



수산지원정책 변화에 따른 수산자원의 반응 평가 방법

강 버 들[†]
[†]부경대학교(교수)

An Approach for Assessing Response of Fish Stocks to Changes in Fishery Supporting Policies

Beodeul KANG[†]
[†]Pukyong National University(professor)

Abstract

OECD Secretariate has been developing an approach to assess the response of fish stocks to changes in fishery supporting policies, and it requested external comments on the on-going version of the approach, so called FishPEM model. This paper attempted to evaluate the basic structure of the model by: analyzing the basic theories of associated equations explaining dynamics of stock size and harvest, analyzing and evaluating the performance of the biological component of FishPEM model, and suggesting an improved alternative approach.

In order to apply this FishPEM model to generic circumstance, three factors need to be considered. First, it is necessary to test the model performance and applicability using data from fisheries and species which have long-term fishing history and their available population biological parameters. Second, Using these fishing and biological data, variability(variance or standard deviation) of model parameters (K, r and q) should be estimated. Third, robust simulations on the biological component of FishPEM should be conducted to evaluate the performance using the proper approach such as estimation of parameters based on the non-equilibrium stock production model.

In the long run, an ecosystem-based stock assessment and management approach, which is recently stressed by a number of international society, should be developed to assess response of fish stocks to changes in fishery supporting policies, considering not only the sustainability of the stock, but also habitat quality, biodiversity of the fish community such as species interactions, and socio-economic benefits of the fishery.

Key words : FishPEM model, Fishery supporting policy, Stock size, Harvest, Stock production model

I. 서론

지금까지 다양한 방법에 의한 노력에도 불구하고 수산자원은 계속 감소하는 추세를 보이고 있다. 2008년 세계은행과 국제식량농업기구에서 출간한 ‘Sunken Billions’ 보고서는 수산자원의 비효

율적인 관리로 인해 연간 500억 달러의 경제적 손실을 입고 있으므로 이 분야의 전반적인 개혁이 필요하다고 하였다. 이에 따라 국제사회에서는 다양한 채널을 통하여 수산자원을 보존하기 위한 국제적 관심을 표명하고 있으며, 실질적인 규제방안을 마련하는데 노력을 기울이고 있다.

[†] Corresponding author : 051-629-5977, badlle@pknu.ac.kr

이를 위한 일환으로 세계무역기구(WTO)의 도하개발아젠다(DDA)는 수산보조금의 지급이 수산자원 상태에 부정적인 영향을 주고 있다는 판단 하에, 수산자원의 보호를 목적으로 2001년부터 수산보조금 금지를 위한 협상을 진행하였다. 이 후 2005년 홍콩 각료회의에서는 과잉어획능력과 과잉어획을 야기하는 수산보조금을 금지하기로 결정하였고, 2007년에는 이 협상을 담당하던 규범협상그룹 의장이 면세유를 포함한 수산보조금을 대부분 금지시키고자 하는 의장초안을 발표한 바 있다. 최근 유엔에서는 United Nations Sustainable Development Goals(UNSDG)를 채택하면서 UNSDG 14에 수산자원의 과학적인 평가와 자원관리를 증진시키고 수산자원과 해양생태계에 해로운 수산보조금의 국가지원을 금지시키도록 규정하고 있다.

무엇보다도 수산자원이 건강한 상태에 있는지 아니면 남획된 상태에 있는지를 판단하고, 현재 어업활동이 과도한지 아닌지를 판단하는 것은 수산자원관리의 핵심이 된다. 실제로 이를 판단하기 위한 자원평가의 수행에는 많은 자료와 고도의 기술력이 요구되는 어려움이 있는데, 특히 소규모 어업과 다종어업에서 그 어려움은 더욱 심하다.

어족자원의 구체적인 상태와 어업활동의 객관적인 상태를 고려해서 어족자원을 보존하고 어업활동을 규제할 수 있는 실용적이고 신뢰할 수 있는 방법이 필요하다. 예를 들어, 자원량과 어획사망률을 추정하는데 필요한 자료가 없거나 추정할 수 있는 과학적 능력이 부족한 경우에는, 자원량을 대응해서 단위노력당어획량을 사용하고 어획사망률을 대응해서 어획노력량 자료를 사용할 수 있는 방법이 필요하다. 복수어종으로 집계된 어획량과 어획노력량만으로 된 경우나 개체군 특성치 정보와 체장자료만이 이용 가능한 경우에 대해서도 적용이 가능해야 한다. 이를 위해 수산자원의 보존이라는 전 지구적 목표를 달성하는데 있어서 필요한 자원상태와 어업상태를 판단해서

어획활동을 규제하고 조정할 수 있는 유용한 방법이 요구되는데 이를 위한 노력이 필요하다.

