

Article

쉐퍼모형 응용을 통한 어로활동수준 검정

이 광 남\*

한국수산회 수산정책연구소  
(137-130) 서울특별시 서초구 양재동 275-1 삼호 B/D

Test of Fishing Activity Levels using Schaefer Model

Kwang Nam Lee\*

Korea Fisheries Association, Fisheries Policy Institute  
Seoul 137-130, Korea

**Abstract :** The study examined overuse of the fishery resource. Influence of fishing activity was estimated by application of Schaefer model's. Fishing efforts that produced the maximum sustainable yield were determined in the model, allowing the effect of overfishing to be assessed. In the model, a wide variety of fish species as well as crustaceans and shellfish were susceptible to overfishing, while mollusks were not. Overfishing by modern techniques exacted a greater toll than more traditional methods. The results of the modeling study suggest that the 'Buy bag' input-control system of fisheries resource management warrants consideration, as does modernization, expansion and strengthening of self-control management of the fishery resource. Finally, more effective efforts in dissemination of policy information and education concerning the fishery resource are needed.

**Key words :** Schaefer model, overexploitation, maximum sustainable catch, overfishing, fishing efforts

1. 서 론

수산자원은 자율갱신자원(Renewable)과 공유재산자원(common property resource or open access)이라는 특성을 지니고 있으므로 수산자원의 관리를 소홀히 할 경우 개별 어업종사자의 어로활동은 수산자원을 남획하게 되고 이는 수산자원량(stock)의 감소를 초래하게 되어 궁극적으로 수산자원이 고갈될 것이다.

또한, 수산자원을 관리할 수 있는 주체가 여러 가지 정책수단을 동원하여 효율적으로 어장을 관리해 나간다면 수산자원과 같은 공유재산 자원의 고갈을 사전에 방지할 수 있을 것이다.<sup>1)</sup> 이러한 설득력은 수산자원에 대한 현재

의 어로활동수준이 남획상태에 있는 경우 더 한층 높아질 수 있다. 즉, 수산자원의 어로활동수준이 현재 남획수준에 있다면 수산자원의 스톡수준은 더 빠르게 감소하게 되고 이는 또한 수산자원의 고갈로 이어질 가능성이 매우 높기 때문이다.

자원관리를 통하여 수산자원이 스스로 재생 가능한(Renewable) 수준까지 어획량을 줄인다면 장기적으로 어장에서 지속가능한(Sustainable) 자원량을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 수산자원의 스톡수준도 일정수준으로 유지함으로써 수산자원이 고갈상태에 도달하는 것을 방지할 수 있다.

여기에서 중요한 문제는 자원관리 필요성에 대한 타당

<sup>1)</sup>한국수산회 수산정책연구소 (2007) 어획능력관리 국제행동계획 세부실천방안 연구. pp 385-387

\*Corresponding author. E-mail : lkn6530@chol.net

성을 입증하기 위해서는 현행의 어로활동수준이 남획상태에 있다는 것을 입증하여야만 한다는 것이다. 즉, 어장에서 수산자원이 남획되고 있다는 사실을 합리적인 자료와 근거에 의해서 증명하여야 할 것이다.

현재 수산자원에 대한 어로활동수준이 남획상태에 있음을 주장하는 자원관리론자들은 어획노력량(예를 들면, 선박척수, 총톤수, 총마력수) 단위당 평균 어획량이 감소하고 있다는 통계자료를 근거로 하여 어로활동수준은 남획상태에 있으며, 또한 이로 인해 우리나라 수산자원의 스톡수준이 감소되고 있을 것이라고 추정하여 수산자원을 적극적으로 관리하여야 한다는 것이 일반적인 접근방법이다.<sup>2)</sup>

어획노력 단위당 어획량(CPUE, catch per unit effort)이 감소한다는 자료는 수산자원의 스톡수준이 감소하고 있을 것이라는 사실을 설명하는데 부분적인 증거자료로 활용할 수 있지만 쉐퍼모형(Schaefer model)을 이용하여 현재의 어로활동수준을 평가하는데<sup>3)</sup> 이러한 자료를 사용하는 것은 이론적으로 한계가 있을 것으로 생각된다. 즉, 어획노력량이 증가할 때 CPUE가 감소하고 있다고 해서 수산자원의 스톡이 감소하고 있다는 결론을 내리는 것은 쉐퍼모형내에서는 항상 성립되는 결론이라고 볼 수 없기 때문이다.

쉐퍼모형을 확장하여 현재의 어로활동수준을 실증분석할 수 있다면(즉, 수산자원의 남획으로 인해 수산자원의 스톡이 감소하고 이러한 수산자원 스톡의 감소로 인해 궁극적으로 어획량이 감소하고 있다는 논리적인 근거를 실증분석 할 수 있다면), 어로활동의 남획상태 유무를 판단하는 증거자료로 충분히 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 수산자원관리론자들의 주장에 대한 논리적 근거 제시 및 보완하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.<sup>4)</sup>

본 논문의 목적은 쉐퍼모형을 이용하여 수산자원관리론자들의 주장을 검증하기 위하여 접근하였다. 즉, 쉐퍼모형 확장 및 응용을 통하여 우리나라 수산자원의 어획노력량에 대한 어로활동수준의 추정을 통하여 수산자원의 남획 여부를 판단하는 근거를 도출하기 위하여 분석하였다.

