

## 자망 선택성에서 다항식을 사용한 경우의 Kitahara에 의한 최소제곱법과 최우법의 차이

박해훈\* · Russell B. MILLAR<sup>1</sup> · 배봉성<sup>2</sup> · 안희춘<sup>2</sup> · 황선재<sup>3</sup>

국립수산과학원 시스템공학과, <sup>1</sup>오클랜드대학교 통계학과,

<sup>2</sup>동해수산연구소 해역산업과, <sup>3</sup>국립수산과학원 자원연구과

### **The difference of selectivity of gill net between least square method with polynomials in Kitahara 's and maximum likelihood analysis**

**Hae-Hoon PARK\***, **Russell B. MILLAR<sup>1</sup>**, **Bong-Seong BAE<sup>2</sup>**, **Heui-Chun AN<sup>2</sup>**,  
**and Seon-Jae HWANG<sup>3</sup>**

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research and Development Institute,  
Busan 619-705, Korea*

<sup>1</sup>*Department of Statistics, University of Auckland, Private Bag 92019, Auckland 1142, New Zealand*

<sup>2</sup>*East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangwon-do 210-861, Korea*

<sup>3</sup>*Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research and Development Institute,  
Busan 619-705, Korea*

This paper showed the difference between the selectivity of gill net by least square method with polynomials in Kitahara 's and that by maximum likelihood analysis for Japanese sandfish and Korean flounder. Catch experiments for Japanese sandfish using commercial vessels off the eastern coast of Korea were conducted with six different mesh sizes between October and December 2007 and those for Korean flounder with five different mesh sizes between 2008 and 2009. The mesh size of 50% probability of catch corresponding to biological maturity length of fish was not different between that by least square method and that by maximum likelihood analysis for Japanese sandfish, however, a little different for Korean flounder, that is, those mesh sizes of 50% probability of catch for biological maturity length of Korean flounder were 10.6cm and 10.1cm by least square method and maximum likelihood analysis, respectively.

Keywords: Selectivity, Gill net, Kitahara's method, Least square method, Maximum likelihood analysis, Japanese sandfish, Korean flounder

\*Corresponding author: hhpark@nfrdi.go.kr, Tel: 051-720-2571, Fax: 051-720-2586

## 서 론

자망어업은 우리나라 연근해 주요 업종의 하나이다. 근래 수산자원의 감소로 자원 회복을 위해 어획량이나 망목 크기, 어체 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 부분적으로 대상 어종별로 사용되는 그물코의 크기를 규정하고 있는데, 이것은 자망어구의 망목선택성을 이용하여 정할 수 있다. 이러한 자망어구의 망목선택성에 관하여 많은 연구가 행해지고 있다 (Losanes et al., 1992; Fujimori et al., 1996; Millar and Fryer, 1999; Park et al., 2003, 2004; Jeong et al., 2009).

자망어구의 망목선택성 곡선을 추정하는 데는 Baranov가 가정한 기하학적인 상사를 이용하여 Ishida와 Kitahara (1968) 등이 구한 바가 있는데, 이 방법에서는 여러 가지 망목크기로 구성된 자망어구의 각 망목의 어획 강도가 같다는 가정을 하였고, 이것은 물고기가 각각의 그물을 만나서 각 망목크기에 어획될 효율이 같다는 것을 뜻한다. Kitahara는 망목크기에 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). 이 방법은 각 망목크기에서 어획노력량이 같은 자료에 적용될 수 있다.

자망어업에서 어획은 매 실험마다 대상 생물의 자원량이 다르고 어군행동과 조류나 밝기 등 환경 조건에 따라 어획상황이 다르며, 망목크기가 다른 그물에 대해 대상생물의 반응이 다를 수도 있기에 이것은 매 실험마다 어획강도가 다른 것을 뜻한다. Kitahara 방법에서는 이러한 것과

관련된 것들을 보정치로 두고 처리하였다.