어업인들이나 수산단체에 대한 보조금 등을 통한 정책지원은 대부분 국가들에서 시행되고 있는 공통적인 현상이다. 어떤 보조금들은 과도한 어선규모로 과도어획을 유발하여 무역이나 생태계에 부정적인 결과를 초래한다. 이에 대해 OECD 사무국은 어업과 양식업을 지속가능하게 유지하기 위한 방편으로 보조금 지원과 같은 어업정책이 수산업에 미치는 영향을 파악하기 위해 수산지원정책의 평가를 위한 분석적 방법을 개발하게 되었다. 이것은 구조적이고 정량적인 모델로서 정책 분석용으로 사용될 수 있도록 하는데 목표를 두고 있다.

이에 대응하여 OECD사무국은 수산업에 대한 보조금을 포함한 각종 지원정책이 수산업과 수산자원의 상태에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 노력하고 있다. 이를 위해 OECD사무국에서는 수산지원정책의 평가를 위한 하나의 방법으로 현재 개발 중인 수산정책평가모델 'FishPEM'을 'FishPEM, Basic structure and early results'의 보고서(OECD, 2018)에 제시하면서 이 모델의 적절성 여부에 대한 대외적인 검토를 요청하고 있는 중이다. 그러므로 이 FishPEM이 수산지원정책의 평가를 위해 적절한지에 대한 논의가 필요하다. 그리고 수산자원에 대한 평가는 가장 기초가 되는 생물학적 부분에 대한 결과를 바탕으로 그 다음 단계에 대한 검증이 요구되므로 생물학적 부분에 대한 철저한 검증부터 시작되어야 한다.

따라서 이 논문의 목적은 수산지원정책 변화가 수산자원에 미치는 영향을 평가하기 위한 것이다. 이를 알아보기 위하여, 첫째, 자원량과 어획량 변동을 설명하는 기초이론을 분석하고, 둘째, 수산지원정책 평가모델인 FishPEM의 생물학적 부분을 분석·평가하여, 셋째, 이에 대한 개선 방안을 제시하고자 한다.

II. 모델 및 매개변수 추정 방법

1. 모델식

‘FishPEM, Basic structure and early results’ 보고서에서 제시한 FishPEM 모델의 생물학적 부분은 어획노력량과 어업생산량을 연결하는 ‘로지스틱 성장모델’과 이를 기초로 한 ‘Schaefer 모델’ 방식이 사용되었다. 따라서 ‘FishPEM’의 기본 핵심인이 두 모델을 분석해 보고자 한다.

가. 로지스틱 개체군 성장모델

생물의 기하급수적 증가를 조절하는 작용으로 우선 개체군 밀도에 대한 비종속적 조절로 재난과 같은 물리적 환경 조건을 들 수 있다. 이것은 개체군 증가를 멈출 뿐만 아니라 개체군이 현 수준 이하로 줄어들게 하는 강한 사망률의 원인이 된다. 또 다른 조절작용으로서 개체군 증가에 대한 밀도 종속적 조절로서 먹이에 대한 경쟁, 생식적인 경쟁, 이주, 포식관계 등을 들 수 있다. Verhulst(1835)는 개체군이 한정된 환경공간에서 성장하면 밀도가 점차 커져서 개체군이 유한한 극대치인 환경수용량(carrying capacity, K)을 가지게 될 것임을 가정하여 Logistic 성장곡선식을 개발하였다.

개체군의 성장을 나타내는 로지스틱 성장모델의 미분방정식은 $\frac{dN_t}{dt} = rN_t \frac{K - N_t}{K}$ 이 되고, 이것을 풀면 다음과 같다.

$$N_t = \frac{K}{1 + Ce^{-rt}} \quad (C = \frac{K - N_0}{N_0})$$

여기서 N 은 개체군 크기, r 은 개체군 성장률, 환경수용량, N_{0ms} 초기 개체군 크기이다.

이 성장식에서 개체군의 실제성장률은 r 과 $(1 - K/N)$ 항의 곱에 비례한다. 즉, 개체군 크기가 작을 때는 $(1 - K/N)$ 항은 1에 가까우므로 기하급수적인 지수함수적 성장을 하게 되고, 개체군 크기가 커지면서 K 에 가까워질수록 실제성장률은 0

에 가까워지며 안정된 평형점에 도달하게 된다.