쉐퍼모형에서 최대 지속가능한 생산량(MSY, maximum sustainable yield)을 어획할 수 있는 어획노력량을 기준으로 최대지속가능한 생산량을 어획할 수 있는 어획노력량보다 높은 어획노력량을 투입하고 있으면 남획상태라는 것이 동 모형에서 도출되는 결론이다. 본 연구에서는 우리나라의 생산량 및 어획노력에 대한 자료 등 실증분석에 필요한 자료를 활용하여 수산자원의 어로활동수준에 대해서(남획의 여부) 실증 분석을 하였다.

본 연구의 구성은 먼저, 쉐퍼모형(Schaefer model)을 이용하여 수산자원의 남획수준에 대한 정의, 수산자원 관리론자들이 남획수준에 있음을 주장하는 근거에 대한 논리적 문제점과 이에 대한 개선방안을 살펴보았다. 그 다음으로 쉐퍼모형을 이용해서 분석된 내용을 근거로 우리나라에서 어로활동수준에 대한 남획여부에 대해서 판단하였고, 마지막으로 주요 내용을 요약하고 결론을 제시하였다.

## 2. 이론적 접근

### 쉐퍼모형

쉐퍼모형은 수산자원에 대한 어로행위가 없을 경우, 수산자원의 스톡성장량은 로지스틱함수(logistic function) 형태로 표시되며 이를 수식과 그림으로 표시하면 각각 식 (1)과 Fig. 1로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = aX\left(1 - \frac{X}{X_c}\right) = F(X) \tag{1}$$

여기서,  $dX/dt$ : 수산자원의 성장량 혹은 증가량

$a$ : 정(+의 값을 갖는 상수

$X_c$ : 자연의 수용능력(Carrying Capacity)이 최대한 발휘될 때 자연상태에서 존재할 수 있는 최대 수산자원의 스톡수준

Fig. 1에서 자연성장율이 0이 되는 스톡수준은 2개가 존재한다는 것을 알 수 있는데  $X$ 의 값이 0인 경우와  $X_c$ 가 될 때이다. 매기에  $Y$ 만큼의 수산자원을 채취할 경우의 수산자원의 성장률을 나타내는 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{dX}{dt} = aX\left(1 - \frac{X}{X_c}\right) - Y = F(X) - Y \tag{2}$$

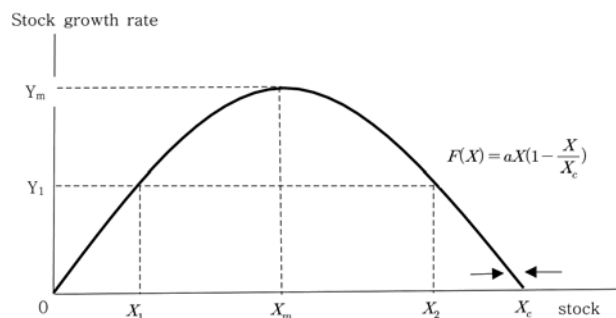


Fig. 1. Logistic function of fisheries resources.

<sup>2)</sup>해양수산부 (2003) 연근해어선 감척사업 투자효과 분석. pp 360-363

<sup>3)</sup>남획상태에 있는지 여부를 판단되는 것

<sup>4)</sup>Campbell HF (1989) Fishery buy-back programmes and economic welfare. Aust J Agr Econ 33(1):20-31

어로활동을 통해서 어획가능한 CPUE는 수산자원의 스톡크기에 비례하며 이러한 비례관계가 모든 어획노력과 스톡수준에 동일하게 적용된다는 전제하에 다음과 같은 어획함수를 가정한다.<sup>5)</sup>

$$Y = EX \tag{3}$$

여기서, Y: 어획량  
E: 어획노력  
X: 수산자원의 스톡수준

어획함수식 (3)을 매기에 Y만큼의 수산자원을 어획할 경우 수산자원의 성장률을 나타내는 방정식 (2) 식에 대입하면 다음 식을 도출할 수 있다.

$$\frac{dX}{dt} = aX\left(1 - \frac{X}{X_c}\right) - EX \tag{4}$$

식 (4)에서 자연성장량 F(X)와 어획량 Y가 일치하는 균형 스톡수준을 구하면 E가 a보다 작을 때 0이 아닌 유일한 균형 스톡수준을 X<sub>e</sub>라 하면 X<sub>e</sub>는 어로활동수준과 균형 스톡수준과의 관계는 식 (5)로 표시할 수 있으며 이러한 관계를 그림으로 표시하면 Fig. 2와 같다.

$$X_e = X_c\left(1 - \frac{E}{a}\right) \tag{5}$$

Fig. 2는 자연성장량 F(X)와 어획량 Y가 일치하는 균형 스톡수준이 결정되는 과정을 보여주고 있다.

현재의 어로활동이 E<sub>1</sub>일 때 성장량과 어획량이 일치하

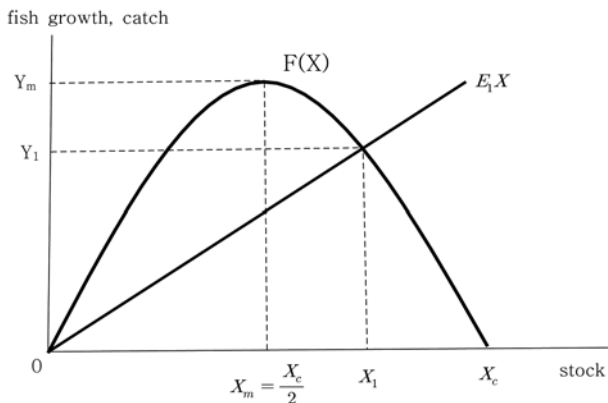


Fig. 2. Relation to fishing activities and equilibrium stock.