이에 비해 자망의 망목선택성 곡선을 추정하는데 있어서 Millar는 물고기가 두 망목크기의 그물에서 두 그물에 똑같은 확률로 만나지 않고 다른 확률로 어획될 것을 고려하는 변수를 설정하였고, 실제 어획자료에 맞춰 선택성곡선을 종모양 (정규분포곡선)으로 가정하여 최우법 (최대가능도법)을 이용하여 구한 SELECT라는 모델을 개발하였다. 이것이 처음에는 트롤의 비교 시험 조업을 위해 개발되었으나 (Millar, 1992; Wileman et al., 1996), 자망이나 통발어구로 망목선택성을 구하기 위해 적용된 사례들이 있다 (Millar and Fryer, 1999; Fujimori and Tokai, 2001; Santos et al., 2003; Park et al., 2007). 망목선택성을 구할 때 최소제곱법과 최우법의 장단점에 대해 언급한 문헌 (Hiramatsu, 1992)에 의하면, 최소제곱법은 미지의 변수 (parameter)에 대해 모델을 선형으로 변화시키거나 근사화시켜 주로 적용하였다. 그러나 최우법이나 비선형최적화 프로그램에서는 모델을 선형화시키지 않고 직접 미지의 변수를 구하는 것이 가능하다. 최우법에서는 계산이 복잡하고 추정된 값이 최우추정량이라는 보증이 없기에 여러 가지 초기치를 대입하여 그 결과가 수렴하는지 검토할 필요가 있다.

우리나라에서 최소제곱법과 최우법을 적용하여 망목선택성을 구한 예가 통발에는 있으나, 자망에 대해서는 최소제곱법에 의해 망목선택성을 구한 예만 있을 뿐 최우법 (최대가능도법)으로 구한 예가 없는 것 같다. 본 논문에서는 최우법 (최대가능도법, maximum likelihood method)과 최소제곱법 (least square method)을 이용하여 자망으로 어획한 기존의 도루묵 어획자료와 기름가자미의 어획자료를 사용하여 망목선택성곡선을 동일한 다항식을 써서 Kitahara 방법으로 구한 것과 최우법으로 구한 망목선택성 곡선의 차이를 비교분석하였다.

## 자료 및 방법

### 최소제공법과 최우법(최대가능도법)

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 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{ij} = s(l_j / m_i) \cdot q_i \cdot X_i \cdot d_j \quad (1)$$

여기서,  $q_i$ 는 체장과는 무관한 것으로 어구구조상의 차이나 침지시간 등의 조업조건의 영향을 나타내는 망목크기  $m_i$ 인 어구의 어획효율이고,  $X_i$ 는 어구의 노력량으로 망목  $m_i$ 의 반복수이며,  $d_j$ 는 체장계급  $j$ 의 자원밀도이다. 따라서, 단위노력당 어획마리수  $C_{ij}$ 는 다음과 같이 된다.

$$c_{ij} = C_{ij} / X_i = s(l_j / m_i) \cdot q_i \cdot d_j \quad (2)$$

위 식의 양변에 대수를 취하면 식(3)이 성립한다.

$$\ln s(l_j / m_i) = \ln c_{ij} - \ln(q_i \cdot d_j) \quad (3)$$

식(3)의 두 번째 항은 어획효율이나 자원밀도와 관련된 보정치이다. Kitahara의 마스터 곡선에 객관성을 주기 위하여 Fujimori et al. (1996)은 삼중자망의 경우에 적용한 함수로서 식(4)과 같은 다항식을 적용하였다.

$$\ln s(R) = a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0 \quad (4)$$

단,  $R = l_j / m_i$ 이다. 상대효율의 최대치를 1로 두면, 선택성 곡선을 나타내는 함수  $s(R)$ 은 식(5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(R) = \exp\{(a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0) - F_{\max}\} \quad (5)$$

여기서,  $F_{\max}$ 는 식(4)에서의 최대값인데, 미분하여 구할 수 있다(Kim and Lee, 2002). 식(4)와 같이 다항식으로 된 선택성곡선을 최소제공법(최소자승법)으로 구할 때, 다음 식과 같이 잔차의

