

한국 연근해 멸치자원량 추정

— Maximum Entropy기법의 응용 —

김기철* · 권오상**

〈차 례〉

- | | |
|----------------------|---------------|
| I. 서론 | III. 멸치자원량 추정 |
| II. 최대 엔트로피기법의 기본 개념 | IV. 요약 및 결론 |

I. 서론

인류가 지구상에 출현한 이래로 수산물은 인류의 먹거리 제공이라는 측면에서 농산물과 함께 매우 중요한 역할을 해 왔다. 또한, 전세계적으로 농지가 감소하고 있는 현재 상황에서 식량자원으로서의 수산물의 중요성은 나날이 증가하고 있는 것이 사실이다. 하지만 현재 인류는 수산물의 남획과 이에 따른 수산자원의 고갈이라는 위기에 직면해 있다.

* 서울대학교 농경제사회학부 박사과정.

** 서울대학교 농경제사회학부 조교수.

이는 첫째, 인구 및 소득 증가에 따른 식량 수요의 증가로 수산물의 수요가 증가했고, 둘째, 과학기술의 진보에 따른 각종 어획기술의 획기적 발달이 어획량의 남획을 뒷받침했으며, 셋째, 수산자원은 소유권적 특성상 개방자원(open-access resources)이나 공유자원(communs)의 성질을 지니기 때문에 개인에 의한 자유로운 자원채취는 자원의 남용을 필연적으로 가져오기 때문(Gordon 1954; Clark and Munro, 1975)인 것으로 판단된다.

이러한 수산자원의 고갈이라는 위기에 직면한 세계 각국은, 다가오는 21세기에 수산자원의 중요성이 더욱 부각될 것이라고 전망하여, 각종 수산자원의 보호 및 관리 정책을 수립하고 있으며, 관련 국제협약 체결도 증가하고 있는 상태이다.

우리 나라도 수산관련 주무 부서인 수산청이 1996년 해양수산부로 독립 승격한 사실에 비추어 알 수 있듯이 수산자원에 대한 관심이 증가하고 있는 것이 사실이다. 이에 따라 우리 나라 수산자원의 관리, 보전 그리고 수산물의 남획방지, 적정 생산 등과 관련한 정책 수립과 대어민 홍보, 각종 국제협약에 따른 손익분석 등 많은 부분에서 수산자원에 대한 경제학적 분석이 요구되고 있다.

위와 같은 요구에 부응하기 위해서는 수산자원량(stock, biomass), 성장함수(growth function)의 형태, 최대지속가능 어획량(maximum sustainable yield: MSY), 최대지속가능 자원량(maximum sustainable stock: MSS) 등에 대한 기본적인 분석이 선행되어야 함은 주지의 사실이다. 하지만 수산자원이 비교적 복잡한 성장함수를 가지는 재생가능자원(renewable resource)의 특성을 지니고 있고, 이동성이 강하며, 기후, 수온 등의 환경 변화에 민감하기 때문에 물리적인 방법에 의한 자원량 측정은 매우 어렵다.

수산자원량을 파악하기 위해서 전통적으로 사용되고 있는 방법은 주로 자연 과학적 지식에 의존하는 방법이다. 이 경우 어선 1척당 어획량의 변화와 표본채취 결과 얻어지는 어족의 연령구성도 변화 등을 감안하여 수산자원량을 예측한다. 그러나 이러한 방법이 연구자들이 이용가능한 정보를 최대한 합리적으로 이용하는 방법인지 검증되지 않았고, 또한 이 경우 자원량은 파악할 수 있어도 자

원의 변화 형태와 적정 채취량을 파악하는 데는 한계가 따를 수밖에 없다.

이상과 같은 문제에 착안하여 경제학자들은 자기 나름의 수산자원량 추정 및 자원량 변화모형에 대한 분석작업을 행하였다. 이들의 분석은 크게 정상상태(steady state)를 가정한 상태에서의 최소자승법에 의한 방법, 칼만필터 최우추정법(Kalman filter maximum likelihood approach), 그리고 최대 엔트로피(maximum entropy)기법의 세 가지 형태로 나뉜다.

첫째, 최소자승법에 의한 방법은 수산자원량이 이미 정상상태에 이르고 있어 연도별 어획량과 수산자원의 자연성장량이 같다는 가정에서 출발한다. 이를 통해 단위노력당 어획량(catch per unit effort : CPUE)을 어획노력량의 선형함수로 설정하고, 어획능력계수(catchability coefficient)를 추정함으로써 최대지속가능 어획량 등의 자원분석을 행한다.¹⁾

하지만 이 방법이 가정하고 있는 바와 같이 자원량이 정상상태에 이르렀다고 전제할 근거는 없으며, 정상상태를 가정함으로써 자원량의 동태적 변화 형태에 대한 정보를 잃어버리게 되는 문제가 발생한다. 아울러 이 방법은 현재의 자원채취량이 적절한지의 여부는 판단할 수 있게 하지만, 연도별 자원량에 대한 추정이 불가능하여 분석에 한계를 보이고 있다. 옥영수(1988)는 이 방법을 응용하여 한국 연근해 멸치자원의 최대지속가능 어획량은 19만 7,000톤, 최대지속가능 자원량은 262만 6,000톤, 그리고 연도별 고유성장률(intrinsic growth rate)²⁾은 0.15로 추정하였다.

둘째, 칼만필터 최우추정법은 자원량을 그 이전 시점의 자원량과 어획량의 함수 형태로 결정된다고 보고, 이러한 시점간 자원의 동태적 변화 형태를 확률변수를 포함하는 칼만필터(Kalman filter)를 이용하여 모형화한다. 이어서 실제로 관측된 어획량이 나타날 확률을 이용하여 우도함수를 만들고, 이 우도함수를 최대화하는 추정모수를 구하여 자원량과 자원의 성장함수 등을 추정한다.

1) 이러한 분석으로는 Bell (1972)과 Fox (1975)의 연구를 들 수 있다. 국내 연구로는 박성쾌·옥영수(1986)와 옥영수(1998)의 연구가 있다.

2) 고유성장률은 최초의 생물자원 한 단위가 한 기간이 지나면서 성장하는 율을 나타낸다.

이 방법은 매우 유용한 방법으로서 Berck and Johns (1991)와 같은 실제 적용 예가 나오고 있다. 그러나 이 방법은 우도함수를 모수에 의한 미분으로서 표현할 수 없기 때문에 우도함수의 오목성이나 그에 따른 해가 수렴한다는 보장을 할 수가 없고, 자원의 성장함수가 선형이라는 강한 가정을 하여야 한다. 생물자원이어서 수산자원은 통상적으로 비선형의 성장함수를 가지기 때문에 선형 칼만필터를 이용한 분석은 한계를 가질 수밖에 없다. 물론 비선형 성장함수를 추정하기 위해서는 확장된 칼만필터(extended Kalman filter)를 사용할 수 있으나, 이 경우 추정작업이 매우 복잡해지는 문제가 발생한다.