는 점에서 어족의 균형스톡량(X<sub>1</sub>)이 결정되는 과정을 보여주고 있다. 균형 스톡수준 X<sub>1</sub>은 안정적인 성격을 갖는데 그 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 현재의 스톡수준이 X<sub>1</sub>의 좌측에 있는 경우, 어획량이 자연성장량을 초과하므로 수산자원량은 감소하여 균형 스톡수준은 X<sub>1</sub>으로 감소하게 된다.

어획노력 수준이 E일 때 균형스톡 X<sub>e</sub>에서 누릴 수 있는 최대지속산출량은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉, (5) 식을 (3) 식에 대입하면 최대지속산출량을 구할 수 있다.

$$Y = EX_e = EX_c\left(1 - \frac{E}{a}\right) \tag{6}$$

(6) 식의 의미는 어획노력 E가 주어지면 그에 상응하는 지속산출량이 도출될 수 있다는 것을 의미한다. 어획노력과 지속산출량과의 관계를 나타내는 지속산출량과 어획노력량과의 관계를 나타내는 조합의 쉐퍼모형이라고 부르며 이를 그림으로 표현하면 Fig. 3과 같이 포물선으로 나타난다.<sup>6)</sup>

Fig. 3에서 어획노력이 증가하면 지속산출량은 꾸준히 증가하다가 최대지속산출량 수준 Y<sub>m</sub>에 도달한 후 어획노력이 증가하더라도 지속산출량은 감소한다. 이러한 과정은 Fig. 2에서 어획노력량 E를 증가함에 따라서 직선 EX의 기울기가 점차 커지면서 균형스톡 수준이 감소한다는 것을 알 수 있다.

**쉐퍼모형상에서 남획수준에 대한 정의**

Fig. 3을 이용하여 일반적으로 수산자원에 대한 남획수준에 대한 정의를 다음과 같이 내리기로 한다. 최대 지속산출량을 생산할 수 있을 때까지(즉, a/2까지) 어획노력량

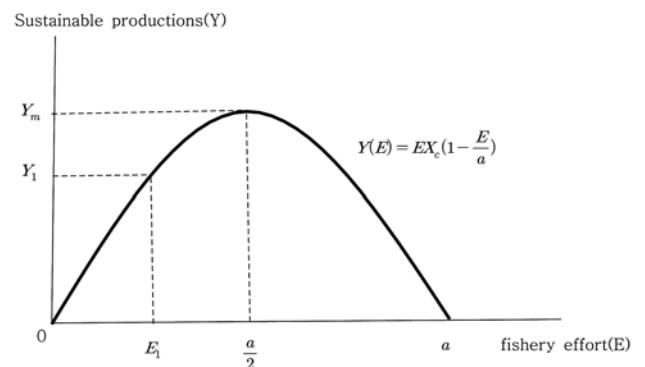


Fig. 3. Sustainable production-fishery curvedline.

<sup>5)</sup>Schaefer MB (1954) Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the coercial marine fisheries. Inter-Am Trop Tuna Comm Bull 1(2):26-56

<sup>6)</sup>Schaefer MB (1957) A study of the dynamics of the fishery for yellow fin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-Am Trop Tuna Comm Bull 2:245-285

을 투입하는 것이 쉐퍼모형에서 가장 높은 어획량을 얻을 수 있는 방법이며 그 이상의 어획노력량을 투입할 경우 지속가능생산량은 오히려 감소하게 된다. 이러한 특징이 나타나는 것은 수산자원의 성장량 곡선이 Fig. 1과 같은 모양으로 설정되었기 때문이다. 따라서, 일반적으로 어획노력량 투입이  $a/2$ 보다 작은 범위에 있으면 남획수준이 아니고,  $a/2$ 보다 크고  $a$ 보다 작은 범위에 있으면 남획수준이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서, 최대지속적생산량 이상을 어획할 수 있는 어획노력량( $a/2$ )보다 더 높은 어획노력량을 투입할 경우 남획수준이라고 정의하기로 한다.

### 남획수준에 대한 정의 및 논리적 취약성

수산자원관리론자들이 현재 어로활동수준이 남획수준이라고 주장하는 근거는 어획노력당 생산량이 점점 감소하고 있다는 것을 근거로 제시하고 있다.

이러한 주장은 쉐퍼모형을 이용하여 설명할 때 논리적인 합리성이 결여되어 있다고 생각된다. 왜냐하면 쉐퍼모형에서는 남획상태가 아니라고 하더라도 어획노력수준이 증가할 경우 어획노력당 평균생산량은 감소하는 것으로 나타나기 때문이다. 즉, Fig. 3에서 어획노력이  $a/2$ 보다 작은 범위(남획수준이 아닌 구간)에서 조업하더라도 어획노력량이 증가될 경우 어획노력당 평균생산량은 감소하는 것으로 나타나기 때문이다. 구체적으로 Fig. 3에서 어획노력당 평균생산성을 나타내는 직선의 기울기(원점과 지속산출량과 어획노력량과의 관계를 나타내는 곡선상의 한 점을 연결한 직선의 기울기)는 어획노력량이 증가함에 따라 점점 감소한다는 것을 확인할 수 있을 것이다. 모형상의 식을 이용하여 설명하면 즉, 어획노력당 평균어획량에 대한 식은 다음과 같이 표시된다.<sup>7)</sup>

$$\frac{Y}{E} = X_c \left(1 - \frac{E}{a}\right), \quad a > X \quad (7)$$

여기서,  $Y/E$ : 어획노력당 평균어획량

식 (7)은 어획노력당 평균생산성을 표시하는 수식이다.<sup>8)</sup> 식 (7)에서 어획노력  $E$ 가 증가할 때 어획노력당 생산성 ( $Y/E$ )의 변동량은 체감한다는 것을 할 수 있다.<sup>9)</sup> 따라서 수산자원관리론자들이 제시하는 근거(어획노력당 어획량 감소 추세를 근거로 현재의 어획수준은 남획수준이라는 주장)는 어획노력수준이 남획수준 상태가 아니더라도 항상 성립하므로 현재의 어획수준이 남획상태에 있다는 주장에 대한 근거와 설득력이 취약하다고 생각된다. 현재의

