

# 비균등한 어획노력량 및 샘플량인 경우의 SELECT 모델을 이용한 세고리물레고둥(*Buccinum opisoplectum* Dall)의 장구형 통발에 대한 망목선택성: 예비분석

박해훈<sup>1\*</sup>, Russell B. Millar<sup>2</sup>, 안희춘<sup>3</sup>, 김현영<sup>4</sup>, 정의철<sup>1</sup>, 신종근<sup>3</sup>, 차봉진<sup>3</sup>, 김인옥<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 동해수산연구소, <sup>2</sup>오클랜드 대학교(뉴질랜드), <sup>3</sup>국립수산과학원 수산공학팀, <sup>4</sup>국립수산과학원 서해수산연구소

## 서론

우리나라 연안에 많이 서식했던 여러 가지 어종의 수산자원이 근래 심각한 상태로 감소되었기에 여러 분야에서 수산자원회복 계획을 세워 노력하고 있다. 어업적인 측면에서는 자원을 보호하기 위해 어구에 일정 망목 크기 이상을 사용하도록 하거나 어구의 제한을 두거나 어종에 따라 어획량을 제한하는 규제를 가하고 있다. 우리나라에서 일반적인 그물통발의 망목 크기는 35mm 이상 사용하도록 제한하고 있다. 또한, 지속적인 어업을 위해서는 자원량 산정이나 사망계수 및 어획량의 예측 등도 필요하며, 어류뿐만 아니라 연체류, 패류 중 자원조사가 충분히 이루어지지 않은 대상물이라도 자원관리형 어업을 위해서는 어구에 대한 어획선택성 같은 기초 자료를 구할 필요가 있다.

한국 동해안에서는 장구형 통발로 고둥류, 빨간횃대, 문어 등을 어획하고 있다. 이 중에서 고둥류인 세고리물레고둥은 한국, 일본, 러시아의 사할린 등에 분포하고 있으며, 패각 표면의 주연부에는 각각 3개씩의 굽은 나뉠이 있고, 패각의 봉합은 깊고 뚜렷하며, 50~200m 정도의 수심에 서식한다.

본 논문에서는 동해안의 세고리물레고둥에 대해 망목크기가 다른 통발로 어획 시험한 자료를 이용하여 세고리물레고둥의 망목선택성을 구하여 합리적인 자원관리를 위한 기초 자료를 구하고자 하였다. 여기서 조업 중 통발이 해저에 걸리거나 타 어구와 얽히거나 양망 도중 조류가 너무 강하여 전부 양망하지 못하여 어획노력량이 동일하지 않은 경우와 양망 중 어획물이 깨져 전수 측정하지 못해 샘플량이 달랐으므로 비균등 어획노력량 및 샘플량인 경우에 대한 SELECT 모델(Xu and Millar, 1993)을 적용하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험방법

한국 동해안의 연안성 어족인 세고리물레고등을 대상으로 포항 대보의 인근 해역에서 현지 어민들이 사용하고 있는 장구형 통발로 망목크기 등을 달리하여 어획선택성 실험을 실시하였다. 현장 실험은 2003년 7월부터 2004년 3월까지 총 6 차례에 걸쳐 실시하였고, 2003년에는 현지 어선 2척 (대해호, 5.8톤; 대우호, 7.3톤)을, 2004년에는 1척(대해호)만을 용선하여 어획시험을 행하였다. 그물코 크기는 나일론 210Td 20mm(9합사), 35mm(18합사), 55mm(18합사), 75mm(18합사) 이었고, 또, 망목 20mm(9합사) 망지에 탈출 장치로서 링(2중)이나 바깥 테(2중)를 부착시킨 통발을 사용하였다. 장구형 통발의 크기는 직경이 43cm, 길이는 76cm였다. 통발 양망시는 어구가 해저에 걸리거나 타 어구와 얽혀 파손되거나 올리지 못한 경우도 있었고, 양망 중 조류가 너무 강하여 양망작업을 중단해야 하는 경우도 있었다. 또, 어획한 개체는 전수 측정하였으나 깨진 것도 있어 모두 각고를 측정하지는 못하였기에, 비균등한 어획노력량 및 샘플량인 경우에 있어서의 장구형 통발에 대한 망목선택성을 구하고자 하였다. 분석에 사용한 자료는 당일에 동시에 양망한 것만을 사용하였는데, 어획물의 측정은 망목 크기별로 버니어 캘리퍼스를 이용하여 각고와 각폭을 0.1mm 단위까지 측정하였고, 중량은 접시저울로 5g 단위까지 측정하였다.

