

자망 선택성에서 Kitahara에 의한 다항식을 사용한 경우의 최소제곱법과 최우법의 차이

박해훈*·Russell B. MILLAR¹·배봉성²·안희춘²·황선재³

국립수산과학원 시스템공학과 ¹오클랜드대학교 ²동해수산연구소 해역산업과

³국립수산과학원 자원연구과

서론

자망어업은 우리나라 연근해 주요 업종의 하나이다. 근래 수산자원의 감소로 자원 회복을 위해 어획량이나 어체 크기, 어구 크기, 어구사용량 등 여러 가지 방법으로 자원을 보호하는 수단을 취하고 있다. 관리형 어구 측면에서 자망어구의 경우 그물코의 크기에 따라 어획되는 물고기의 크기가 차이나는 사실에 근거하여 자망어구의 망목선택성에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

자망어구의 망목선택성 곡선을 추정하는 데는 Baranov가 가정한 기하학적인 상사를 이용하여 Ishida와 Kitahara 등이 구한 바가 있는데, Kitahara는 Ishida 방법과는 달리 망목 크기에 대한 어체 크기의 비를 이용한 상대적인 변수를 써서 Master 곡선으로 선택성 곡선을 구하였다. 그러나 이 방법에서도 선택성 곡선을 구하는데 주관적인 요소가 들어가므로 객관성을 주기 위하여 선택성곡선을 다항식 함수로 표현하였고 이론값과 측정값에 대한 차이를 최소화시키기 위해 최소제곱법을 이용하였다(Fujimori et al. 1996).

한편, Millar는 물고기가 두 망목크기의 자망그물에서 두 그물에 똑같은 확률로 만나지 않고 다른 확률로 어획되는 것을 고려한 변수를 주었고, 실제 어획자료에 맞춰 선택성곡선을 종 모양(정규분포곡선)으로 가정하여 최우법(최대가능도법)을 이용하여 구한 SELECT라는 모델을 개발하였다. 이것이 처음에는 트롤의 비교시험 조업을 위해 개발되었으나 자망에도 응용되었다.

본 논문에서는 기존의 도루묵과 기름가자미의 어획자료에 대한 자망의 선택성곡선을 동일한 다항식을 써서 Kitahara으로 구한 최소제곱법(Least square method)과 최우법(최대가능도법, Maximum likelihood analysis)으로 구한 망목선택성 곡선의 차이를 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

1. 최소제공법과 최우법 및 어획실험 자료

망목선택성 곡선을 추정하는 데는 Baranov가 가정한 기하학적인 상사를 이용하여 자망의 선택성을 Kitahara에 의해 구한 방법은 다음과 같다. 망목크기가 m_i 인 그물에 체장 l_j 인 고기가 어획되는 마리수 C_{ij} 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\ln s(l_j/m_i) = \ln c_{ij} - \ln (q_i d_j)$$

Kitahara의 마스터 곡선에 객관성을 주기 위하여 Fujimori et al.(1996)은 삼중자망의 경우에 적용한 함수로서 다음과 같은 다항식을 적용하였다(단, $R=l_j/m_i$).

$$\ln s(R) = a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0$$

상대효율의 최대값을 1로 둘 때 선택성 곡선을 나타내는 함수 $s(R)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다. F_{\max} 는 위 다항식의 최대값이다(Kim and Lee, 2002).

$$s(R) = \exp\{(a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0) - F_{\max}\}$$

한편, 최우법(최대가능도법)으로 구하는 자망의 선택성은 물고기의 어획량이 포아송(Poisson) 분포를 한다고 가정했을 때, 비교어획시험으로부터 물고기가 어구 j 에 접촉하여 어획될 기대값은 다음과 같이 나타내진다(Santos et al., 2003).