어획노력 투입량이 남획수준에 도달하고 있는가를 판단하기 위해서는 다른 연구방법이 개발되어야 한다고 생각된다. 이에 대해서는 다음절에서 살펴보기로 한다.

### 남획수준의 판단에 대한 개선방안

쉐퍼모형에서 남획여부를 판단하는 문제는 Fig. 3에서 최대지속가능 이상의 어획노력량이 투입될 때 나타나는 특징을 파악하는 문제로 축약된다. 여기서는 어획노력량에 대한 어획량의 탄력도(이하에서는 탄력도로 통일함)의 부호가 달라질 수 있다는 점을 이용하여 남획수준에 대한 판단여부를 내릴 수 있다.

즉, Fig. 3에서 어획노력량을  $a/2$ 이하로 투입하면 탄력도는 양(+)이 되고  $a/2$ 이상으로 투입하면 탄력도가 음(-)이 된다는 것에 착안하여 현재의 조업수준에 대한 탄력도를 통계자료를 이용하여 추정할 수 있다면 현재의 어획수준에 대한 판단을 대략적으로 할 수 있을 것으로 생각된다. (6) 식을 이용하여 어획노력에 대한 어획량의 탄력도( $\epsilon$ )를 구하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\frac{dY}{Y}}{\frac{dE}{E}} = \frac{a-2E}{a-E}, \quad (a > E) \quad (8)$$

어획노력에 대한 어획량의 탄력도인 식 (8)은 양(+)이 될 수도 있고 음(-)이 될 수도 있음을 알 수 있다. 즉, 식 (8)에서  $E$ 의 값이  $a/2$ 보다 작으면 양(+)이 되고,  $E$ 의 값이  $a/2$ 이면 0,  $E$ 의 값이  $a/2$ 보다 크면 음(-)이 됨을 알 수 있다.

Fig. 3에서  $E$ 에 대한 값을 기준으로 어획노력량에 대한 한계생산량의 값의 변동을 점검하면 다음과 같다. 즉, 어획노력량에 대한 어획량의 한계생산성은  $E$ 의 값이  $a/2$ 이하이면 양(+),  $E$ 의 값이  $a/2$ 이면 0,  $E$ 의 값이  $a/2$ 보다 크면 음(-)이 됨을 확인할 수 있을 것이다.

즉, 지속산출량-어로활동곡선상에서 보면 어획투입 노력이 최대지속가능한 생산량까지 증가할 때 탄력도의 절대치는 낮아지다가 그 이상을 초과하면 탄력도의 절대치는 점점 커진다는 것을 확인할 수 있을 것이다.

## 3. 실증분석

### 쉐퍼모형을 실증분석에 적용하기 위한 모형 변형 및 확장

쉐퍼모형을 참조하여 어획량과 어획수익을 결정하는 함수를 다음과 같이 설정하기로 한다. 즉, 어획량은 어획노

<sup>7)</sup>Conrad JM (1992) A bioeconomic model of the pacific whiting. Bull Math Biol 54(2/3):219-239

<sup>8)</sup>이는 또한 균형수익을 의미한다.

<sup>9)</sup>즉,  $d(Y/E)/dE = -X_c/a < 0$ 임을 알 수 있다.

력량, 어류스톡과 어로기술수준의 증가함수로 가정하고, 어류의 스톡수준은 어획노력량과 어로기술수준의 감소함수로 가정하여 어획함수와 어류스톡의 결정함수를 각각 다음과 같이 설정한다.

$$Y_t = f(E_t, X_t; T_t), (f_1 > 0, f_2 > 0, f_3 > 0) \quad (9)$$

$$X_t = g(E_t, T; X_c)^{10} \quad (g_1 < 0, g_2 < 0) \quad (10)$$

여기서,  $E_t$ :  $t$ 기의 어획노력량  
 $X_t$ :  $t$ 기의 수산자원의 스톡수준  
 $X_c$ : 자연의 부양능력으로서 자연상태에서 존재하는 수산자원의 최대 스톡수준  
 $T_t$ :  $t$ 기의 어로기술수준  
 $Y_t$ :  $t$ 기의 어획량으로서 어획노력량, 수산자원의 스톡수준, 어로기술의 증가함수로 가정

본 모형에서 설정한 가정은 쉐퍼모형에서 설정하고 있는 가정과 동일하며 어로기술수준을 모형 내에 추가로 도입함으로써 쉐퍼모형을 일반화한 모형이라고 볼 수 있다. 즉, 본 모형에서는 기술수준의 변화로 인한 어획량에 대한 직접효과와 수산자원의 스톡변화를 통한 어획량에 간접효과까지 분석할 수 있다.