Berck and Johns (1991)는 칼만필터 최우추정법을 응용하여 태평양 연안의 넙치에 대한 분석을 하였다. 자원량에 대한 방정식, 어획량에 대한 방정식, 어획 노력량에 대한 방정식, 그리고 넙치의 가격에 대한 방정식 등 4개의 방정식을 이용한 분석을 통해 넙치의 연도별 자원량, 최대지속가능 어획량 등을 추정하였다. 이들은 자신들의 추정 결과와 자연과학적 방법을 이용하여 매년 추정한 결과를 비교하여 보여 주는데, 두 경우에 구체적인 자원량에 대한 예측치는 다르나, 자원량의 변동 형태는 매우 유사함을 보여 준 바 있다.

마지막 방법인 최대 엔트로피기법은 이상의 두 가지 방법이 가지는 한계를 극복하기 위해 Golan *et al.* (1996a, 1996b)에 의해 고안된 방법이다. 최대 엔트로피기법은 매우 제한된 정보를 가지고도 연구자가 원하는 정보를 도출하기 위해 고안된 방법으로서, 매우 빈약한 자료나 정보를 가지고도 일반적인 계량경제학적 분석기법이 행하는 대부분의 분석들을 행할 수 있음이 최근 많은 연구에 의해 보여지고 있다. 이 방법은 특히 Golan *et al.* (1996a, 1996b)에 의해 보여진 바와 같이 생물자원량의 추정에 사용될 경우 어획고와 어획노력에 관한 정보만을 가지고도 자원량의 추정이 가능하며, 아울러 수산자원의 생물학적 특성을 잘 반영하는 비선형 성장함수도 비교적 쉽게 추정할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 이들의 연구는 분석방법만을 제시할 뿐 실제 자료를 이용한 분석과정이나 분석 결과는 제시하고 있지 않다.

본 연구는 이상과 같은 장점을 가지는 최대 엔트로피기법을 실제로 적용하여

수산자원량을 추정하는 것을 목적으로 하되, 수산자원 가운데서도 한국의 연근해 멸치자원량을 분석한다. 멸치가 분석대상으로 선택된 이유는 한국의 수산물 소비에서 차지하는 비중이 매우 크고, 또한 멸치의 경우 거의 전부가 연근해에서 잡히기 때문에 자원의 공간적 부존범위를 비교적 명확히 한정할 수 있기 때문이다.

본 연구는 보다 구체적으로 최대 엔트로피기법을 응용하여 멸치의 연도별 자원량 변화를 도출하고, 이를 통해 최대지속가능 어획량, 최대지속가능 자원량 등을 도출하여 수산자원관리를 위한 기초자료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 제Ⅱ장에서는 최대 엔트로피기법의 기본 개념을 예시를 통해 설명하고, 제Ⅲ장에서는 멸치자원량의 추정모형과 추정 결과를 설명한다. 마지막으로 제Ⅳ장에서는 결과를 요약하고 결론을 도출한다.

Ⅱ. 최대 엔트로피기법의 기본 개념

‘엔트로피’(entropy)라는 용어는 자연과학인 물리학에서 인문과학인 철학까지 다양한 연구분야에서 사용되고 있는 용어로서 그 의미 역시 다양하다. 통계적인 분석과 관련하여 ‘엔트로피’는 무질서도 혹은 불확실성을 의미하는 것으로 해석되고 있다(Shannon, 1948). 따라서, ‘최대 엔트로피’를 그대로 번역하면 ‘무질서도의 극대화’라고 할 수 있다. 즉, 어떠한 사건(events)의 모수(확률분포)를 추정할 때, 주어진 조건(연구자가 알고 있는 모든 정보)을 만족하며, 그 분포의 무질서도 혹은 불확실성을 극대화할 수 있는 값을 추정해 냄으로써 관찰되는 현상으로부터 최대한의 정보를 얻어 내는 것이다.

아주 간단한 예로서 주사위의 확률분포를 추정하는 문제를 생각해 보자. 주사위에서 나올 수 있는 값은 $x = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ’으로 주어져 있으며, 각각의 확률을 $\{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$ ’라 하자. 주사위가 고르게 만들어져 있

다면, 고전적 확률개념(classical view of probability)에 의해 각 값이 나올 확률은 1/6로 동일하다. 이러한 확률분포에 대한 추론이 최대 엔트로피기법에 의해서도 도출된다는 것을 간단히 예시하고자 한다.

주사위의 확률분포를 구하는 문제의 불확실성을 정의하는 수단인 엔트로피로서 Shannon (1948)은 다음을 정의한다.

$$H(p) \equiv - \sum_{k=1}^6 p_k \ln p_k \quad (1)$$

단, $0 \cdot \ln 0 = 0$

최대 엔트로피기법은 식 (1)의 엔트로피를 $\sum_{k=1}^6 p_k = 1 (p_k \geq 0)$ 이라는 제약 조건하에서 최대화하며, 그 해는 당연히 $p_1 = p_2 = \dots = p_6 = 1/6$ 로 계산되어 고전적 확률개념상의 확률분포와 동일한 결과가 도출된다.

또 다른 예로서, 어떤 경로를 통해 이 주사위의 평균값이 y 로 알려져 있다고 하자. 이 경우 최대 엔트로피기법은 이러한 추가 정보를 반영하여 다음과 같은 비선형계획문제를 풀어 주사위의 분포를 구한다.

$$\begin{aligned} \max \quad & {}_p H(p) \equiv - \sum_{k=1}^6 p_k \ln p_k \quad (2) \\ & \text{단, } 0 \cdot \ln 0 = 0 \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k=1}^6 p_k = 1 \\ & \sum_{k=1}^6 p_k x_k = y \end{aligned}$$

이 경우에 있어서도 y 의 값이 3.5로서 정확하게 만들어진 주사위의 평균값과 동일한 것으로 알려져 있다면 각 확률은 최대 엔트로피기법에 의해 1/6로 계산된다. 어떤 이유로 인해 y 의 값이 2.0이라면, 최대 엔트로피기법에 의해 각 확률은 (0.478, 0.255, 0.136, 0.072, 0.038, 0.021)로 도출된다.

이상과 같이 최대 엔트로피기법은 식 (1)과 같이 정의되는 엔트로피를 연구자가 가지고 있는 정보하에서 최대화하는 과정을 통해 주어진 정보하에서 미지의 변수에 대한 최적의 예측치를 찾아 내는 방법이라 할 수 있다.