나. Schaefer 모델

수산자원을 평가하고 관리하려면 필수적으로 수산자원을 둘러싸고 있는 생태계 환경을 파악해야 한다. 그리고 수산자원 생물이 생태계 내의 다른 생물들과 가지게 되는 피식, 포식, 경쟁 등의 상호작용 매카니즘을 이해하면서, 그 자원에 가해지는 어획의 영향을 알아야만 한다. 그러나 전통적인 수산자원의 평가와 관리는 어업 대상 어종에만 초점이 맞추어져 개체군 수준에서 주로 이루어져 왔다.

개발·이용되고 있는 수산자원을 평가하고 관리하는데 있어서 하나의 필수적인 요소는 생물개체군 가운데 어업에 이용되는 자원에 가해지는 어획의 영향을 감지하는 것이다. 어업자원에 대한 어획의 영향을 추정하는 연구는 다양하게 수행되어 왔다. 어획을 적정화시키는데 자원역학에서 사용되는 수학적 모델은 두 가지 계열인 가입당 생산량 모델(yield-per-recruit models)(Beverton and Holt, 1957)과 잉여생산량 모델(surplus production models)(Schaefer, 1954, 1957)로 구분된다. Schaefer 모델은 전형적인 잉여생산량 모델에 속한다.

잉여생산량 모델은 생물 생체량의 재생산율과 어획률을 파악하여 자원을 평가하는 모델이다. 생체량의 크기는 환경요인과 생물체간의 상호작용에 의해 결정된다. 자연상태에서 하나의 개체군은 그 생체량이 증가하거나 감소하지 않는 상태에 놓일 수 있게 되는데, 이때는 개체의 성장률과 가입률이 자연사망계수와 같게 되는 상태로, 이를 평형상태(equilibrium state)라 부른다. 생물자체 간의 상호작용은 흔히 밀도 종속적(density-dependent) 과정이라고도 부르는데, 이 과정에서는 생체량이 증가함에 따라 성장률이나 생산율, 혹은 가입률이 점차 감소하다가 어느 시점에 이르면 하나의 평형점에 도달하게 된다. 어획은 평형점에 도달된 생체량을 감소시키고 이로 인해 그 자원은 성장률이나 생산율, 혹은 가입률

이 증가하고, 마침내는 잉여량을 생산하게 된다. 즉, 어업은 어류 자원을 솎음(thinning)으로써 생체량이 감소함으로 인해 그 자원이 자체를 유지하기 위해서 생성하는 생산물을 얻는 것이다. 잉여생산량 모델은 자원크기의 변화만 다루게 되므로 그 자원의 연령분포와 같은 세부적인 속성은 고려하지 않는다. 잉여생산량 모델은 연도별 어획량과 노력량 자료만 있어도 사용 가능하다. 그러므로 이 모델은 자료가 부족한 경우에 많이 사용되어 오고 있다. 이 모델의 목표는 자원크기와 그 자원이 생산하는 잉여생산량과의 관계를 규명하는 것이다.

2. 모델의 매개변수 추정

가. 일반 평형상태 모델의 매개변수 추정

잉여생산량 모델은 Verhulst(1835)에 의한 로지스틱 개체군 성장모델에 근거를 두고 있다. Graham(1935)은 개체수로 표현되는 원래의 로지스틱 성장모델을 개체 수 대신에 생체량으로 표현해서 어업자원에 처음으로 응용하였고, Schaefer(1954, 1957)는 Graham의 모델을 체계화시켜서 쉽게 이용될 수 있는 모델로 발전시켰다. Fox(1970)는 자원크기가 어획노력량의 함수로서 직선적인 감소보다는 오히려 지수함수적으로 감소한다고 가정하여, Gompertz의 개체군 성장식을 적용하여 지수함수 모델을 개발하였다. Pella and Tomlinson(1969)은 위의 모델들을 일반화시켜서 또 하나의 변수(m)를 추가하여 일반화된 생산량 모델(generalized production model)을 개발하였다.

Schaefer는 평형상태에서 dB/dt 가 zero(0)가 되어 $B_{t+1}=B_t$ 가 된다고 가정하였다. 그리고 어획량(Y)을 어획노력량(E)으로 나눈 단위노력당어획량($U=Y/E$)이 어획노력량과는 반비례의 관계에 있다고 가정하여 아래의 식을 제시하였다.

$$U = U_{\infty} - (U_{\infty} q/r)E$$

여기서 U_{∞} 는 이론적 최대단위노력당어획량, E

는 어획노력량, q는 어획률 계수(catchability coefficient), r은 개체군 고유의 성장률(intrinsic growth rate)이다.