식 (9)과 식 (10)에 대한 의미를 설명하면 다음과 같다. (9) 식은 어획량은 어획노력, 스톡수준 그리고 어로기술수준에 의해서 결정됨을 설명하고 있다. (10) 식은 수산자원의 스톡수준은 궁극적으로 어획노력과 어로기술수준에 의해서 결정된다는 설명을 하고 있다. 식 (9)에서 어획노력량의 투입량이 매우 높아져 수산자원이 남획되고 있는 상태에 있거나 어로기술수준의 증가율이 매우 높아 어획수준이 매우 높아진다면 식 (10)을 통해서 어족의 스톡수준이 감소될 것이라는 것을 알 수 있다. 이러한 스톡수준의 감소는 결국 식 (9)을 통해서 다시 어획량을 감소하게 됨으로써 어획노력과 어획기술의 발전이 어획량에 미칠 수 있는 순효과는 증가 혹은 감소할 수 있다.

즉, 최종적으로 어획노력이 과잉으로 투입되거나 어획

기술수준의 발전이 매우 빠르다면 어획량이 과다하게 어획됨으로써 수산자원의 스톡이 줄어들고 이는 다시 어획량을 감소시키는 결과를 초래하게 되어 어획량에 대한 순효과는 이론적으로 명확하게 나타나지 않기 때문에 실증적인 분석에 통해서 확인해 볼 필요가 있을 것이다.

어획노력이 어획량에 미치는 효과를 모형상에서 좀 더 정밀하게 분석하면 다음과 같이 설명할 수 있다. 식 (9)과 식 (10)을 구성하는 각 요소가 어획량과 스톡수준에 미치는 영향을 분석하기 위해서 식 (9)와 식 (10)에서 각 요소에 대해서 전미분한 결과는 다음과 같다.

$$dY = f_1 dE + f_2 dX + f_3 dT, \quad f_1 > 0, f_2 > 0, f_3 > 0 \quad (11)$$

$$dX = g_1 dE + g_2 dT, \quad g_1 < 0, g_2 < 0 \quad (12)^{11)}$$

식 (12)를 식 (11)에 대입하여 정리하면 어획노력량이 어획량에 미치는 순효과를 나타내는 관계를 나타내는 식 (13)을 구할 수 있다.

$$dY = (f_1 + f_2 g_1) dE + (f_2 g_2 + f_3) dT \quad (13)$$

식 (13)의 의미는 다음과 같다. 첫 번째 항에서  $f_1 + f_2 g_1$ 의 부호는 값에 따라 양(+)이나 음(-)이 될 수 있다. 즉, 어획노력량의 변동이 어획량 변동에 미치는 순효과는 양(+)으로 나타날 수도 있고 음(-)으로 나타날 수 있으므로 (이론적인 측면에서 사전적으로 설명할 수 없으므로) 실증 분석을 통해서 어떻게 나타나는가를 분석해 볼 필요가 있다.  $f_1 + f_2 g_1$ 의 전체값에 대한 부호를 추정하여 수산자원의 고갈여부를 간접적으로 파악할 수 있다.

다시 말하면,  $f_1 + f_2 g_1$ 의 값이 양(+)으로 추정되면 어획노력이 수산자원 어획량의 증가로 나타나는 효과가 어획노력이 수산자원의 스톡감소에 의한 어획자원의 감소보다 더 크게 나타나고 있다고(즉,  $|f_1| > |f_2 g_1|$ ) 추론할 수 있고,  $f_1 + f_2 g_1$ 의 값이 음(-)으로 추정되면 어획노력이 수산자원의 스톡감소에 미치는 영향이 어획노력이 수산자원의 어획량 증가에 미치는 영향보다 상대적으로 더 크게 나타나

<sup>10)</sup>이러한 함수형태를 설정한 이론적인 근거에 대해서 설명하면 다음과 같다. 즉, 어획자원의 성장량을 결정하는 요인은 다음과 같이 표시할 수 있다. 즉, 자연성장량에서 어획량을 차감하면 어로활동이 있는 경우의 어획자원량의 성장량은 다음과 같이 나타난다.

$$\frac{dX}{dt} = F(X) - h(t) = aX \left( 1 - \frac{X}{X_c} \right) - EX = 0$$

자연성장량( $F(X)$ )과 어획량( $h(t)$ )이 일치하는 수준에서 결정되는 균형스톡을 구하면 다음과 같다. 즉,  $E$ 가  $a$ 보다 작을 때 0이 아닌 균형스톡은 다음과 같이 결정된다.

$$X = X_c \left( 1 - \frac{E}{a} \right)$$

위 식에서 스톡수준은 어획노력량의 감소함수가 된다는 것을 알 수 있다.

<sup>11)</sup>본 모형에서  $X_c$ 는 상수항으로 간주되므로 식 (10)에서  $X_c$ 의 변동이 스톡수준에 미치는 효과는 식 (12)에 나타나지 않는다.

고(즉,  $|f_1| > |f_2g_1|$ ) 있다고 추론할 수 있다.

두 번째 항에 대해서도 다음과 같이 설명할 수 있다. 어획노력량을 고정적으로 유지한다고 하더라도 어로기술의 발전속도가 매우 높다면 기술발전의 초기단계에서는 기술수준의 향상으로 인해 어획량이 증가되지만(이러한 효과를 나타내는 항이  $f_3$ 임), 기술수준의 발전으로 인해 어획량수준이 점점 높아지면 수산자원의 스톡을 감소시켜서 어획되는 어획량을 감소시킬 수도 있으므로(이러한 효과를 나타내는 항이  $f_2g_2$ 임) 최종적으로 나타나는 순어획량에 대한 순효과는 양(+)으로 나타날 수도 있고 음(-)으로 나타날 수 있다(순효과는  $f_2g_2 + f_3$ 로 표시).