한편, 최대 엔트로피기법은 자료가 매우 제한되어 통상적인 통계적 추론방법을 사용해서는 확률분포등을 도출할 수 없는 경우에도 유용하게 사용될 수 있다. 이를 확인하기 위해 식 (2)의 제약조건들을 다음과 같이 일반화해 보자.

$$y = Xp \quad (3)$$

단, y = 주사위 평균값처럼 관찰가능한 정보를 나타내는
 T 차원의 벡터

X = 값이 알려진 ($T \times K$)행렬, 일종의 선형 작용소
(linear operator)

만약 이상과 같은 문제에 있어 $K > T$ 가 되어 행렬 X 가 역행렬을 가지지 않는다면 통상적인 추론방법으로는 위의 문제를 풀어 확률분포 $p = (p_1, p_2, \dots, p_K)'$ 를 추정할 수가 없다. 그러나 Shannon (1948)에 의해 제시된 최대 엔트로피기법을 사용하여 식 (1)의 엔트로피를 식 (3)의 제약조건하에서 풀 경우 이런 경우에 있어서도 주어진 정보를 최대한 이용하여 원하는 추정 결과를 얻을 수 있으며, 이렇게 부적절한 문제(ill-posed problem)에까지도 적용될 수 있다는 것이 최대 엔트로피기법이 가지는 큰 장점이라 할 수 있다.³⁾

즉, 식 (3)과 같은 제약조건을 가지는 문제를 최대 엔트로피문제로 전환하면 다음과 같은 비선형계획모형이 된다.

3) 한 예로 Paris and Howitt (1998)은 최대 엔트로피기법을 이용할 경우 극단적으로 한 농가만의 자료를 가지고도 초월대수함수(translog function)와 같은 신축적인 농업비용함수나 생산함수를 추정할 수 있음을 보여 주었다. 물론 최대 엔트로피기법은 통상적인 계량분석과는 달리 추정모수의 확률분포를 구할 수 없고 그 신뢰도를 검정할 수 없다는 단점도 가지고 있다. 최대 엔트로피기법은 통상적인 추정방법으로는 추정치 자체를 구할 수가 없는 경우에도 적용될 수 있다는 점이 가장 큰 특징이라 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \max \quad & H(p) = - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k & (4) \\
 \text{s.t.} \quad & y_t = \sum_{k=1}^K X_{tk} p_k, \quad t = 1, 2, \dots, T \\
 & \sum_{k=1}^K p_k = 1
 \end{aligned}$$

위 문제의 극대화 1계조건을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 L = & - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k + \sum_{t=1}^T \lambda_t (y_t - \sum_{k=1}^K X_{tk} p_k) \\
 & + \mu (1 - \sum_{k=1}^K p_k) & (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \partial L / \partial p_k = & - \ln \hat{p}_k - 1 - \sum_{t=1}^T \lambda_t X_{tk} - \hat{\mu} = 0 \\
 & k = 1, 2, \dots, K & (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \partial L / \partial \lambda_t = & y_t - \sum_{k=1}^K X_{tk} \hat{p}_k = 0 \\
 & t = 1, 2, \dots, T & (7)
 \end{aligned}$$

$$\partial L / \partial \mu = 1 - \sum_{k=1}^K \hat{p}_k = 0 & (8)$$

식 (5)~(8)에서는 K 와 T 의 크기와 상관없이 방정식의 갯수와 미지수의 갯수가 모두 $(K + T + 1)$ 개이므로 해를 구할 수가 있고, 식 (9)와 같이 p_k 를 추정할 수 있다. 식 (9)에서 $\Omega(\hat{\lambda})$ 는 상대적 확률을 절대적 확률로 전환시켜주는 일종의 정규화 요소(normalization factor)이다.

$$\begin{aligned}
 \hat{p}_k = & \exp(- \sum_{t=1}^T \lambda_t X_{tk}) / \Omega(\hat{\lambda}) & (9) \\
 & k = 1, 2, \dots, K \\
 \text{단, } \Omega(\hat{\lambda}) = & \sum_{k=1}^K \exp(- \sum_{t=1}^T \hat{\lambda}_t X_{tk})
 \end{aligned}$$

이상의 최대 엔트로피문제의 헤시안은 $p_k > 0$ 에 대해 음정(negative definite)행렬이기 때문에 유일한 극대가 존재할 충분조건이 충족된다(Golan *et al.*, 1996a).

Ⅲ. 멸치자원량 추정

1. 추정모형의 설정

본 연구의 대상이 되는 멸치는 1997년 현재 어업총생산액(생산량)의 5% (7.1%), 일반해면 어업생산액(생산량)의 9.7%(16.9%)를 점유하고 있어 오징어, 고등어(각각 어업총생산량의 6.9%, 4.9% 점유)와 함께 우리 나라를 대표할 수 있는 주요 수산자원 중의 하나이다. 우리 나라의 멸치는 기선권현망, 근해유자망, 연안유자망, 소형정치망의 네 가지 어선에 의해 주로 잡히고 있다.

최대 엔트로피기법을 사용할 경우에도 수산자원량은 이전 시점의 자원량과 어획노력 혹은 어선세력의 함수로 결정된다. 따라서, 본 연구는 다음과 같은 두 가지 모형을 설정하여 자원변동량을 추정한다.

모형 1

$$y_t = A E_{1t}^{\alpha_1} E_{2t}^{\alpha_2} E_{3t}^{\alpha_3} E_{4t}^{\alpha_4} X_t^\beta \exp(\epsilon_t) \quad (10)$$

$$X_{t+1} = \left[X_t + rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K} \right) - y_t \right] \exp(\mu_t)$$

모형 2

$$y_t = (A_1 E_{1t}^{\alpha_1} + A_2 E_{2t}^{\alpha_2} + A_3 E_{3t}^{\alpha_3} + A_4 E_{4t}^{\alpha_4}) X_t^\beta \exp(\epsilon_t) \quad (11)$$

$$X_{t+1} = \left[X_t + rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K} \right) - y_t \right] \exp(\mu_t)$$

- 단, E_{it} = 각 연도에 있어 실질어선세력
 y_t = 각 연도의 어획고
 X_t = 각 연도의 자원량
 ε_t, μ_t = 오차항
 $i = 1$ (기선권현망), 2 (근해유자망), 3 (연안유자망),
 4 (소형정치망)

앞의 두 모형에서 관측되는 변수는 y_t 와 E_{it} 이고, 모형내에서 내생적으로 도출되어야 할 추정모수는 $A, A_i, \alpha_i, \beta, r, X_t, K, \varepsilon_t, \mu_t$ 등의 확률 분포이다. 따라서, 두 모형 (10)과 (11) 역시 관측되는 변수의 수보다는 훨씬 많은 추정모수를 포함하고 있어 일종의 부적절한 문제에 해당되고, 따라서 최대 엔트로피기법이 아닌 통상적인 추정방법을 통해서도 추정모수를 구할 수가 없다.

식 (10)과 (11)은 생산함수의 형태만 서로 다를 뿐 자원량의 성장함수는 동일하게 로지스틱(logistic)함수인 $X_{t+1} - X_t = rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$ 를 변형하여 어획량이 자원 성장량에 미치는 영향을 포함하도록 하고 있다. 로지스틱 성장함수는 생물자원의 성장함수로 광범위하게 쓰이는 함수로서, 자원의 성장률은 자원 채취행위가 없을 경우 현재의 자원량수준에 의해 영향을 받고 있음을 나타내고 있다.

모형 1, 즉 식 (10)의 어로생산함수는 어선세력에 대해 일종의 Cobb-Douglas 형태를 띠고 있다. 따라서, 각 α_i 는 E_i 가 1% 증가할 때 늘어난 어획량의 증가율(%)을 표시하는 일종의 탄성치 역할을 한다고 볼 수 있다. 또한 β 는 자원량의 증가분에 대한 어획량의 증가분을 나타내는 탄성치로 해석할 수 있다.