제공합을 최소화되도록 하여 변수를 구한다.

$$E = \sum_i [\ln s(R) - \ln \tilde{s}(R)]^2 \quad (6)$$

단,  $s(R)$ 은 실측치로 구한 상대효율이고,  $\tilde{s}(R)$ 은 함수식에 의한 상대효율 추정치이다. 자망의 경우 2차식 또는 3차식을 많이 쓰고 있고, 4차 이상은 잘 쓰이지 않는다. 2차식은 대칭인 경우에 사용하고 3차식은 비대칭인 경우에 사용한다.

한편, 어획 자료를 이용하여 최우법(최대가능도법)으로 자망의 선택성을 구한 방법을 간단히 나타내면 다음과 같다 (Millar, 1992; Millar and Fryer, 1999; Fujimori and Tokai, 2001; Santos et al., 2003). 대상 생물의 어획이 포아송(Poisson) 분포를 한다고 가정했을 때, 비교어획시험으로부터 물고기가 어구  $j$ 에 접촉하여 어획될 기대값은 다음과 같이 나타내진다 (Santos et al., 2003).

$$n_{ij} \approx \text{Pois}(p_j(l), \lambda_i, r_j(l)) \quad (7)$$

여기서,  $n_{ij}$ 는 망목크기  $j$ 에서 어획된 어체 길이  $l$ 인 마리수이며, 평균이  $p_j(l)\lambda_i r_j(l)$ 인 포아송 분포를 한다.  $p_j$ 는 여러 망목크기 중에서의 상대어획강도로서 어체 길이  $l$ 인 물고기가 어구  $j$ 에 접촉할 확률이고,  $\lambda_i$ 는 어구와 접촉한 어체 길이가  $l$ 인 물고기의 자원량이고,  $r_j(l)$ 은 선택 확률이다. 이  $n_{ij}$ 의 대수우도(log-likelihood)는 다음 식으로 나타내진다

$$\sum_j \sum_l \{n_{ij} \log_e \{p_j \lambda_i r_j(l)\} - p_j \lambda_i r_j(l)\} \quad (8)$$

SELECT 방법에서는 각 체장계급과 각 어구에 대한 총 어획량에 대한 비율( $y_{ij} = n_{ij} / n_{i+}$ )을 사용하기 때문에 (단,  $n_{i+}$ 는 모든 어구에서의 각 체장계급에 대한 총 어획량이다), 추정될  $\lambda_i$ 의 변수가 감소되어 상대어획비율은

$$\phi_{ij} = \frac{p_j r_j(l)}{\sum_j p_j r_j(l)} \quad (9)$$

이 되고, 이 비율( $y_{ij}$ )에 대한 대수우도는 다음식

으로 나타낼 수 있다

$$\sum_i \sum_j n_{ij} \log_e (\varphi_{ij}) \quad (10)$$

최대가능도법(최우법)에서는 최소제곱법과는 달리 각 망목크기에서 어획된 마리수의 정보를 이용한다. 따라서 자료 분석에서 어획량이 많을수록 좋겠으나, 최소제곱법에서는 어획마리수의 차이의 영향이 나타나지 않는데 비해, 최우법에서는 이 영향을 포함시켜 계산하게 된다. 이 두 방법으로부터 구한 선택성곡선을 비교하기 위해, 자망의 경우에 자주 사용되고 있는 선택성곡선으로 3차 다항식을 이용하여 최소제곱법과 최우법(최대가능도법)으로 구한 결과를 그래프로 비교하고자 한다. 왜냐하면 선택성곡선을 구할 때 최소제곱법으로 2차식과 3차식을 적용하여 구한 잔차의 결과값을 비교한 것이 있고, 최우법으로 정규(normal)분포, 대수정규분포, 감마분포, skew-normal 분포, binormal 분포 등을 사용하여 각각의 방법 내에서 최대우도를 이용한 AIC 값으로 그 결과를 비교하기도 하나, 이 두 가지를 직접 비교한 것은 매우 드문 것 같다.