따라서  $f_2g_2 + f_3$  값의 부호를 추정하여 어로기술의 증가가 수산자원의 어획량에 미치는 최종적인 효과를 실증 분석할 수 있다. 즉,  $f_2g_2 + f_3$ 의 값이 양(+)으로 추정되면 어로기술의 발전에 따른 어획량 증가로 나타나는 효과가 어획량 증가에 따른 수산자원의 스톡감소를 통한 어획자원의 감소효과보다 더 크게 나타날 것이라는 것을 추정할 수 있고(즉,  $|f_2g_2| < |f_3|$ ),  $f_2g_2 + f_3$ 의 값이 음(-)으로 추정되면 어로기술의 발전에 따른 수산자원의 스톡감소를 통해서 어획량 감소로 나타나는 효과가 어로기술의 발전에 따른 어획량 증가효과보다 상대적으로 더 크게 나타나고 있다는(즉,  $|f_2g_2| > |f_3|$ ) 것을 추론할 수 있다.

## 모형설정

### 추정함수 형태

계량모형에 이용된 추정식의 형태는 다음과 같이 설정하여 어획노력량과 어로기술수준에 대해서 어획량의 탄력도가 각각 도출될 수 있는 형태로 설정하였다.

$$\ln Y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln E + \alpha_2 \ln TEC \quad (14)$$

여기서,  $Y$ : 어획량

$E$ : 어획노력량

$TEC$ : 어로기술수준

(14) 식에서  $\alpha_1$ 와  $\alpha_2$ 는 (13) 식에서 각각  $f_1 + f_2g_1$ 와  $f_2g_2 + f_3$ 에 해당한다는 것을 알 수 있다.  $\alpha_1$ 는 어획노력량에 대한 어획량의 탄력도를 나타내는 척도이고  $\alpha_2$ 는 어로기술수준에 대한 어획량의 탄력도를 나타내는 척도가 된다.

$\alpha_1$ 에 함축된 경제적 의미를 기술하면 다음과 같이 설명할 수 있다.  $\alpha_1$ 는 어획노력량이 증가할 때 어획량을 증가시키는 1차 효과( $f_1$ )와 어획노력량이 수산자원의 스톡수준의 감소를 통해서 궁극적으로 수산자원의 어획량을 감소시키는 2차 효과( $f_2g_1$ )를 전부 고려한 순효과의 크기를 추정한 결과이다.  $\alpha_1$ 의 추정값은 양(+)인지 음(-)인지 사

전적으로 정해진 바가 없으므로 어획노력량을 증가시킬 때 어획량에 미치는 효과도 사전적으로 알 수 없다. 다만  $\alpha_1$ 의 추정된 값을 참조하여 우리는 다음과 같은 사실을 추론할 수 있을 것이다.

$\alpha_1$ 의 값이 양(+)으로 추정된다면 1차 효과가 2차 효과보다 더 크게 나타나므로 즉, 어획노력투입량을 증가시킬 때 스톡수준의 감소를 통한 어획량의 감소효과보다 어획량의 직접적인 증가효과가 더 크므로  $\alpha_1$ 의 값이 양(+)인 경우 어획수준은 남획상태에 있지 않다고 추론할 수 있다.  $\alpha_1$ 의 값이 음(-)으로 추정된다면 2차 효과가 1차 효과보다 더 크게 나타나므로 즉, 어획노력투입량을 증가시킬 때 직접적으로 나타나는 어획량의 증가량효과보다 스톡수준의 감소를 통한 어획량의 감소효과가 더 크게 나타나므로  $\alpha_1$ 의 값이 음(-)인 경우 어획수준은 남획상태에 있을 것이라고 추론할 수 있다.

$\alpha_1$ 의 값이 0인 경우(즉, 어획노력량에 대한 어획량의 탄력도가 0인 경우)에는 최대지속산출량을 어획하는 수준의 어획노력량을 투입하고 있는 상태로서 생물학적으로 최적의 상태에 있다고 추론할 수 있을 것이다. 이러한 관계는 Fig. 3과 식 (8)을 통해서도 알 수 있다. 즉, Fig. 3과 식 (8)에서 최대 지속가능한 어획량( $Y_m$ )을 생산하는 어획노력량  $a/2$  수준에서 탄력도는 0이 된다는 것을 확인할 수 있을 것이다.

$\alpha_2$ 에 함축된 경제적 의미를 기술하면 다음과 같이 설명할 수 있다.  $\alpha_2$ 는 어로기술수준이 증가할 때 어획량을 증가시키는 1차 효과( $f_3$ )와 증가된 어획량이 수산자원의 스톡수준의 감소를 통해서 궁극적으로 수산자원의 어획량을 감소시키는 2차 효과( $f_2g_2$ )를 전부 고려한 순효과의 크기를 추정한 결과이다.

$\alpha_2$ 의 추정값은 양(+)인지 음(-)인지 사전적으로 정해진 바가 없으므로 어로기술수준이 증가할 때 어획량에 미치는 효과도 사전적으로 정해진 바가 없으므로 어로기술수준이 증가할 때 어획량에 미치는 효과도 사전적으로 알 수 없다.

다만  $\alpha_2$ 의 추정된 값을 참조하여 우리는 다음과 같은 사실을 추론할 수 있을 것이다.  $\alpha_2$ 의 값이 양(+)으로 추정된다면 1차 효과가 2차 효과보다 더 크게 나타나므로 즉, 어로기술수준의 발전에 따른 스톡수준의 감소를 통한 어획량의 감소효과보다 어획량의 직접적인 증가효과가 더 크므로 이 경우 어로기술의 발전이 어획량에 미치는 효과는 양(+)으로 나타나고 있다고 말할 수 있다.