### 2. 망목선택성 곡선 추정법

\* SELECT 방법(Xu and Millar, 1993)

물고기가 망목크기가 다른 두가지 통발 중 시험 통발에 들어갈 확률을  $p$ 라고 두면, 대조 통발에 들어갈 확률은  $1-p$ 가 된다. 체장  $l$ 인 물고기가 들어간 시험 어구의 통발에서 잔류할 확률을  $r(l)$ 이라 하고, 대조 어구의 통발에서는 모두 어획된다고 하면, 일반적으로  $r(l)$ 은 체장( $l$ )을 변수로 하는 logistic 함수로 표현하면 식(1)과 같다.

$$r(l) = \frac{\exp(a+bl)}{1 + \exp(a+bl)} \quad (0 < r(l) < 1) \dots\dots\dots (1)$$

전체 어획물 중에서 시험어구로부터 어체크기  $l$ 인 물고기가 측정될 확률  $\phi(l)$ 은 식(3)과 같이 된다.

$$\phi(l) = \frac{s_1 r(l)cf}{s_1 r(l)cf + s_2(1-c)(1-f)} = \frac{\frac{qcr(l)}{1-c}}{\frac{qcr(l)}{1-c} + 1} \dots\dots\dots (3)$$

기존의 SELECT 모델에서는 어획될 확률이 다음과 같이 표현되었다.

$$\Phi(l) = \frac{p \cdot r(l)}{(1-p) + p \cdot r(l)} = \frac{\frac{pr(l)}{1-p}}{\frac{pr(l)}{1-p} + 1} \dots\dots\dots (4)$$

따라서, c와 p 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$c = \frac{p}{q + (1-q)p}, \quad p = \frac{qc}{1 + (q-1)c} \dots\dots\dots (5)$$

위에서 변수인 c와 선택성 곡선으로 logistic 함수 r(l)을 구할 때, 최대우도(最大尤度, maximum likelihood)를 이용하는데, 이때의 대수 우도함수는 다음 식과 같이 된다.

$$\text{Log}_e(L) = \sum [ n_{Li} \text{Log}_e \Phi(l) + n_{Si} \text{Log}_e (1 - \Phi(l)) ] \dots\dots (6)$$

그리고, 대수 우도(尤度)를 이용하여 변수를 추정함에 있어서, 추정된 여러 가지 모델 중 적정 모델을 선정할 때, 모델편차(model deviance) D 또는 최소 AIC(Akaike 정보 기준)에 의한 방법을 적용할 수 있다(Wileman et. al., 1996; Akaike, 1974; Park, 1998). 이것들은 각각 식(7) 및 (8)과 같이 표현된다.

$$D_l = [2n_{li} \{ \phi_l \times \ln(\frac{\phi_l}{\hat{\phi}_l}) + (1 - \phi_l) \times \ln(\frac{1 - \phi_l}{1 - \hat{\phi}_l}) \}]^{1/2}$$

$$D = \sum D_l^2 \dots\dots\dots (7)$$

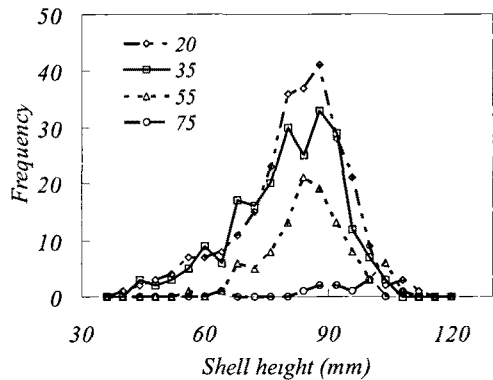
$$AIC = -2MLL + 2M \dots\dots\dots (8)$$

모델편차나 AIC의 값이 작을수록 더 적절한 모델을 뜻한다.

### 결과 및 요약

2003년 7월부터 2004년 3월까지 총 6회의 어획시험을 실시한 결과, 주 어획종은 세고리물레고등 등의 패류가 2480마리(68%), 빨간횃대 등의 어류가 564마리(15%), 그외 문어 등의 연체류(5%)와 새우, 게 등의 갑각류(12%)가 어획되었다. 세고리물레고등은 7월의 어획시험에서 대량 어획되었다. 망목 크기가 20mm, 35mm, 55mm, 75mm인 통발 중에서 세고리물레고등 등의 어획물은 주로 20mm, 35mm, 55mm인 통발과 망목 20mm 망지에 탈출구로서 링(직경 3cm)을 부착시킨 통발에서 많이 어획되었는데, 여기선 망목 크기에 따른 세고리물레고등의 어획 선택성을 살펴보았다.

이들 전체 자료에 대하여 각고(H)에 대한 각폭(B) 및 중량(G)과의 관계식은 다음과 같았고, 빈도분포는



오른쪽 그림과 같았다.

$$B=0.4993H+3.2465 \quad (R^2=0.859)$$

$$G=2.9722\exp(0.0321H)(R^2=0.865)$$

망목크기별로 양망한 통발에서 어획된 마리수와 측정된 마리수는 Table 2에 나타나 있다.