$$n_{ij} \approx \text{Pois}(p_i(\ell), \lambda_\ell, r_j(\ell))$$

여기서, n_{ij} 는 망목크기 j 에서 어획된 어체 길이 ℓ 인 마리수인데, 평균이 $p_i(\ell)\lambda_\ell r_j(\ell)$ 인 포아송 분포를 한다. p_i 는 여러 망목크기 중에서의 상대어획강도로서 어체 길이 ℓ 인 물고기가 어구 j 에 접촉할 확률이고, λ_ℓ 는 어구와 접촉한 어체 길이가 ℓ 인 물고기의 자원량이다. 이 n_{ij} 의 대수우도(log-likelihood)는 다음 식으로 나타내진다

$$\sum_l \sum_j \{n_{ij} \log_e \{p_j \lambda_\ell r_j(\ell)\} - p_j \lambda_\ell r_j(\ell)\}$$

Table 1. Length frequency of female Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) caught by gill net with six different mesh sizes near Gosung, Korea from October to December 2007

Length group (cm in fork length)	Mesh size (mm)					
	36.4	39.4	45.5	51.5	53.0	57.6
12	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0
16	16	16	8	0	1	0
18	21	230	537	53	19	12
20	10	35	227	75	42	8
22	0	2	13	17	33	12
24	0	2	1	5	14	17
26	0	0	0	1	0	3
Total	48	285	786	151	109	52

결과 및 고찰

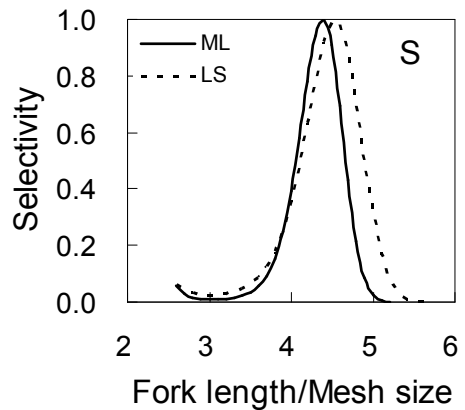
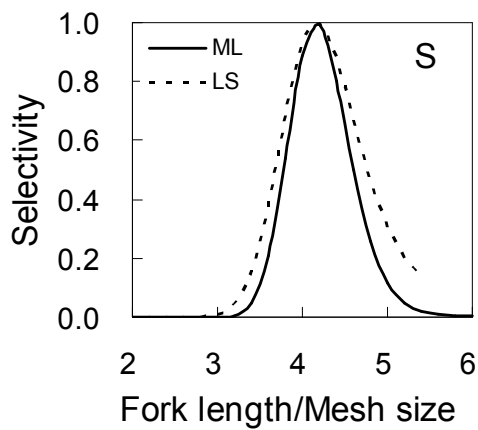
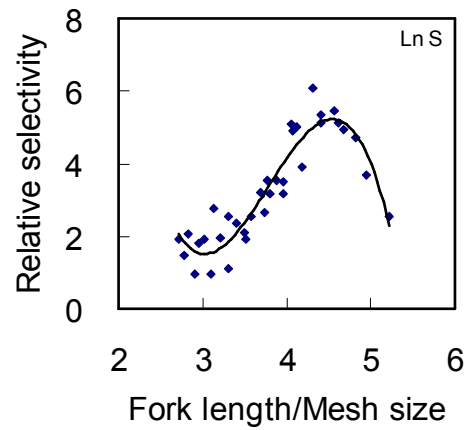
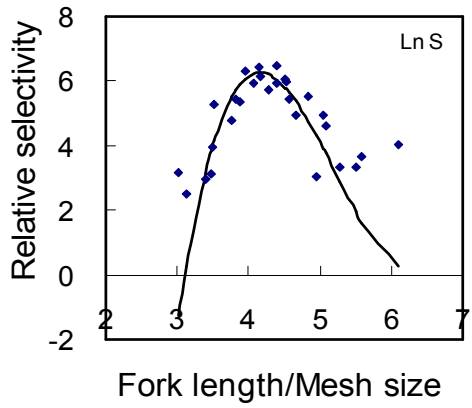
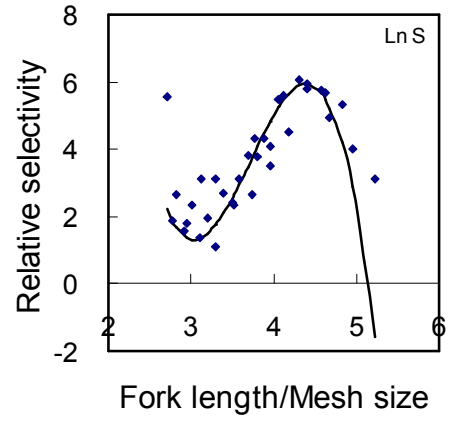
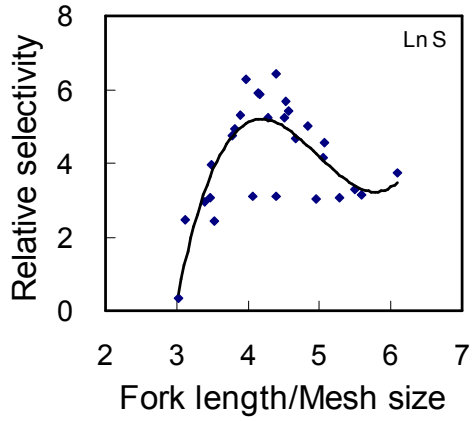