모형 2, 즉 식 (11)의 생산함수 형태는 각 어업 종류별 생산함수를 Cobb-Douglas 형태로 설정하고 그것의 합으로서 전체 생산함수를 설정한 것이다. 멸치의 총생산량은 각 조업방식에 의한 생산량의 합으로 구성되므로, 식 (11)이 식 (10)의 형태보다 현실을 보다 잘 반영한다고 할 수 있다.

A 와 A_i 는 생산함수상의 상수항을, y_t 는 각 연도의 멸치 총어획량을, E_{1t} , E_{2t} , E_{3t} , E_{4t} 는 각각 각 연도의 기선권현망, 근해유자망, 연안유자망, 소형정 치망의 실질어선세력⁴⁾을 의미한다.

그리고 X_t 는 주된 추정대상인 멸치의 자원량(t 년도 초의 자원량)을 표시한다. 또한, r 은 고유성장률이고, K 는 최대생존가능 자원량(natural carrying capacity)으로서 우리 나라 연근해가 수용할 수 있는 최대 멸치량이 된다. 또한 $rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$ 는 어획행위가 존재하지 않을 때의 멸치의 자연증가량을 의미한다.⁵⁾

본 연구의 분석에 필요한 통계자료로서 1977~1997년 수산관련 통계(「수산 통계연보」, 「농림수산통계연보」, 「해양수산통계연보」)의 연도별 자료를 이용하였다. 어획노력을 나타내는 어선세력으로는 기선권현망, 근해유자망, 연안유자망, 소형정치망어업의 실질어선세력(마력)을 이용하였고, 어획량은 멸치의 연도별 총생산량(톤)을 의미한다.⁶⁾

식 (10)과 식 (11)은 본 연구의 제II장에서 설명하였던 주사위의 확률분포를 구하는 모형과는 달리 제약조건에 오차항 ε 과 μ 를 포함하고 있다. 이들 오차항은 y 와 E_i , X 간의 관계 가운데 연도별로 동일한 형태를 유지하는 자원량의 성장함수와 생산함수가 반영할 수 없는 부분을 나타낸다.⁷⁾ 이러한 오차항을 포함하는 최대 엔트로피모형을 분석할 경우 통상적으로 모형내에서 구하고

4) 각 어선들은 멸치의 기타 어종들도 어획을 하므로 어선세력을 멸치잡이 용도로만 전환할 필요가 있다. 예를 들어, 유자망의 경우 실질어선세력 = 근해유자망어선세력 × 근해유자망멸치어획량 / 근해유자망총어획량과 같이 실질어선세력이 계산된다.

5) 수온, 기후 등의 환경적인 변수는 모형의 교란항에 포함된 것으로 처리하였다. 고유성장률은 1단위의 자원량이 1기간 동안 늘어나는 성장률을 의미한다. 즉, 해당 자원이 없는 상태에서 1단위의 자원이 투입되었다면 1단위의 시간 동안 자연적으로 증가할 수 있는 자원량을 의미한다고 할 수 있다. 그 값은 일반적으로 [0, 1]의 범위를 크게 벗어나지 않는 것으로 알려져 있다.

6) 각 통계량에 대해서는 <부표 1>을 참조하기 바란다.

7) 통상적인 최소사승법이나 최우추정법과는 달리 식 (10)과 식 (11)의 우변의 X 값 자체가 관측이 되지 않으므로 이들 함수의 추정시 오차항의 값도 내생적으로 구해져야 한다.

자 하는 추정모수가 가질 수 있는 범위를 부여하고, 이를 이용하여 추정모수를 변환하여 최대 엔트로피모형을 구축한다(Golan *et al.*, 1996a). 이를 위해 먼저 생산함수의 역할을 하고 있는 식에서 A, A_i, α_i, β 는 $[0, 1]$ 의 범위를 가진다고 가정하고, 이 범위내에서 이들 모수를 3등분하여 다음과 같이 변환하였다.⁸⁾

$$A = p_1^A \cdot 0 + p_2^A \cdot 0.5 + p_3^A \cdot 1 \quad (12)$$

$$A_i = p_1^{A_i} \cdot 0 + p_2^{A_i} \cdot 0.5 + p_3^{A_i} \cdot 1 \quad (13)$$

$i = 1, 2, 3, 4$

$$\alpha_i = p_1^{\alpha_i} \cdot 0 + p_2^{\alpha_i} \cdot 0.5 + p_3^{\alpha_i} \cdot 1 \quad (14)$$

$i = 1, 2, 3, 4$

$$\beta = p_1^\beta \cdot 0 + p_2^\beta \cdot 0.5 + p_3^\beta \cdot 1 \quad (15)$$

식 (12)~(15)에서 A, A_i, α_i, β 를 위와 같이 변환할 경우 모형내에서 추정되는 모수는 A, A_i, α_i, β 가 아니라 p_k^j 들이 되고, 이 때 p_k^j 들은 각각 A, A_i, α_i, β 의 값이 0, 0.5, 1을 가질 확률을 나타낸다.

고유성장률의 값은 보통 1을 크게 넘지 않는 것으로 알려져 있다. 따라서, $[0, 2]$ 의 범위로 설정하였다(식 (16)). 최대생존가능 자원량 K 는 옥영수(1998)의 결과를 근거로 그 범위를 $[0, 5,000,000]$ 로 설정하였으나, 분석 결과 매우 높은 수치에 대해서는 0의 확률이 부여될 경우 그 범위를 줄여 주는 과정을 밟았고, 그 결과 최종적으로 $[0, 2,000,000]$ 으로 범위가 줄어들었다(식 (17)).

8) A 는 어획노력량과 자원량이 1일 때의 어획량을 의미하므로 1보다 클 수가 없다. A_i 역시 같은 역할을 하고 있다. 또한 생산함수를 Cobb-Douglas로 설정하였으므로 α_i 와 β 의 값 역시 0과 1 사이에 분포한다고 가정하였다. 이들 모수의 범위를 보다 세분하여 추정할 수도 있을 것이나, 이 경우 비선형계획모형의 내생변수의 숫자가 너무 많아질 수가 있다. 모수의 범위를 3등분하는 방식은 기존 연구에서 일반적으로 채택되고 있는 방법이다.

$$r = p_1^r \cdot 0 + p_2^r \cdot 1 + p_3^r \cdot 2 \quad (16)$$

$$K = p_1^K \cdot 0 + p_2^K \cdot 1,000,000 + p_3^K \cdot 2,000,000 \quad (17)$$

r 과 K 의 범위, 그리고 관찰되는 연도별 어획량을 고려할 때, 매 연도의 자원량 X_t 의 범위는 $[0, 1,000,000]$ 로 설정하는 것이 바람직하다. 또한, 오차항 ε_t, μ_t 는 $[-0.3, 0.3]$ 의 범위에 있음을 가정하였고,⁹⁾ 이에 따라 이들 변수들은 다음과 같이 변환된다.