### 시험 자료

앞에서 말한 두 가지 방법에 의한 자망의 망목 선택성을 비교하기 위해 사용한 자료는 도루묵의 기존 어획자료(Jeong et al., 2009)와 기름가자미의 어획자료를 사용하였다.

도루묵에 대한 망목선택성 실험은 2007년 겨울, 강원도 고성군 공현진항의 인근 해역에서 그물코 크기를 6종류(36.4, 39.4, 45.5, 51.5, 53.0, 57.6mm)로 한 해상 실험으로부터 어획된 암컷과 수컷의 망목크기별 어획마리수는 Table 1과 Table 2에 나타나있다. 그리고 기름가자미의 어획자료는 2008년 12월부터 2009년 6월 사이에 강원도 양양군 기사문항, 속초시 동명항, 경북 영덕군 축산항에서 어획시험한 자료였고, 시험어구는 그물실(망사) 굵기가 경심 3호(직경 0.284mm), 이고 그물코 크기는 60.6, 72.7, 90.9,

121.2, 151.5mm인 5종류의 홀자망을 써서 총 20회 어획 실험한 결과를 사용하였다. 기름가자미의 망목크기별 어획마리수는 Table 3과 같았다.

### 결과 및 고찰

도루묵 암컷에 대한 Table 1의 자료를 기초로 하여 자망의 망목선택성 곡선을 Kitahara 방법으로 구할 때 3차 다항식을 적용하여 최소제곱법으로 구한 결과와 최우법을 적용하여 구한 결과를 Fig. 1에 각각 나타내었다. 이들 그림에서 알 수 있는 것은 최우법으로 구한 선택성곡선이 최소제곱법으로 구한 것보다 훨씬 뚜렷하게 적합된 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 것의 영향이라 여겨진다. 여기에 비해 최우법으로 구한 것은 어획마리수가 많을수록 그 곡선에 큰 영향을 주어 3차 다항식이 보다 선명하게 적합되었다고 볼 수 있다. 이들로부터 각각의 선택성곡선을 구하여 비교한 것이 Fig. 2에 나타나 있다.

Table 2에 있는 도루묵 수컷의 자료를 기초로 하여 자망의 망목선택성 곡선을 Kitahara에 의한 방법으로 3차 다항식을 적용하여 최소제곱법과 최우법으로 구한 것이 Fig. 3에 나타나 있다. Fig.

**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

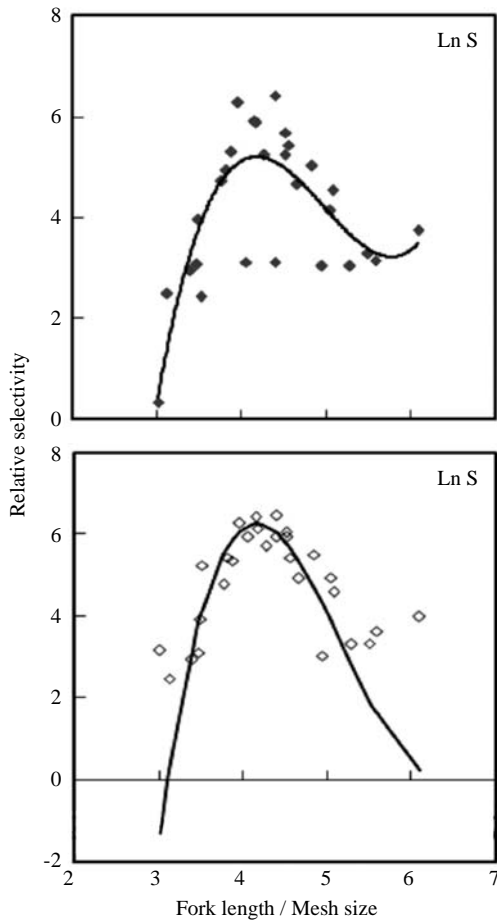


Fig. 1. Master curve in logarithm by least square method with polynomials and data points (upper), that by maximum likelihood (lower) of mesh selectivity of gill net for female Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) caught near Gosung, Korea from October to December 2007.