Fig. 1. Comparison of the selectivity for female Japanese sandfish
ML: maximum likelihood
LS: Least square method

Fig. 2. Comparison of the selectivity for male Japanese sandfish
ML: maximum likelihood
LS: Least square method

Table 4. The mesh size of 50% probability of catch corresponding to the biological maturity length of fish.

	Japanese sandfish				Korean flounder	
	Female		Male		Least square	Maximum likelihood
	Least square	Maximum likelihood	Least square	Maximum likelihood		
L ₅₀ (cm) ⁺	16.7	16.7	13.0	13.0	13.0	13.0
R ₅₀ (cm)	3.68	3.78	4.03	4.06	2.41	2.52
m ₅₀ (cm) ⁺⁺	4.54	4.42	3.20	3.16	10.6	10.1

⁺Biological maturity length (cm)

⁺⁺Mesh size of 50% probability of catch

도루묵 암컷과 수컷에 대한 Table 1과 2의 자료를 기초로 하여 자망의 망목선택성 곡선을 Kitahara에 의한 방법으로 3차다항식을 적용하여 최소제곱법으로 구한 결과와 최우법을 적용하여 구한 결과인 Fig. 1의 위쪽 두 그림에서 최우법으로 구한 것이 최소제곱법으로 구한 것보다 훨씬 뚜렷한 경향을 보여주고 있다. 최소제곱법으로 구한 것이 다소 퍼져 있는 것은 Table 1에서 보여주는 바와 같이 어획량이 매우 많아 전반적으로 각 체장계급과 망목에서 아주 적게 어획된 것도 기록되어 어획량이 많은 적은 이들 값이 같은 효과로 기록된 때문이라 여겨진다. 여기에 비해 최우법으로 구한 것은 어획마리수가 많을수록 그 곡선에 큰 영향을 주어 3차 다항식이 보다 선명하게 적합되었다고 볼 수 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 도루묵 암컷과 수컷 및 기름가자미의 생물학적 성숙체장에 대응하는 어체가 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법과 최우법으로 구한 결과가 나타나 있다.

참고문헌

- Fujimori, Y., T. Tokai, S. Hiyama and K. Matuda, 1996. Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). Fish. Res., 26, 113-124.
- Jeong, E.C., H.H. Park, B.S. Bae, D.S. Chang, C.S., Kim, S.H. Choi and H.K. Cha. 2009. Size selectivity of gill net for male Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) off Dangwon in winter. J. Kor. Fish. Soc., 42, 78-82.
- Kim, S.H. and J.H. Lee, 2002. Mesh selectivity in trammel net for flat fish. Bull. Kor. Soc. Fish. Technol., 38, 91-100 (in Korean).
- Millar, R.B., 1992. Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. J. Am. Stat. Assoc. 87, 962-968.
- Millar, R.B. and Fryer, R.J. 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. Rev. Fish Bio. Fish. 9, 89-116.
- Santos, M.N., M. Gaspar, C.C. Monteiro and K.Erzini. 2003. Gill net selectivity for European hake *Merluccius merluccius* from southern Portugal: implications for fishery management. Fisheries Science, 69, 873-882.