$$X_t = p_1^X \cdot 0 + p_2^X \cdot 500,000 + p_3^X \cdot 1,000,000 \quad (18)$$

$$t = 1977, 1978, \dots, 1996$$

$$\varepsilon_t = p_1^\varepsilon \cdot (-0.3) + p_2^\varepsilon \cdot 0 + p_3^\varepsilon \cdot 0.3 \quad (19)$$

$$t = 1977, 1978, \dots, 1996$$

$$\mu_t = p_1^\mu \cdot (-0.3) + p_2^\mu \cdot 0 + p_3^\mu \cdot 0.3 \quad (20)$$

$$t = 1977, 1978, \dots, 1995$$

아울러 식 (10)과 (11)을 추정의 편리성을 위하여 다음과 같이 로그변환하였다.

$$\ln y_t = \ln A + \alpha_1 \ln E_{1t} + \alpha_2 \ln E_{2t} \quad (21)$$

$$+ \alpha_3 \ln E_{3t} + \alpha_4 \ln E_{4t} + \beta \ln X_t + \varepsilon_t$$

$$\ln X_{t+1} = \ln X_t + \ln S_t + \mu_t$$

단, $S_t = 1 + r - \frac{r}{K} X_t - \frac{y_t}{X_t}$

$$\ln y_t = \ln [A_1 E_{1t}^{\alpha_1} + A_2 E_{2t}^{\alpha_2}] \quad (22)$$

9) ε_t, μ_t 의 범위를 어떻게 설정하느냐에 따라 추정 결과가 달라지기는 하나, 그 차이는 매우 미미한 것으로 나타났다.

$$+ A_3 E_{3t}^{\alpha_3} + A_4 E_{4t}^{\alpha_4}] + \beta \ln X_t + \varepsilon_t$$

$$\ln X_{t+1} = \ln X_t + \ln S_t + \mu_t$$

단, $S_t = 1 + r - \frac{r}{K} X_t - \frac{y_t}{X_t}$

따라서, 최종적인 최대 엔트로피문제는 식 (12)~(22)의 제약식과 다음의 확률조건을 포함하여 식 (23)의 목적함수를 극대화하는 비선형계획법모형이 된다.¹⁰⁾

$$\sum_{i=1}^3 p_i^j = 1, \quad j = A, A_i, \alpha_i, \beta, r, K$$

$$\sum_{i=1}^3 p_{ii}^X = 1, \quad t = 1977, 1978, \dots, 1996$$

$$\sum_{i=1}^3 p_{ii}^\varepsilon = 1, \quad t = 1977, 1978, \dots, 1996$$

$$\sum_{i=1}^3 p_{ii}^\mu = 1, \quad t = 1977, 1978, \dots, 1995$$

$$\max \left[- \sum_j \sum_i p_i^j \ln p_i^j - \sum_k \sum_t \sum_i p_{ii}^k \ln p_{ii}^k \right] \quad (23)$$

$j = A, A_i, \alpha_i, \beta, r, K$
 $k = X, \varepsilon, \mu$

2. 추정 결과 : 모형 1

모형 1의 최대 엔트로피문제를 푼 결과 <표 1>과 같은 추정 결과를 얻었다.¹¹⁾

10) 본 연구는 비선형계획법모형을 GAMS를 이용해 풀었다.

11) 위의 비선형계획법모형으로부터 각 추정모수의 통계적 신뢰도가 바로 도출되지는 않는다. 이를 얻기 위해서는 bootstrapping방법등을 사용하여야 할 것이다.

한국 연근해 멸치자원량 추정

〈표 1〉 추정모수 : 모형 1

추정모수	추정치	추정모수	추정치
A	0.4337	a_4	0.0700
a_1	0.0443	β	0.8505
a_2	0.0433	r	0.6234
a_3	0.0192	K	1,177,800

〈표 1〉의 결과를 이용하여 추정방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$y_t = 0.4337 E_{1t}^{0.0443} E_{2t}^{0.0433} E_{3t}^{0.0192} E_{4t}^{0.0700} X_t^{0.8505} \quad (24)$$

$$X_{t+1} - X_t = 0.6234 X_t \left(1 - \frac{X_t}{1,177,800} \right) - y_t \quad (25)$$

식 (24)를 보면 멸치의 생산함수에 있어 자원량의 탄력성이 가장 커 어획량은 어선세력보다는 연도별 자원량 X_t 의 변화에 의해 가장 큰 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 또한 어선세력 중에서는 소형정치망어업의 탄력성이 가장 크게 나타났다. 멸치 어획량의 가장 큰 부분은 기선권현망어업에 의해 생산되고 있으나, 최근 정치망어업의 어획량이 크게 증가하고 있고, 어선세력 대비 어획량의 비율이 1996년 현재 소형정치망, 기선권현망, 근해유자망, 연안유자망의 순으로 나타나고 있기 때문에 이런 결과가 나타난 것으로 보인다.

이상의 추정 결과에 기초하여 각 연도의 멸치자원량을 예측하면, 〈표 2〉와 같다.

먼저, 모형의 적합성을 확인하기 위해 실제 어획량과 추정된 자원량 및 성장함수로부터 도출된 추정 어획량과의 격차를 보면, 최저 0.02%에서 최고 14%까지의 격차를 보이고 있다. 이 격차가 어느 정도인지를 확인하기 위해 이를 ε_t 로 환산한 뒤 그 평균과 분산을 구하고, ε_t 가 정규분포를 따른다는 가정하에서 그 평균이 0이라는 가설을 검정하기 위해 t 값을 구한 결과 검정통계량으로 0.061을 얻을 수 있었다. 따라서, ε_t 의 평균이 0이라는 가설은 매우 높은 유의

〈표 2〉 추정 멸치자원량 : 모형 1

연도	추정 자원량(톤)	자연 성장량(톤)	실제 어획량(톤)	추정 어획량(톤)	어획량 추정오차(%) ¹⁾
1977	486,150	175,117	140,842	151,480	7.55
1978	551,650	179,893	183,211	168,179	-8.20
1979	540,150	179,378	171,539	162,373	-5.34
1980	517,500	177,961	169,657	171,260	0.95
1981	501,350	176,624	184,351	176,906	-4.04
1982	458,700	171,787	162,256	152,907	-5.76
1983	420,700	165,882	131,859	147,676	12.00
1984	447,400	170,188	155,124	155,100	-0.02
1985	453,400	171,054	143,512	155,143	8.10
1986	501,250	176,615	201,642	173,639	-13.89
1987	429,500	167,383	167,729	155,076	-7.54
1988	375,500	156,899	126,112	144,417	14.51
1989	394,700	160,974	131,885	143,489	8.82
1990	438,900	168,898	168,101	172,266	2.48
1991	458,800	171,801	170,293	177,770	4.39
1992	490,900	175,614	168,235	187,831	11.65
1993	567,000	180,366	249,209	224,006	-10.11
1994	523,200	178,368	193,398	212,460	9.86
1995	567,200	180,370	230,679	219,659	-4.78
1996	556,200	180,059	237,128	217,290	-8.37