3의 위쪽 그림의 최소제곱법으로 구한 것이 데이터와 곡선이 잘 일치하는 것처럼 보이나, Table 2의 망목 36.4mm에서 어획된 체장계급 19cm에 기록된 1마리가 상대체장에서는 가장 큰 값이 되어 Fig. 3의 가장 오른쪽에 있는 화살표로 표시된 점이다. 따라서 최소제곱법에서는 어획량의 많고 적음의 차이가 나타나지 않고 한 마리나 몇 백 마리가 그래프에서 모두 한 점으로 표시된다. 반면에, 어획마리수의 차이의 영향을 포함시킨 최우법으로 구한 Fig. 3의 아래 그림에

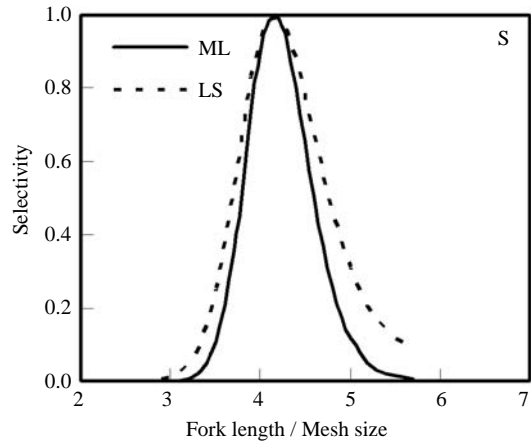


Fig. 2. The comparison of the selectivity curves for female Japanese sandfish. ML: maximum likelihood, LS: least square method.

Table 2. Length frequency of male 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
13						
(12.5 - 13.5)	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0
15	57	9	0	1	3	0
16	248	185	8	3	8	5
17	140	435	14	3	7	6
18	15	86	9	3	4	6
19	1*	9	4	2	1	1
20	0	0	10	2	2	0
21	0	0	5	4	1	0
22						
(21.5 - 22.5)	0	0	0	0	1	0
Total	461	724	50	19	27	18

\* This is the catch corresponding to the largest ratio of fish length to mesh size ( $l/m$ ) and the point illustrated as an arrow in right hand side of Fig.2.

서는 외견상으로는 상대체장이 가장 큰 오른쪽 점에서 곡선과 상당히 떨어져 있지만, 최우법으로 구한 것은 어획마리수가 많은 선택률이 큰 가운데 부분에서 잘 일치하고 있다. 이 두 곡선으로부터 구한 선택성곡선이 Fig. 4에 나타나 있다. 이 경우에는 자원보호를 위한 50% 선택체장

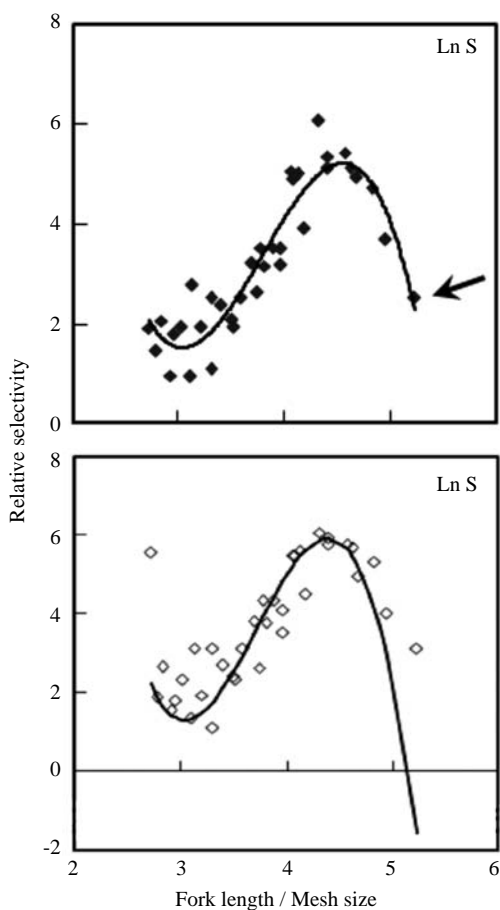


Fig. 3. Master curve in logarithm by least square method with polynomials and data points (upper), that by maximum likelihood (lower) of mesh selectivity of gill net for male Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) caught near Gosung, Korea from October to December 2007.

