논문을 다듬어주신 익명의 심사위원님들께 깊은 감사드립니다.

참 고 문 헌

Frusher, S.D. and Hoenig, J.M. (2001) : Impact of lobster size on selectivity of traps for southern rock lobster (Jasus edwardsii). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58, 2482~2489.

Fujimori, Y., Tokai, T., Hiyama S., and Matuda, K. (1996) : Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (Penaeus japonicus). Fisheries Research 26, 113~124.

Jeong, E.C., Park, C.D., Park, S.W., Lee J.H. and Tokai, T. (2000) : Size selectivity of trap for male red queen crab Chionoecetes japonicus with the extended SELECT model. Fisheries Science 66, 494-501.

Kitahara, T. (1968) : On sweeping trammel net (Kogisasiami) fishery along coast of the San'in district - III. Mesh selectivity curve of sweeping trammel net for Branquillos. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 34, 759-763.

Losanes, L.P., Matuda, K. and Fujimori, Y. (1992) : Estimating the entangling effect of trammel and semi-trammel net selectivity on rainbow trout. Fisheries Research 15, 229-242.

Millar, R.B. and Walsh, S.J. (1992) : Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. Fisheries Research 13, 205-220.

Park, H.H. (1998) : Analysis and prediction of walleye pollock (Theragra chalcogramma) landings in Korea by time series analysis. Fisheries Research 38(1), 1-7.

Slack-Smith, R.J. (1992) : Fishing with traps and pots. FAO training series 26, Rome.

Tokai, T., Omoto, S., Sato, R. and Matuda, K. (1996) : A method of determining selectivity curve of separator grid. Fisheries Research 27, 51-60.

Tokai, T. (1997) : Maximum likelihood parameter estimates of a mesh selectivity logistic model through SOLVER on MS-Excel. Bull. Jpn. Fish. Oceanogra. 61, 288-298.

Treble, R.J., Millar, R.B. and Walker, T.I. (1998) : Size-selectivity of lobster pots with escape-gaps: Application of the SELECT method to the southern rock lobster (Jasus edwardsii) fishery in Victoria, Australia. Fisheries Research 34, 289-305.

Wileman, D.A., Ferro, R.S.T., Fonteyne, R. and Millar, R.B. (1996) : Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Cooperative Research Report, No. 215, pp. 126.

김성훈 · 이주희(2002) : 가자미 삼중자망의 망목선택성. 한국어업기술학회지 38, 91-100.

박해훈 · 김승환(2000) : 민들조개 (Gomphina melanaegis) 형망의 갈퀴에 의한 어획선택성. 한국어업기술학회지 36(4), 267-273.

小池 篤·小倉 通南(1977) : エび籠,カに籠における網目, 入口の選擇作用について. 東水大研報 64, 1-11.

梨本勝昭·宮 晴彦·平石智德(1983) : ウバガイ網のつめによる漁獲選擇性について. 日水誌 49(3), 379-385.

장창익(1991) : 수산자원생태학. 우성문화사, pp. 399.

정순범 · 이주희 · 김삼곤(1993) : 측편형 어류에 대한 트롤끝자루의 망목선택성. 어업기술 29(4), 254-259.

조봉곤 · 박창두 · 이주희(2000). 서대 3중자망의 망목선택성에 관한 연구. 한국어업기술학회지 36, 89-95.

조봉곤 · 김영곤(1999) : 피조개 형망의 어획선택성에 관한 연구. 한국어업기술학회지 35, 366-376.

최수하 · 정달상 · 박종화 · 박차수(1997) : 동해산 쥐노래미의 성숙과 산란. 국립수산진흥원 연구보고 53, 17-22.

2003년 5월 30일 접수
2003년 7월 04일 수리