매년의 어획노력량과 단위노력당어획량 자료를 사용하여 모델의 파라미터를 추정된 후, 위 식을 다음과 같이 2차식으로 변형시켜 최대지속적생산량(Maximum Sustainable Yield, MSY)과 이때의 어획노력량(E_{MSY})을 구한다. 즉, $U=Y/E$ 이므로

$$Y = U_{\infty} E - (U_{\infty} q/r) E^2$$

여기서 Y는 평형어획량이다. 이 식은 위로 볼록한 포물선식이므로 꼭지점이 MSY가 된다. 이때의 어획노력량이 E_{MSY} 이므로 포물선식을 미분해서 0으로 놓고, $MSY(= U_{\infty} r / 4q)$ 와 $E_{MSY}(=r/2q)$ 를 추정한다.

한편, 어획량과 어획노력량 자료만을 사용하는 모델이 개발되어 왔으나, Csirke and Caddy(1983)는 어획노력량은 순간어획사망계수에 직접 비례한다는 가정이 더 이상 옳지 않다고 가정하고, 어획노력량을 사용하는 대신 순간전사망계수나 순간어획사망계수를 사용하는 모델을 제안하였다. 그리고 Zhang and Sullivan(1988)은 단위노력당어획량(CPUE)이 적합한 자원량 지수가 될 수 없다고 보아 생체량과 어획량(혹은 순간어획사망계수)을 사용하는 모델을 개발하였다.

나. FishPEM 모델의 매개변수 추정

수산정책평가모델인 FishPEM은 2001년 이래로 OECD가 농업정책 영향평가에 사용해 온 부분적인 평형상태 모델인 Policy Evaluation Model (PEM)을 상당부분 원용하였다.

FishPEM은 경쟁 시장에서 이윤을 극대화시키는 하나의 대표어업을 통해 어업경제를 모사하기 위해 만들어졌다. 어업생산량에 관련되는 연료, 어구, 어선 등의 입력시장과 생산물이 어업인과 소비자에 의해 거래되는 출력시장으로 구성된다. 이 모델의 생물학적 부분은 어획노력량과 어업생

산량을 연결하는 로지스틱 성장모델을 기초로 한 Schaefer model 방식을 사용하였다. Schaefer model은 주어진 성장모델에 대해 평형상태의 자원량과 생산량, 어획노력량을 가정한다. 따라서 이 모델은 평형상태에서의 자원에 대한 생물학적 속성을 가지므로 어떤 주어진 어획노력량에 대해 자연적으로 생산량과 자원량이 유지된다는 가정을 하고 있다. 최대지속적생산량 수준을 초과하는 과잉노력은 얻을 수 있는 생산량이나 자원수준보다 낮은 상태를 초래하게 된다. 모델의 경제부분과 생물부분은 하나의 시스템에서 작동되어서 동시에 모델 결과치들이 계산된다.

이 모델은 평형상태에서 자원의 생물학적 속성을 가지는 원칙에 근거하고 있으므로, 장기간의 평형상태에서의 시장과 생물학적 어획노력량-생산량의 모든 관계에서 요구되는 자원에 대해 초기상태에서의 평형상태로 조정된다. 여기에 새로운 정책쇼크와 같은 영향이 가해지면 새로운 평형상태로 재조정이 되며, 이 변화량이 정책쇼크에 의해 나타난 정책시나리오의 결과로 해석될 수 있다. 예를 들면, 초기 자원량이 선택되면 이에 상응하는 어획노력량이 자동으로 계산되어 다른 입력치들이 계산되어 모델에 입력된다.

자원량과 생산량, 어획노력량은 단순한 로지스틱 함수로 묘사되는 성장함수로 서로 연관성을 가지고 있다. 이 모델에서는 이들 변수를 포함시킨 Schaefer model을 변형하여 다음의 두 식으로 나타내었다.

로지스틱 성장 곡선식에서 어획량(Y)를 추가하여 개체수(N)을 자원량(X)로 나타낸 관계식인

$$F(X) = r X(1 - X/K) - Y \dots\dots\dots (1)$$

어획노력량-생산량 관계식인

$$Y = qEX \dots\dots\dots (2)$$

이다.