에서 두 곡선의 차이는 거의 없는 것으로 보여진다.

기름가자미의 어획자료인 Table 3을 기초로 하여 위와 같이 최소제곱법과 최우법으로 구한 선택성 곡선이 Fig. 5에 나타나 있다. 이 그림에서도 의견상으로는 최소제곱법이 잘 적합된 것처럼 보이나 여기에는 마리수의 차이 효과는 포함되어 있지 않은 반면에, 최우법에 의한 결과는 마리수의 차이의 영향을 포함시킨 것으로 어획량이 많았던 최대값 주변에서 잘 적합된 것을 볼

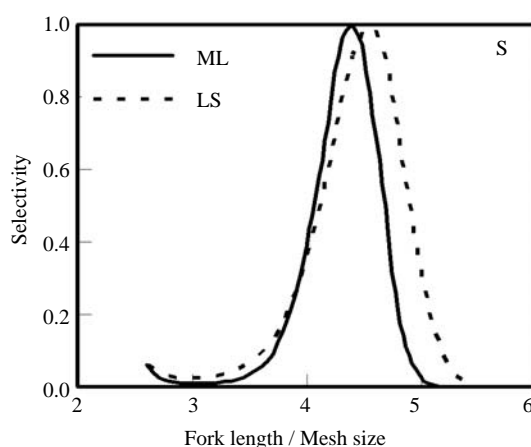


Fig. 4. The comparison of the selectivity curves for male Japanese sandfish. ML: maximum likelihood, LS: least square method.

Table 3. Length frequency distribution of Korean flounder caught by gill net with five different mesh sizes near Sokcho, Yangyang and Yeongdeok, Korea from December 2008 to June 2009

Length group (cm in fork length)	Mesh size (mm)				
	60.6	72.7	90.9	121.2	151.5
13	1	2	1	0	0
17	212	31	7	4	1
21	119	192	43	7	5
25	22	78	69	11	3
29	1	1	7	7	2
33	0	0	2	4	2
Total	355	304	129	33	13

수 있다. 이 두 곡선으로부터 구한 선택성 곡선이 Fig. 6에 나타나 있다.

Table 4에서 보는 바와 같이 도루묵 암컷의 생물학적 성숙체장은 16.7cm로 알려져 있는데 (NFRDI, 2007) 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 45.4mm (1.50치)이고, 최우법으로 구하면 44.2mm (1.46치)인데, 겨울 조업때 현장에서 사용하는 망목크기는 53.0mm (1.75치)로 두 방법으로 구한 망목크기보다 큰 것을 사용하고 있다. 도루묵 수컷의 생물학적 성숙체장은 13.0cm인데 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 31.6mm (1.04치)