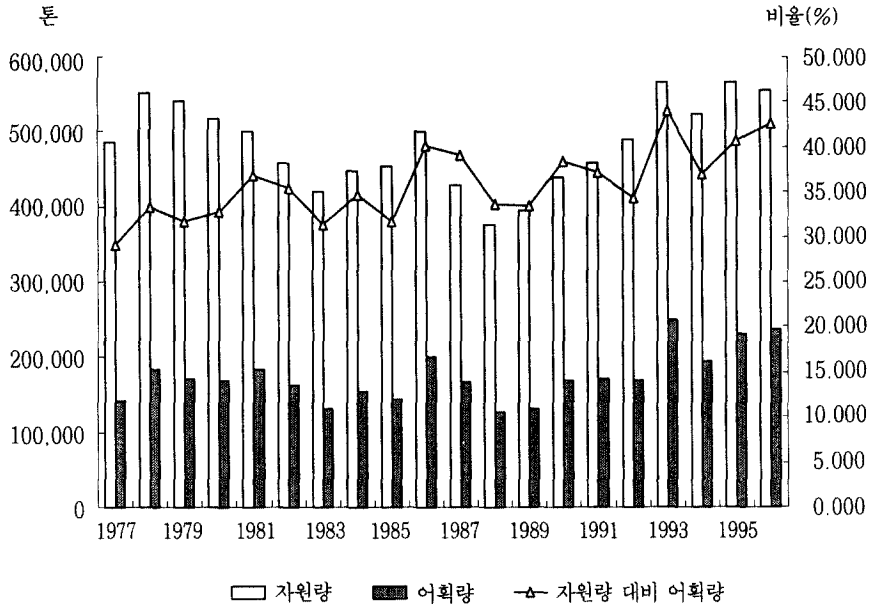
주: 1) (추정 어획량 - 실제 어획량) / 실제 어획량 × 100.

수준에서도 기각되지 않으며, 본 연구의 추정 결과가 예측하는 어획량은 실제 어획량을 비교적 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.¹²⁾

12) 본 연구가 분석하는 식 (23)과 같은 모형을 통해 도출되는 ϵ_t 가 확률변수로서 어떤 성질을 지니는지의 여부는 잘 알려져 있지 않다. 따라서, 본 연구가 여기서 행하는 검정은 엄밀성을 갖지는 않으며, ϵ_t 의 값이 양(+)이나 음(-)으로 편향되어 있는지의 여부만 확인하는 것이라 보아야 한다.

한국 연근해 멸치자원량 추정

〈그림 1〉 연도별 자원량과 어획량



〈그림 1〉은 추정된 자원량과 실제 어획량과의 관계를 연도별로 보여 주고 있다. 자원량 대비 어획량은 단기적인 등락을 보여 주기도 하지만 전반적으로 상승하는 경향을 보여 준다. 자원량 대비 어획량수준은 1980년대 중반 이전에는 35% 이하 수준이었으나, 점차 증가하여 1996년에는 42% 수준을 보이고 있다. 이러한 결과는 자원의 과잉 이용의 가능성을 보여 주는 것이다.

이를 좀더 확인하기 위해 식 (25)의 자연성장량 $0.6234 X_t \left(1 - \frac{X_t}{1,177,800}\right)$ 을 이용해 최대지속가능 어획량을 구하면 연간 18만 620톤이 되며, 최대지속가능 자원량은 58만 8,900톤이 된다. 따라서, 1996년 현재의 어획량 23만 7,128톤은 최대지속가능 어획량을 초과하고 있고, 자원량수준은 최대지속가능 자원량 이하에 머물러 있다. 또한, 성장함수 (25)를 통해 1997년의 자원량수준을 예측하면, 49만 9,130톤이 되어 자원량은 계속 감소할 위기에 처해 있다고 할 수 있다. 즉, 1990년대 이후 어획량이 추정된 최대지속가능 어획량 18만 620톤보다

많게 유지되고 있으므로, 자연성장량과 비교할 때 현 어획수준은 남획에 가깝다고 할 수 있다.

3. 추정 결과 : 모형 2

모형 2의 추정 결과는 <표 3>과 같이 나타나며, 이를 이용한 생산함수와 성장함수는 식 (26) 및 (27)과 같이 나타난다.

<표 3> 추정모수 : 모형 2

추정모수	추정치	추정모수	추정치
A_1	0.4724	α_3	0.1746
A_2	0.4614	α_4	0.2806
A_3	0.4640	β	0.7058
A_4	0.4617	r	0.6839
α_1	0.1960	K	1,099,400
α_2	0.2092		

$$y_t = [0.4724 E_{1t}^{0.1960} + 0.4614 E_{2t}^{0.2092} + 0.4640 E_{3t}^{0.1746} + 0.4617 E_{4t}^{0.2806}] X_t^{0.7058} \quad (26)$$

$$X_{t+1} - X_t = 0.6839 X_t \left(1 - \frac{X_t}{1,099,400} \right) - y_t \quad (27)$$

식 (26)을 보면, 이전 모형의 결과와 유사하게 자원량의 탄성치가 어선세력의 탄성치보다 월등하게 큰 것을 알 수 있다. 이는 어획량의 변화에는 자원량의 변화가 가장 큰 영향을 미치게 됨을 의미한다.

식 (27)을 이용해 최대지속가능 어획량과 최대지속가능 자원량을 구하면 각각 17만 5,600톤과 54만 9,700톤이 된다. 1996년 현재 어획량과 자원량은 23만