평형상태에서는 F(X)=0가 되므로, 이를 자원량 X*와 생산량 Y*에 대해 다시 정리하면

$$Y^* = q K E(1 - q E/r) \dots\dots\dots (3)$$

$$X^* = K(1 - q E/r) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 Y*는 평형 생산량(harvest), q는 어획율 계수(catchability coefficient), K는 어획가능 환경수용량(carrying capacity), E는 어획노력량(fishing effort), r은 고유의 성장률(intrinsic growth rate), 그리고 X*는 평형 자원량(stock size)이다.

다. 비평형상태 모델의 매개변수 추정

어획량과 어획노력량 자료를 사용해서 구한 단위노력당어획량은 어획노력량에 선형으로 관련이 있다고 가정하는 Schaefer 모델을 평형상태로 가정하여 적용하고 있다. 그러나 수산자원은 항상 변화하고 있으며, 평형상태를 유지하는 경우는 거의 없다. 이러한 비논리적인 가정이 없이 logistic 성장모델을 기초로 한 비평형 모델들의 매개변수들을 추정하는 방법이 개발되어 사용되고 있다.

먼저, 측정오차(observation error)를 가정하여 시계열 자료를 적합시키는 방법으로 다음과 같이 자원량 변화와 잉여생산, 어획량 관계를 나타내는 차분방정식 모델이 사용 가능하다.

$$B_{t+1} = B_t + r^* B_t^* (1 - B_t/K) - C_t \dots\dots\dots (5)$$

$$C_t = q^* E_t^* B_t \dots\dots\dots (6)$$

여기서 B는 자원량, t는 년도, C는 어업생산량, q는 어획율 계수, K는 어획가능 환경수용량, r은 고유의 성장률이다. 여기서 E는 어획노력량(fishing effort)이다. 위의 식에서 3개의 매개변수인 q, K, r을 추정하기 위해서 단위노력당어획량(C/E) 관측치와 예측치의 차이를 최소화하는 방식을 아래의 수식과 같이 사용할 수 있다.

$$\text{Minimize Sum}[(\text{Obs}(C/E) - \text{Pre}(C/E))^2]$$

이 방법 이외에도 자원의 성장률과 어획량, 자원량 크기의 관계에 연관된 오차를 최소화하는

과정오차(process error) 모델이 개발되어 사용되었는데, Schnute(1977)는 중회귀직선을 사용해서 풀 수 있는 과정오차 모델을 개발하였다.

또한, 두 가지의 오차들을 모두 포함하는 방법인 Maximum entropy(ME) model, ASPIC model, Markov chain Monte Carlo(MCMC) algorithms를 활용하는 Bayesian state-space model들이 개발되어 사용되고 있다. 특히 ASPIC 모델은 전통적인 잉여생산량 모델에 자료를 추가시켜 모델을 확장시킨 것이다. 확장된 주요 항목으로서 이 모델에는 10개의 자료까지 추가시킬 수 있다. 이러한 자료에는 어획량-노력량자료(다른 어구 혹은 다른 어획주기)와 자원량지수나 자원량추정치 등이 포함되며 편차수정을 위해 bootstrapping이 가능하다.

Ⅲ. 결 과

1. 모델의 분석

FishPEM 모델의 취약성은 모델 파라미터의 불확실성이 무시된다는 점이다. 어떤 모델은 모든 어업을 하나로 크게 묶어서 분석하기도 하고, 어떤 모델은 단일어업이나 단일어종을 대상으로 하기도 한다. Schaefer model은 상당히 일반화된 모델로서 다양한 경우에 적용되어 오고 있으며 개체군역학을 설명하기 위한 통합모델로 가장 널리 사용되고 있다고 분석된다.

통합수준이 높을수록 어업을 간략화하는 수준이 높는데 여러 종류의 어종들을 하나의 성장함수로 통합시켜 설명하는 것은 실용적이기는 하지만 생물학적으로는 무리가 있다. 그러므로 결과를 해석하는 데는 주의가 필요하다.

FishPEM의 경우, 수산자원을 생물학적으로 정량적인 평가를 하는 것 보다는 어업의 경제적 원칙과 어업관리를 분석하는데 목적이 있다. 따라서 현재로는 추상적인 자료와 매개변수가 사용되었으므로 모델의 공간적인 규모에 대한 것이나 어느 특정어업을 나타내지 못하고 있다. 앞으로

이 모델이 더 널리 활용되기 위해서는 매개변수화의 개선이 필요하다. 다양한 지원정책의 상대적 영향을 평가하기 위해서는 어획노력량의 경제적 결정치에 대해 특히 매개변수의 정확성이 개선되어야 한다.