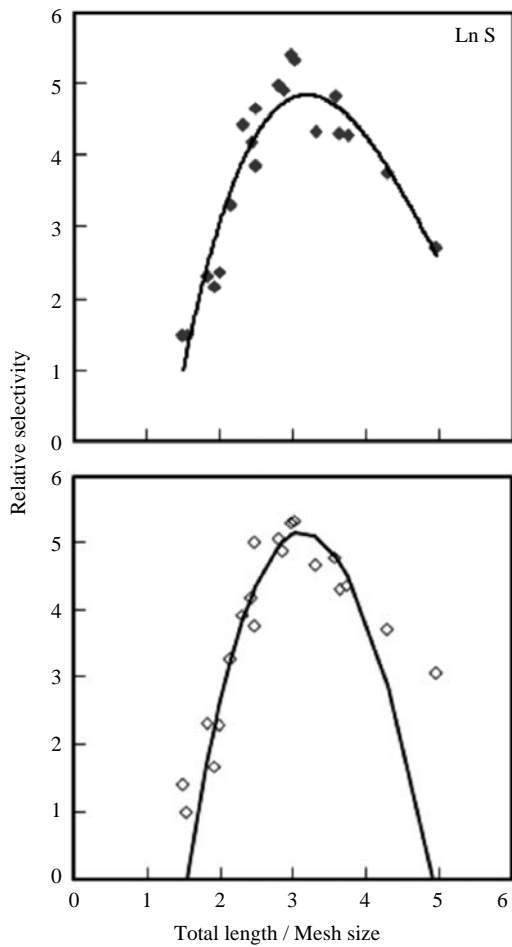


Fig. 5. Master curve in logarithm by least square method with polynomials and data points (upper), that by maximum likelihood (lower) of mesh selectivity of gill net for Korean flounder (*Glyptocephalus stelleri*) caught near Yangyang, Sokcho, Yeongdeok, Korea from December 2008 to June 2009.

이고, 최우법으로 구하면 32.0mm (1.06치)이다. 현장에서 사용하는 망목크기는 39.4mm (1.3치)로 두 방법으로 구한 망목크기 보다 큰 것을 사용하고 있다. 한편, 기름가자미의 경우 생물학적 성숙체장은 25.6cm인데 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 106mm (3.50치)이고, 최우법으로 구하면 101mm (3.35치)인데, 현지에서 사용하고 있는 망목크기는 78.8 - 84.8mm (2.6 - 2.8치)로 앞의 두 방법으로 구한 것보다 작은 망목을 사용하고 있다. 이상에서 본 바와 같이 생물학적 성숙체장에 대응하는 어체를 50% 어획할 망목크기는 도루묵 암컷과 수컷의 경우 최소제곱법과 최우법으로 구한값이 비슷하였으나, 기름가자미의 경우는 최우법과 최

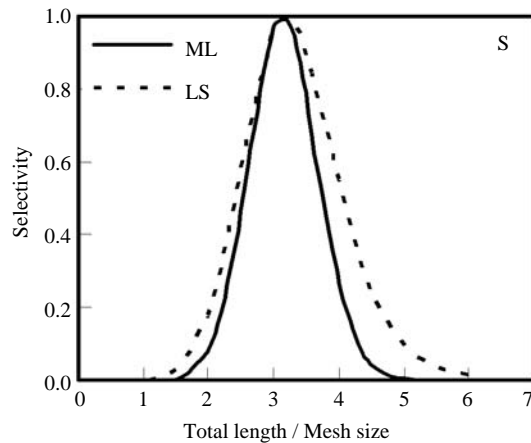


Fig. 6. The comparison of the selectivity curves for Korean flounder.  
ML: maximum likelihood, LS: least square method.

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	25.6	25.6
$R_{50}$ (cm)	3.68	3.78	4.11	4.06	2.41	2.52
$m_{50}$ (cm)**	4.54	4.42	3.16	3.20	10.6	10.1

\* Biological maturity length (cm).

\*\* Mesh size to catch the biological maturity length of fish with 50% probability.

소제곱법으로 구한 망목크기 값이 차이가 났다. 자망의 망목선택성을 구하는데 있어 여기서는 체장에 대한 상대 망목 크기를 변수로 한 Kitahara의 방법에서 함수의 형태로 객관성이 있는 3차 다항식을 이용한 최소제곱법과 같은 3차 다항식을 써서 최우법(최대가능도법)으로 구한 결과를 그래프상으로만 비교하였다. 보다 심도 깊은 분석을 하기 위해서는 최우법에서 다항식 뿐만 아니라 정규(normal)분포, 대수 정규분포, binormal 분포, skew-normal 분포 등 여러 형태를 사용하여 비교할 필요가 있다. 자원보호를 위해서는 보다 큰 망목을 사용하는 것이 바람직하겠지만, 어민들의 소득을 고려한 사회경제적인 면과 자원학적인 면을 고려하여 적절한 망목크기로 조정해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 결 론