한국 연근해 멸치자원량 추정

〈표 4〉 추정 멸치자원량 : 모형 2

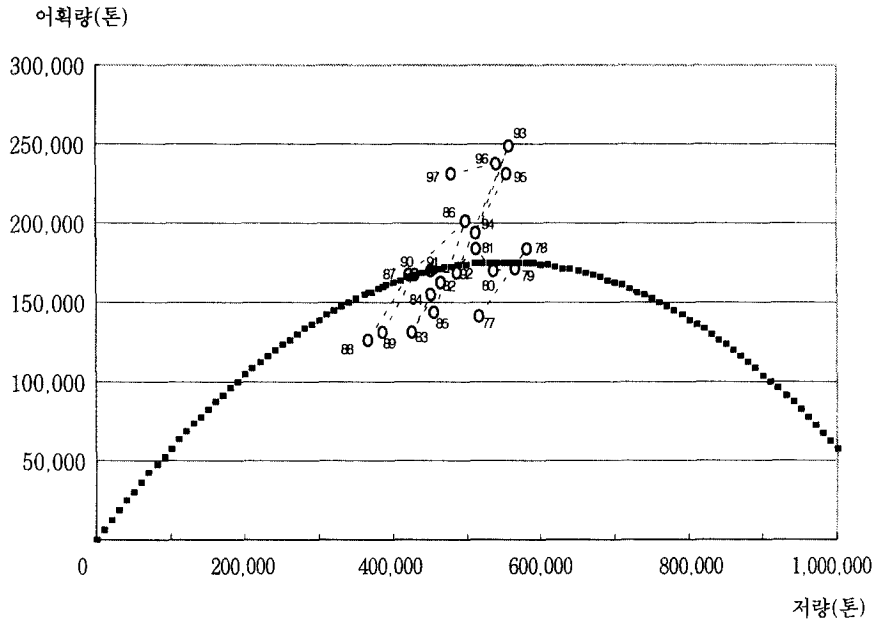
연도	추정 자원량(톤)	자연 성장량(톤)	실제 어획량(톤)	추정 어획량(톤)	어획량 추정오차(%) ¹⁾
1977	516,750	174,971	140,842	151,547	7.60
1978	582,250	174,986	183,211	166,087	-9.35
1979	566,850	175,431	171,539	159,595	-6.96
1980	537,450	175,514	169,657	169,652	0.00
1981	513,150	174,825	184,351	176,751	-4.12
1982	465,700	171,501	162,256	152,865	-5.79
1983	426,900	166,838	131,859	149,026	13.02
1984	451,700	170,020	155,124	155,405	0.18
1985	455,900	170,489	143,512	155,850	8.60
1986	499,350	174,128	201,642	170,638	-15.38
1987	421,350	166,028	167,729	154,721	-7.76
1988	366,200	156,034	126,112	147,285	16.79
1989	386,600	160,143	131,885	144,704	9.74
1990	429,900	167,261	168,101	175,499	4.40
1991	452,300	170,089	170,293	178,856	5.03
1992	486,300	173,266	168,235	188,255	11.90
1993	558,900	175,552	249,209	221,722	-11.03
1994	513,000	174,819	193,398	215,048	11.19
1995	554,200	175,590	230,679	218,039	-5.48
1996	541,000	175,558	237,128	212,334	-10.46

주: 1) (추정 어획량 - 실제 어획량) / 실제 어획량 × 100

7,128톤과 54만 1,000톤이므로, 이전 모형과 마찬가지로 현재의 어획량수준은 남획에 가깝다고 볼 수 있다. 또한 자원량 대비 어획량수준의 급격한 증가, 1993년도 이후 자연성장량을 훨씬 웃도는 어획량수준 등을 확인할 수 있고, 이는 멸치의 남획현상을 나타내 주는 지표가 될 수 있다.

각 연도에 있어 멸치의 추정량은 <표 4>와 같다. 모형 1과 모형 2가 예측하

〈그림 2〉 멸치의 성장곡선과 어획량



는 자원량 및 어획량은 서로 매우 유사한 수치를 보여 주고 있다.

〈그림 2〉는 모형 2의 추정 결과를 이용하여 도출한 자연성장곡선과 각 연도의 실제 어획량간의 관계를 보여 준다. 〈그림 2〉에서 자연성장곡선의 정점에 해당되는 17만 5,600톤이 바로 모형이 예측하는 최대지속가능 어획량이다. 〈그림 2〉에서 보면 분석대상기간의 초기인 1970년대 후반~1980년대 중반에는 어획량이 최대지속가능 어획량을 초과하여 멸치자원량의 감소가 발생하였다. 1980년대 후반에 들어와서는 어획량이 감소하면서 오히려 멸치자원량의 순증이 발생하였다. 그러나 상황은 다시 바뀌어 1993년 이후에는 어획량이 최대지속가능 어획량을 다시 초과하게 되고, 현재에는 자원량의 감소가 다시 발생하고 있다. 따라서, 현재의 어획고가 지속된다면 향후 상당한 멸치자원량의 감소가 발생할 것이라 예측된다.

IV. 요약 및 결론

일반적으로 수산자원에 관한 경제적 분석시 가장 어려운 점은 자원량과 같은 중요한 변수들이 관찰되지 않는 확률변수인 경우가 많다는 점이다. 따라서, 경제적 분석에 필요한 자원량 정보를 얻기 위해서는 어획노력 및 어획량과 같은 경제적 행위와 관련된 변수로부터 자원량의 확률분포에 대한 정보를 추론하는 분석 기법을 이용할 수밖에 없다.

본 연구는 그러한 분석기법 중에서 최소자승법, 칼만필터 최우추정법, 최대 엔트로피기법의 이론적 내용을 먼저 고찰하였다. 최소자승법을 수산자원의 자원량 분석에 활용하는 방법은 자연성장곡선 등을 추정할 수는 있으나, 자원량이 이미 정상상태에 이르고 있다고 가정함으로써 동태분석의 주요 목적 중의 하나인 연도별 자원량수준은 추정할 수 없다는 약점이 있다.

최소자승법을 응용한 옥영수(1998)의 연구에서 멸치의 고유성장률의 값은 약 0.15가 되는 것으로 도출되었다. 고유성장률의 값이 가장 작다고 알려진 고래의 경우 그 값이 0.1수준(Clark and Lamberson, 1982)임을 감안할 때, 이 연구는 멸치와 같이 수명이 짧고 산란수가 많은 생물자원의 고유성장률 값을 비현실적으로 낮게 추정하여 그 신뢰도가 의문시된다고 할 수 있다.

칼만필터에 의한 방법은 중요한 시사점을 줄 수 있는 대부분의 변수들을 추정할 수는 있으나, 모형이 선형이어야 한다는 커다란 제약을 지니고 있다. 보다 확장된 칼만필터를 이용하면 비선형모형의 추정도 가능하지만, 우도함수가 복잡해짐으로써 해의 존재를 담보할 수 없고, 계산이 매우 복잡해진다는 단점이 발생한다.

본 연구에서 활용한 최대 엔트로피기법은 위의 두 방법이 가지는 한계를 극복하기 위해 Golan *et al.*(1996a, 1996b)에 의해 가장 최근에 개발된 분석방법으로 이의 실제 적용 예는 아직 없는 실정이다. 본 연구는 이들의 방법을 실제

자료에 적용하여 한국의 멸치자원량을 추정하고, 그 변화 형태를 분석하였다.

본 연구는 멸치자원의 연도별 자원량등을 추정함에 있어 성장방정식으로는 일반적으로 널리 쓰이는 로지스틱함수를 사용하였고, 생산함수로는 Cobb-Douglas형태를 기본으로 두 가지 모형을 설정하였다.

추정 결과 두 모형의 고유성장률의 값은 평균 0.65 수준으로 추정되어 멸치의 수명(약 1.5년)을 고려해 볼 때 적절한 값이라고 판단된다. 아울러 실제 어획량과 모형이 예측하는 어획량과의 격차도 무시할 정도로 작아 모형의 신뢰성은 상당히 높은 것으로 판단된다.

분석 결과에 의하면 1993년도 이후 연도별 자원량수준은 최대지속가능 자원량에 미치지 못하고 있는 반면, 어획량은 최대지속가능 어획량을 초과하고 있다. 또한, 멸치 어획량의 상대적 수준을 나타낼 수 있는 자원량 대비 어획량 수준이 계속 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 우리 나라에서 멸치의 어획량이 과다하다는 것을 의미하며, 향후 20만 톤 이상의 어획량이 지속될 경우 자원량수준의 급격한 감소가 예상된다. 따라서, 어획량의 제한, 또는 어선세력의 제한 등 적절한 수산자원관리정책이 요구된다고 할 수 있다.