$\alpha_2$ 의 값이 음(-)으로 추정된다면 2차 효과가 1차 효과보다 더 크게 나타나므로 즉, 어로기술수준의 증가에 따라 직접적으로 나타나는 어획량의 증가량보다 스톡수준의 감소를 통한 어획량의 감소효과가 더 크게 나타나므로 이 경우 어로기술의 발전이 어획량에 미치는 효과는 음(-)으

로 나타나고 있다고 추론할 수 있다.

**분석을 위한 통계자료**

식 (14)를 추정하기 위해서 필요한 자료는 통계청의 어업생산정보시스템 및 어선등록현황자료를 사용하였다. 어획량의 경우 1990년~2007년간의 연근해 어획량(양식업과 내수면 제외)을 사용하고 어획노력량에 대한 자료는 선박척수, 총톤수, 마력수를 적용하고, 어로기술을 나타내는 대용변수로는 어선척당 톤수와 어선척당 마력수를 적용하였다.<sup>12)</sup>

전체생산량(독립변수)에 대한 설명변수(척수, 톤수, 마력수, 척당톤수, 척당마력수)에 대한 1차 회귀분석 결과 설명변수간의 다중공선성<sup>13)</sup>이 발생하여 이들 변수를 이용 주성분 분석<sup>14)</sup>을 통해 이를 해결한 후 본 분석을 실시하였다.

**4. 분석결과**

어선어업을 통하여 어획되는 일반해면어업의 수산물을 어류, 갑각류, 패류, 연체동물로 구분하고 다시 이를 합제한 전체수산물로 5개 품종으로 구분하여 분석하였다. 이들 5개 품종 각각에 대하여  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ (즉 (13) 식의  $f_1 + f_2g_1$ 과  $f_2g_2 + f_3$  값에 해당)를 추정하고, 이를 통해 우리나라에서 수산자원에 대한 어획수준에 대한 여부에 대한 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

**전체 수산물**

전체 수산물은 어획기술 및 노력량 증가에 따른 순효과가 모두 음(-)의 값으로 나타나 남획되고 있다고 할 수 있다. 특히 어획기술의 증가에 따른 남획효과가 노력량 증가에 따른 남획효과보다 다소 높은 것을 알 수 있다.

**Table 1. Analyzed effect of main ingredient of explicable variable by factor analysis**

Year	Original Variable					Principal ingredient Variable	
	Effects Variable			Fishery Technical Variable		Effects Variable	Fishery Technical Variable
	Number	Gross Ton	Motor	Ton per Number	Motor per Number		
1990	49,390	435,750	3,517,058	8.82	71.21	-1.89386	-.08313
1991	52,917	451,826	4,146,864	8.54	78.37	-1.62534	-.13136
1992	51,289	446,473	4,757,136	7.71	92.75	-1.17654	-.47847
1993	50,331	445,914	5,220,114	8.86	103.72	-.83715	-.75325
1994	48,794	441,542	5,907,533	9.05	121.07	-.28621	-1.17770
1995	50,072	443,439	6,484,643	8.86	129.51	.00759	-1.27647
1996	48,517	436,466	6,659,891	9.00	137.27	.26652	-1.50809
1997	53,819	436,653	9,949,594	8.11	184.87	1.71384	-1.91518
1998	61,777	435,469	10,088,027	7.05	163.30	.50898	-.36616
1999	65,454	432,253	8,604,102	6.60	131.45	-.70615	.70303
2000	67,265	395,609	9,999,653	5.88	148.66	-.58728	1.23301
2001	66,679	383,929	11,541,313	5.76	173.09	.07149	.96396
2002	66,137	360,030	13,614,671	5.44	205.86	.91328	.72504
2003	65,472	342,937	13,461,733	5.24	205.61	.95132	.77516
2004	65,125	328,713	13,861,269	5.05	212.84	1.15137	.76427
2005	63,679	321,345	10,016,998	5.05	157.30	-.14064	1.26804
2006	62,536	310,435	11,586,194	4.96	185.27	.75824	.75913
2007	61,506	314,859	11,380,793	5.12	185.04	.91053	.49817

※ Reference data : Statistical office(Status of ship registered)

notes : Original variables are materials which arranged only fishery vessel to connecting with vessel fishery.

<sup>12)</sup>김정호, 이광남 (2008) 어획노력이 어획량에 미치는 영향 분석. 수산경영문집 39(1):163-194

<sup>13)</sup>회귀모형의 설명변수들간의 높은 선형관계(최소제곱 추정치 불안정)로 인한 종속변수의 의미가 유의하지 않음

<sup>14)</sup>원 변수들간의 다중공선성 발생시 이들 변수간의 분산-공분산 관계를 이용하여 선형결합의 새로운 변수를 도출하는 다변량기법으로 도출된 새로운 주성분변수들은 서로 독립이므로 다중공선성 문제 해결

Table 2. Estimated effects of adjacent waters fisheries

Classification	Functional formula ※ (: T_value, *(95%trustlevel),**(99%trustlevel)	Regulation $\bar{R}$	Standard calculation
Total	$Y = 1,201,292 - 101,393.7E - 123319.0T$ (91.995)** (-7.274)** (-9.433)**	0.905	E: -0.601 T: -0.780
Fishes	$Y = 810,942 - 71,910.41E - 94,594.007T$ (360.825)** (-27.660)** (-51.507)**	0.997	E: -0.498 T: -0.927
Crustacea	$Y = 92,292 - 5,736.070E - 15,199.745T$ (49.465)** (-3.739)** (7.727)**	0.859	E: -0.460 T: -0.950
Shell Fishes	$Y = 26,485 - 3,986.965E - 7,237.236T$ (51.582)** (-7.316)** (-13.610)**	0.960	E: -0.557 T: -1.036
Mollusca	$Y = 188,780 + 24,094.627E + 31,820.608T^2$ (18.311)** (2.929)** (3.748)**	0.561	E: 0.591 T: 0.757

※Exception Seaweeds and Other Aquatic Animals.