본 논문에서는 도루묵의 기존 어획자료와 기름가자미의 어획자료에 대한 자망의 선택성 곡선을 동일한 다항식을 써서 Kitahara 방법으로 구한 최소제곱법(least square method)과 최우법(최대가능도법, maximum likelihood analysis)으로 구한 망목선택성 곡선의 차이를 살펴보고자 하였다. 도루묵 암컷의 생물학적 성숙체장은 16.7cm로 알려져 있는데 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 45.4mm (1.50 치)이고, 최우법으로 구하면 44.2mm (1.46 치)였다. 도루묵 수컷의 생물학적 성숙체장은 13.0cm인데 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 31.6mm (1.04 치)이고, 최우법으로 구하면 32.0mm (1.06 치)였다. 현장에서 사용하는 망목크기는 도루묵의 경우 이들 값보다 큰 것을 사용하고 있었다. 한편, 기름가자미의 경우 생물학적 성숙체장은 25.6cm인데 이것이 50% 어획될 망목크기를 최소제곱법으로 구하면 10.6cm (3.50 치)이고, 최우법으로 구하면 10.1cm (3.35 치)였고 현장에서 사용하고 있는 망목크기는 앞의 두 방법으로 구한 것보다 작은 망목을

사용하고 있었다. 또한 생물학적 성숙체장에 대응하는 어체를 50% 어획할 망목크기는 도루묵 암컷과 수컷의 경우 최소제곱법과 최우법으로 구한 값이 비슷하였으나, 기름가자미의 경우는 최우법과 최소제곱법으로 구한 망목크기 값이 차이가 났다.

## 사 사

본 논문에 대해 여러 가지 지적으로 다듬게 해주신 심사위원님들께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 국립수산물과학원 (RP - 2010 - FE - 015)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 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.
- Fujimori, Y. and T. Tokai, 2001. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. Fisheries Science, 67, 644 - 654.
- Hiramatsu, K., 1992. A statistical study of fish population dynamics using maximum likelihood method-parameter estimation and model selection-. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas. Fish., 29, 57 - 114.
- 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 Gangwon 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.
- Kitahara, T., 1968. On sweeping trammel net (*Kogisiasiami*) fishery along coast of the San'in district - III. Mesh selectivity curve of sweeping trammel net for Branquillos. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 34, 759 - 763.
- Losanes, L.P., K. Matuda and Y. Fujimori, 1992. Estimating the entangling effect of trammel and



- semi-trammel net selectivity on rainbow trout. Fish. Res., 15, 229 - 242.
- 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 R.J. Fryer, 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. Rev. Fish Bio. Fish. 9, 89 - 116.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute), 2007. The report for examination of regulation of catch prohibition by fisheries resources. Busan, Korea, 1 - 327.
- Park, C.D., H.C. An, S.K. Cho and C.I. Baik, 2003. Size selectivity of gill net for male snow crab, *Chionoecetes opilio*. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 39, 143 - 151.
- Park, C.D., E.C. Jeong, J.K. Shin, H.C. An and Y. Fujimori, 2004. Mesh selectivity of encircling gill net for gizzard shad *Konosirus punctatus* in the coastal sea of Korea. Fish. Sci., 70, 553 - 560.
- Park, H.H., R.B. Millar, H.C. An and H.Y. Kim, 2007. Size selectivity of drum-net traps for whelk (*Buccinum opisoplectum dall*) in the Korean coastal waters of the East Sea. Fish. Res., 86, 113 - 119.
- 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.
- Wileman, D.A., R.S.T. Ferro, R. Fonteyne and R.B. Millar, 1996. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Cooperative Research Report, No. 215, pp. 126.
- 
- 2010년 6월 4일 접수  
2010년 8월 4일 1차 수정  
2010년 8월 16일 2차 수정  
2010년 8월 16일 수리