본 연구의 결과는 몇 가지 방향으로 확장될 수 있다. 무엇보다도 본 연구는 생물학적 분석에 그치고, 경제적 분석에는 미치지 못하였다. 생물학적 적정어획량과 경제적 적정어획량은 차이가 있다. 경제적 관점에서 사회적으로 최적인 어획량을 도출하기 위해서는 어로행위의 비용구조와 멸치의 사회적 가치, 그리고 미래 소득의 적정 할인율 등과 관련된 자료가 필요하다. 따라서, 이러한 자료의 축적을 통해 멸치가 가지는 생물학적 특징뿐 아니라 경제적인 최적 어획량도 도출하고자 하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

한국 연근해 멸치자원량 추정

〈부표 1〉 어업별 통계량

연도	멸치 총생산량	기선권현량			근해유지량			연안유지량 멸치생산량
		멸치생산량	총생산량	세력	멸치생산량	총생산량	세력	
1977	140842	78467	79317	44892	9120	52477	99193	25445
1978	183211	113946	114626	58861	5380	51487	124700	27096
1979	171539	108734	137261	61031	2805	36841	139824	19577
1980	169657	103640	107282	69492	9010	45634	112447	12832
1981	184351	114536	116715	68214	16507	50650	114369	15029
1982	162256	99258	103004	72232	18603	65201	141772	14250
1983	131859	77421	81692	75969	13888	49986	153048	6655
1984	155124	98262	101564	90801	20029	51666	151003	4977
1985	143512	86935	89663	109378	18625	48647	160328	8353
1986	201642	146086	149806	119527	17811	54466	156280	4327
1987	167729	113214	115215	141020	19972	39921	161871	3177
1988	126112	72338	72687	146114	11738	26780	164540	5237
1989	131885	87794	88114	152145	10307	28417	158229	3205
1990	168101	85831	86154	161191	22019	42368	185735	10509
1991	170293	85373	86323	169352	15602	36056	206825	3302
1992	168235	79056	79188	156834	22406	45207	224811	2801
1993	249209	162588	162754	169814	21624	39192	232941	4002
1994	193398	117812	117955	245320	15016	31899	247616	12702
1995	230679	139714	140170	244586	32266	55421	266173	6448
1996	237128	121779	122309	162259	10859	34603	274830	2440

연도	연안유지량		대형정치망			소형정치망		
	총생산량	세력	멸치생산량	총생산량	세력	멸치생산량	총생산량	세력
1977	81603	74135	2952	29120	5235	5352	24948	10015
1978	71514	121812	274	49350	7760	4309	24545	9726
1979	62690	127198	791	59760	14122	5125	39715	11940
1980	52845	125165	1105	39311	10528	9597	41084	14952
1981	63337	145996	1270	26345	14921	16519	38577	13501
1982	58071	174248	1348	40724	21042	5306	30139	10429
1983	56406	201873	281	17302	20438	15747	45231	10113
1984	50007	271020	2440	35115	21471	8882	35226	9438
1985	66519	296184	1179	49989	21272	5385	34114	9390
1986	68646	341816	1385	19734	20231	6286	25848	9107
1987	58539	457686	774	21421	20523	9040	32508	8882
1988	64239	581249	442	32540	20140	16893	40089	9540
1989	57205	667921	394	22547	21853	8812	37570	10217
1990	62105	750908	1500	16161	22607	13013	32579	11242
1991	56000	894653	1870	13915	23669	14162	35094	13152
1992	52605	1074004	3102	14951	23234	15623	44054	12955
1993	56119	1207429	5219	15397	23843	26285	46487	13588
1994	66283	1358075	4166	13085	23601	20984	39509	11211
1995	63725	1394910	2962	16051	25199	14920	48461	11597
1996	53554	1440749	9428	20799	26898	47485	62797	11791

주: 1993년도 이후 대형 및 소형정치망의 생산량 통계는 구분되어 있지 않다. 따라서, 1992년도의 생산 비율로 환산하여 계산한 것임.

자료: 「수산통계연보」, 「농림수산통계연보」, 「해양수산통계연보」, 각 연도.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 박성쾌 · 옥영수, “수산자원 관리의 생물 경제학적 연구”, 「농촌경제」, 제9권 제3호, 1986, pp. 59~68.
2. 옥영수, “책임있는 어업으로의 이행에 따른 경제적 영향 고찰”, 「해양수산」, 제171호, 1998, pp. 15~26.
3. Bell, F. W., “Technological Externalities and Common Property Resources: An Empirical Study of the U.S. Northern Lobster Fishery,” *Journal of Political Economy* 80, 1972, pp. 148~158.
4. Berck, P. and G. Johns, “Estimating Structural Resource Models When Stock is Uncertain,” *Stochastic Models and Option Values*, North-Holland, 1991, pp. 243~266.
5. Clark, C. W., “Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources,” New York, Wiley-Interscience, 1976.
6. _____ and R. H. Lamberson, “An Economic History and Analysis of Pelagic Whaling,” *Marine Policy* 6, 1982, pp. 103~120.
7. Clark, C. W. and G. R. Munro, “The Economics of Fishing and Modern Capital Theory: A Simplified Approach,” *Journal of Environmental Economic and Management* 2, 1975, pp. 92~106.
8. Fox, W. W., “Fitting the Generalized Production Model by Least-Squares and Equilibrium Approximation,” *Fishery Bulletin* 73, 1975, pp. 23~37.
9. Golan, A., Judge, G. and D. Miller, *Maximum Entropy Econometrics*, John Wiley & Sons Ltd., 1996a, pp. 24~25.
10. Golan, A., Judge, G. and L. Karp, “A Maximum Entropy Approach to Estimation and Inference in Dynamic Models,” *Journal of Economic Dynamics and Control* 20, 1996b, pp. 559~582.
11. Gordon, S. H., “The Economic Theory of a Common Property Resource: The Fishery,” *Journal of Political Economy* 62, 1954, pp. 124~142.

12. Paris, Q. and R. E. Howitt, "An Analysis of Ill-Posed Production Problems Using Maximum Entropy," *American Journal of Agricultural Economics* 80, 1998, pp. 124~138.
13. Shannon, C. E., "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal* 27, 1948, pp. 379~423.

ABSTRACT

Estimating the Biological Growth Function of
Korean Anchovy : A Maximum Entropy Approach

Gi Cheol Kim · Oh Sang Kwon

One of the main issues in natural resource economics is estimating the amount of stock and the biological growth functions of renewable natural resources. Since the stock level is not directly observed the usual econometric approaches cannot be employed for this purpose. The maximum entropy approach has been suggested as a useful alternative to estimate the dynamic model of natural resource use. This study estimates the stock and the growth function of Korean anchovy using the data for yield and yield efforts. The results show that the current level of anchovy yield exceeds its maximum sustainable yield, which implies that the stock will decrease substantially over time.