([표준화계수]<sup>15)</sup>: 어획기술>어획노력량)

구체적으로 보면, 첫째, 어획노력 투입량 증가에 따른 1차적 효과(직접적 어획량 증가)보다 스톡(Stock) 수준의 감소에 따른 2차적 효과(간접적 어획량 감소)가 더 크게 나타남에 따라 점차적으로 자원이 남획되고 있다고 할 수 있다. 둘째, 어획노력량과 더불어 어획기술 발달에 따라 어획량을 증가시키는 1차효과(직접효과)보다 기술개발에 따른 어획자원 감소에 의한 어획량 감소효과인 2차 효과(간접효과)가 높게 나타남에 따라 점차적으로 자원의 고갈이 더욱 심화되고 있다고 할 수 있다(어획노력량 증가에 따른 남획보다 한계 영향력이 다소 높음).

**어류, 패류, 갑각류**

어류 및 패류, 갑각류는 어획기술 및 노력량 증가에 따른 순효과가 모두 음(-)의 값으로 나타나 어류자원이 남획되고 있다고 할 수 있다. 특히 어획기술의 증가에 따른 남획효과가 노력량 증가에 따른 남획효과 보다 상대적으로 약 2배 정도 높음을 알 수 있다([표준화계수]: 어획기술>어획노력량).

**연체동물**

다른 품종과 달리 연체동물은 어획기술 및 노력량 증가에 따른 순효과가 모두 양(+)의 값으로 나타 아직 남획되고 있지는 않다고 할 수 있다. 어획량에 대한 두 설명변수간의 상대적 한계설명력은 기술변수가 다소 높게 나타나고 있다고 할 수 있다([표준화계수]: 어획기술>어획노력량).

**5. 결론 및 정책적 함의**

분석 결과, 우리나라의 경우 연체동물을 제외한 전 품종(어류, 갑각류, 패류)이 남획수준에 있다고 결론을 내릴 수 있다. 특히, 어획노력량의 증가에 따른 남획효과보다 어획기술의 발전에 따른 남획이 더욱 심각한 것으로 추정되었다(노력량변수의 표준화계수의 절대값보다 어로기술의 표준화계수의 절대값이 높음).

이상의 결과에 근거하여 수산자원관리에 대하여 몇 가지의 함축적 의미를 제시하면 다음과 같다.

첫째, 수산자원 관리를 위해 현재 주로 행하고 있는 어선감척 위주의 투입량 관리(Input-control system)시 어획기술의 수준을 고려하여야 한다는 것이다(어획노력량보다 어획기술 발전에 따른 남획이 더욱 심각하게 나타나고 있음).

둘째, 현재의 어획노력수준과 투입되는 노력량으로 지속적으로 어획할 경우, 연안의 물고기 자원은 남획에 따른 고갈의 위기에 직면할 수 있음을 반증한다고 할 수 있다. 따라서, 향후 더 이상 잡는 어업만으로는 우리의 수산업에 대한 미래는 매우 어둡다고 할 수 있으며, 그 해결의 일환을 현재 추진되고 있는 바다목장화, 양식업의 현대화, 자율관리어업 등 자율적 자원관리 및 증식을 위한 정책의 확대 및 강화를 위한 정책을 추진하여야 한다.

셋째, 현행의 어업형태를 감안할 경우, 어업관리 방식의 전환(어획기술 수준을 고려한 어업관리 시스템 구축) 및 기르는 어업 등의 확대 등의 실효성 증진을 위해 다양한

<sup>15)</sup>표준화계수란 설명변수들을 표준화 한 후 구한 회귀계수로서 측정단위가 다른 설명변수간의 설명력 비교시에 사용된다. 즉, 종속변수와 설명변수를  $Y_i^* = (Y_i - \bar{Y})/S_Y$ ,  $X_{ki}^* = (X_{ki} - \bar{X}_k)/S_{X_k}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $k = 1, 2, \dots, p$ )로 표준화한 후의 OLS회귀모형의 설명변수 계수가 표준화 회귀계수가 된다.  $Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1^* + \beta_2 X_2^* + \dots + \beta_p X_p^* + \epsilon_i$  표준화 회귀계수  $\beta_k$ 는 편미분 계수( $d_{Y^*}/d_{X_k^*}$ )에 해당하므로 다른 설명변수들의 값이 주어졌을 때 종속변수  $Y$ 에 대한 설명변수  $X_k$ 의 한계 영향력(설명력)으로 해석된다.



대어업 홍보 및 교육 프로그램을 개발함으로써 정책의 실효성 증진방안 모색이 필요할 것이다.

들과 논문게재과정에서 도움을 주신 편집위원회에 감사드린다.

## 사 사

본 연구의 완성도를 위해 귀중한 의견을 주신 심사위원

---

*Received Feb. 9, 2009*

*Revised Mar. 5, 2009*

*Accepted Apr. 9, 2009*