Y(생산량)와 X(자원량)에 대한 방정식들은 이 모델이 가지고 있는 방정식 체계의 일부분이다. 이 모델에서는 초기자원량 수준이 결과를 좌우하게 되는데, 어획노력량의 증가는 자원수준이 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 높은 수준에 있으면 생산량을 증가시키지만, 만약 자원수준이 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮으면 생산량을 감소시킨다. 개방어업의 경우 초기자원량은 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮게 보았는데, 이는 대개 개방어업이 자원의 과도어획 상태를 초래하기 때문이다. 개방어업의 경우 초기자원량은 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮게 보았기 때문에 어획노력량의 증가는 평형자원량과 평형생산량을 감소시키게 되어 어획대상 자원량을 감소시킨다.

2. 모델의 평가

FishPEM 모델의 생물학적 부분은 어획노력량과 생산량을 연결하는 로지스틱 성장모델을 기초로 한 Schaefer 모델을 사용하였다. Schaefer model은 가장 기본적인 모델이지만 평형상태를 가정하므로 자원이 평형상태를 유지해야 한다. 따라서 이 모델은 평형상태에서의 자원의 생물학적 속성을 근거로 하여 어떤 주어진 어획노력량에 대해 막연히 이에 따르는 생산량과 자원량이 유지된다는 비현실적인 가정을 기초로 하고 있다.

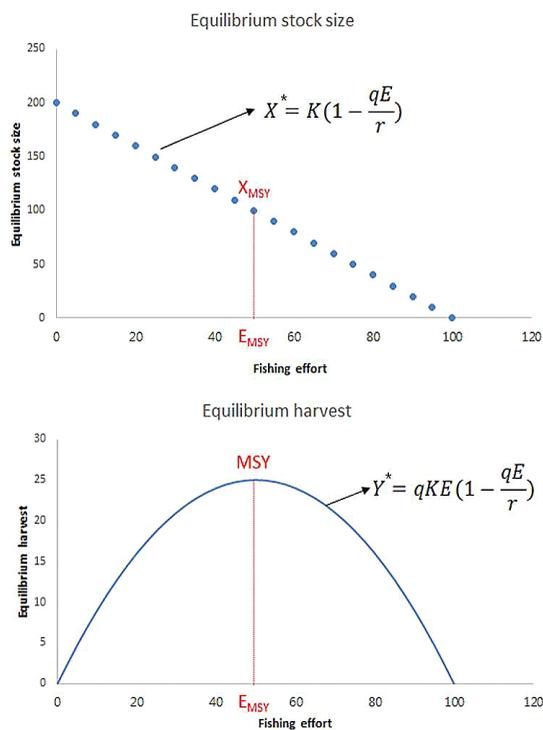
Fox(1970)는 잉여생산량 모델을 적용하기 위해 갖추어야 할 여섯 가지 조건을 다음과 같이 제시하였다. 첫째, 최소한 10개년의 개체군 및 어획자료가 이용 가능해야 할 것, 둘째, 대상 자원이 4-8년의 수명을 가져야 할 것, 셋째, 자원생물의 2-4개의 연급군이 어획의 대상이 되어야 할 것,

넷째, 어획의 대상 첫 연령이 1~3년일 것, 다섯째, 10개년에 걸친 어획 자료에서 평균 CPUE의 변화가 연 2~3%일 것, 끝으로 안정된 환경을 가질 것 등이다. 그러나 이와 같은 조건을 다 갖출 수 있는 수산자원은 거의 찾아 볼 수 없다.

심지어 Hilborn and Walters(1992)는 이들의 유명한 저서인 ‘Quantitative Fisheries Stock Assessment’에서 평형상태 모델의 사용에 대해 “감소하고 있는 자원에 대한 자료를 적용하는 경우에 평형상태 방법들은 일반적으로 잉여생산량(적정어획노력량)을 과대평가한다. 결코 평형상태 방법들을 사용하지 말라.”라고 경고한 바 있다.

FishPEM에서 ‘초기자원량 수준이 결과를 좌우하게 되는데 어획노력량의 증가는 초기 자원수준이 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 높은 수준에 있으면 생산량은 증가되지만, 만약 자원수준이 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮으면 생산량은 감소된다’고 MSY에 대하여 언급하고 있다. 따라서 먼저 MSY에 대한 이해가 아주 중요하므로 MSY에 대한 설명의 추가가 필요할 것으로 보인다. 독자들의 이해를 돕기 위해서 FishPEM의 어획량과 자원량에 대한 식(3)과 식(4)로부터 유도될 수 있는 다음의 3개의 수식들, $MSY = rK/4$, $X_{MSY} = K/2$, $E_{MSY} = r/2q$ 를 추가하여, [Fig. 1] 과 같이 그래프로 설명하고자 한다.