Table 2. The number of *Buccinum opisoplectum* Dall measured and unmeasured (or broken) in different sized meshes

	mesh size (mm)			
	20	35	55	75
measured	259	220	105	10
unmeasured (or broken)	62	80	34	3
total	321	300	139	13

망목 20mm와 35mm의 통발 사이에 상대 어획률의 차이에는 특별한 경향을 발견하지 못했으나, 망목 20mm와 55mm 사이 및 망목 20mm와 75mm 사이에는 Fig. 5(a) 및 Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 각고가 커질수록 상대 어획률이 증가하는 경향을 보였기에 SELECT 방법을 사용하여 각각 estimated split model과 equal split model을 적용시킨 결과를 (a)에 나타내었고, 이에 대한 잔차(deviance residuals)를 (b)에 나타내었다. 선택성 곡선으로 logistic 곡선의 추정된 변수와 모델 편차(model deviance) 및 AIC 값이 나타나 있다. 모델 편차는 estimated split model이 더 좋다는 것을 나타내었으나, AIC값은 equal split model이 더 좋다는 상반된 결과를 나타내었는데, 여기서 Fig. 5와 6의 잔차 편차(residual deviance)인 (b)에 의해 estimated split model을 선택하였다. 왜냐하면 AIC도 절대적인 기준이 아니고 시계열 분석에서는 AIC도 결점이 있는 것이 알려져 있다. Fig. 5와 6의 (c)에 나타난 선택성곡선에 의하면 망목 20mm와 55mm의 경우에 대해 equal split model 곡선과 estimated split model 곡선의 차이는 적으나, 망목 20mm와 75mm 사이의 경우 두 선택성 곡선의 차이는 크다. 따라서, estimated split 모델을 선택

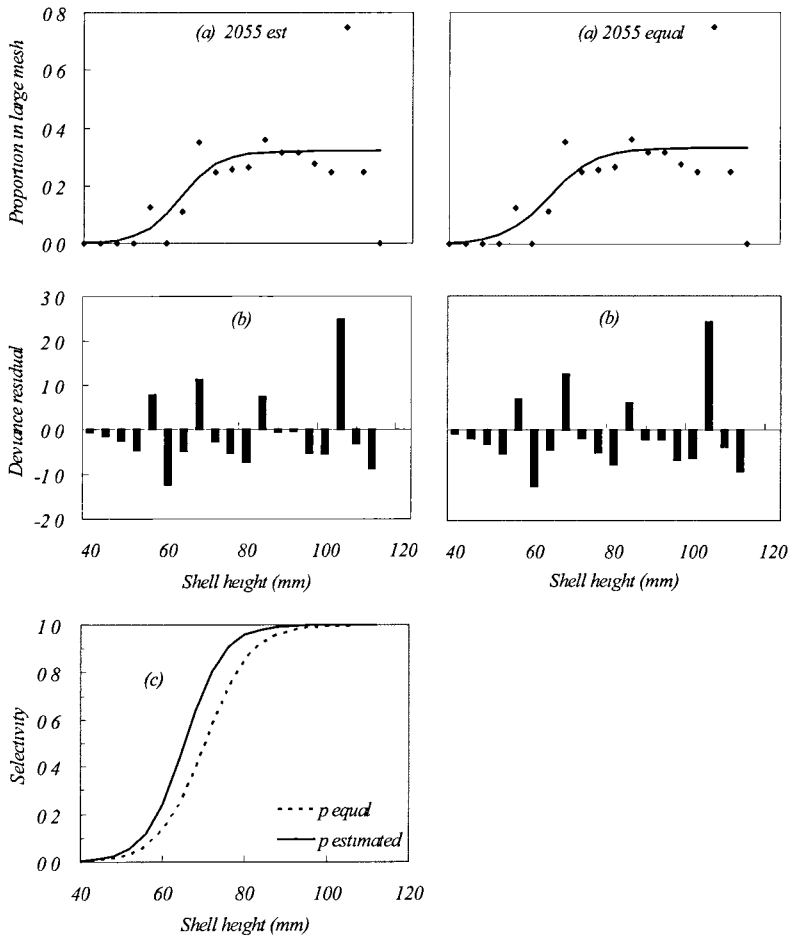


Fig. 5. (a) Fits of curves to the proportion taken in the large mesh trap (55mm) to the total catch and (b) the deviance residuals of the estimated (est.) split model and equal split model and (c) the selection curve.

하였을 때, 망목 20mm에 대해 망목 55mm 및 75mm의 상대어획 효율(relative fishing efficiency)은 각각 0.48 및 0.25로서, 망목 75mm의 경우는 망목 20mm에 비해 어획효율이 상당히 낮았다. Estimated split model에 의하면, 망목 55mm 및 75mm 장구형 통발에서 50% 어획될 세고리물레고등의 각고는 각각 65.4mm와 96.0mm였다.

## 참고문헌

- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Automat. Control AC-, 19(6), 716~723.
- 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.
- Millar, R.B. and S.J. Walsh(1992) : Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. Fisheries Research 13, 205~220.
- Millar, R.B., Broadhurst, M.K. and Macbeth, W.G., 2004. Modelling between-haul variability in the size selectivity of trawls. Fisheries Research 67, 171~181.
- 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.
- Tokai, T., Omoto, S., Sato, R. and Matuda, K., 1996 : A method of determining selectivity curve of separator grid. Fisheries Research 27, 51~60.
- Xu, X. and Millar, R.B., 1993. Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50, 2485-2490.