FishPEM 모델은 어업참여에 제약이 없고 어업규제가 없는 자유어업(open access)이 자원의 과도어획 상태를 초래하기 때문에 자유어업의 경우, 초기 자원량을 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮게 보았다. 반면 FishPEM 모델에서 TAC 어업의 경우 자원수준을 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮게 되는 경우가 없으므로 생산수준을 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 낮게 제한을 두었다. 그러나 이 가정은 논란의 대상이 될 수 있다. 실제로 초기 자원량 수준을 정하는 것은 이 모델에서 매우 중요한 사항이다. 자유어업은 실제로 어떤 어업이 개시되면서 자원상태가



[Fig.1] Equilibrium stock size(X^*) and equilibrium harvest(Y^*) with respect to fishing effort(E) of the Schaefer production model

양호해서 관리가 필요하지 않을 때 시행되는 경우가 많으며, 어업이 계속되면서 자원의 감소 징후가 나타나게 되면 어획규제 등 자원관리의 필요성이 대두되면서 TAC 규제와 같은 관리조치를 채택하기 시작한다. 따라서 자유어업의 경우 초기 자원량을 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 높은 수준에 있다고 보고 이 경우에 대해서도 분석할 필요가 있다. 또한 TAC어업의 경우에는 실제로 과학적인 자원평가를 바탕으로 자원이용을 극대화하는 경향이 있으므로 초기 자원량을 MSY수준 근처에 있다고 보고 분석하는 것도 필요할 것으로 보인다.

자유어업의 경우 [Fig. 2] 에서 보는 바와 같이 초기 자원량($X_0=50$)을 $MSY(=25)$ 를 생산할 수 있는 수준($X_{MSY}=100$)보다 낮게 두고 분석하였다. 이 경우 Effort가 E_0 에서 E_1 으로 $1.80(75+1.8=76.8)$ 증

가하면 Stock Size는 X_0 에서 X_1 으로 3.59(50-3.59=46.41) 감소하고, 어업생산량은 Y_0 에서 Y_1 으로 0.93(18.75-0.93=17.82) 감소한다는 결과가 도출되었다. 그러나 만약 자유어업의 초기 자원량을 MSY를 생산할 수 있는 수준보다 높게 $X'_0=150$ 으로 두고 분석하면 오히려 Effort가 E'_0 에서 E'_1 으로 1.80 증가할 때 X'_0 에서 X'_1 으로 Stock Size는 감소하지만 Harvest는 Y'_0 에서 Y'_1 으로 오히려 증가하게 된다. 이 경우 Stock Size는 감소하지만 MSY(=25)를 생산할 수 있는 수준($X_{MSY}=100$)보다는 높은 수준에 계속 머무르게 되는 것을 알 수 있다.

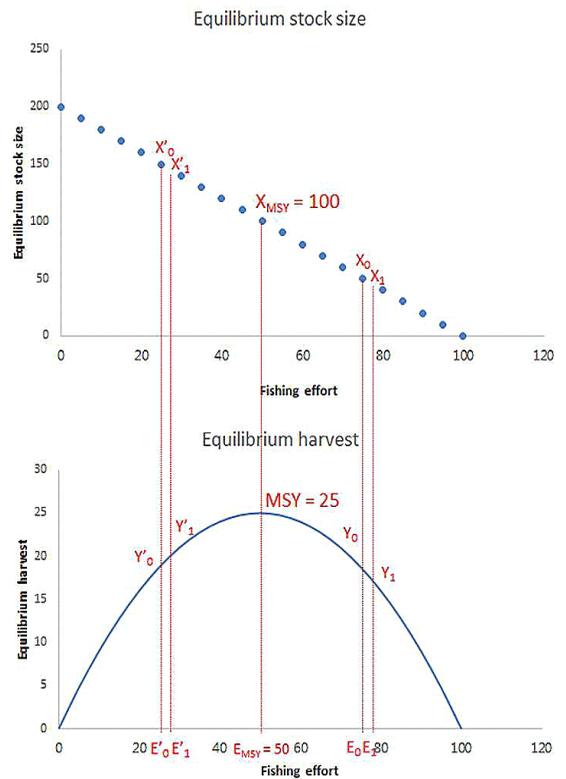
따라서 초기 자원량을 어디에 설정하느냐에 따라서 증감현상이 다르게 나타난다. 정확한 분석을 위해서는 현재의 자원량이 MSY를 생산할 수 있는 수준과 비교해서 어디에 있는지를 확실히 파악해야 한다. 그러므로 이 분석과정을 통해 자원평가 결과 남획된 자원을 대상으로 어획하는 어업에 대해서는 지원을 하지 않는 정책이 필요하다고 분석된다.

<Table 1>에서 지원으로 인한 변동을 절대 변화량만 나타냈는데, 상대적 변화율(%)도 괄호에 추가하면 상대적으로 비교하는데 유익할 것으로 보인다. <Table 1>에서 6가지의 지원 항목 중 가장 높은 어획노력량(E) 변화값인 입력변수의 사용에 근거한 자원(2.40) 항목과 가장 낮은 어획노력량(E) 변화값인 어업인 소유자산의 사용에 근거한 자원(1.12) 항목을 선택하여 식(5)와 식(6)을 사용해서 새로운 평형상태에 도달하는 시간(년수)을 검토해 보았다. 이들 어획노력량이 증가하면 새로운 평형상태가 되면서 Stock Size는 4.80와 2.24로 각각 감소하고, Harvest도 1.26과 0.57로 각각 감소한다는 결과가 도출되었다([Fig.3-a, b] 참조, A: for 2.40, B: for 1.12).

그러나 앞에서 소개한 비평형 모델의 식(5)와 식(6)을 사용해서 연간변동을 분석해 보면 다음과 같다. 첫 2년 동안에는 Stock Size와 Harvest가 모두 증가하다가 3년째부터 감소하기 시작해서

Stock Size가 4.80와 2.24에 이르는 기간, 즉, X_0 에서 X_1 으로 감소하는 기간은 각각 57년과 48년이 소요되어 평형상태에 이르게 되었다. Harvest의 경우에는 1.26과 0.57에 이르는 기간, 즉, Y_0 에서 Y_1 으로 감소하는 기간이 각각 54년과 37년이 평형상태에 도달하는데 소요되었다([Fig. 3] 참조). 따라서 이론적으로 이 모델에서 사용한 평형상태를 가정하는 경우 새로운 평형상태에 이르는 기간이 상당히 길다는 사실을 알 수 있다.

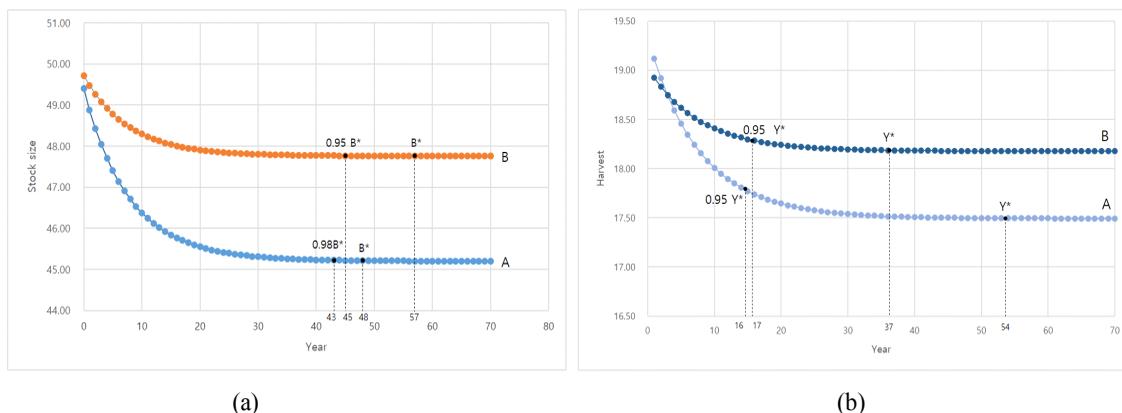
결론적으로 FishPEM 모델의 식(3)과 식(4)를 사용해서는 새로운 평형자원량과 생산량은 알 수 있지만 이들이 새로운 평형상태에 이르는 기간을 추정할 수는 없다.



[Fig.2] Relationships among maximum sustainable yield(MSY), stock size for achieving MSY(X_{MSY}), and fishing effort for achieving MSY(E_{MSY}) used in the analysis of this model

<Table 1> Simulation results in open access version of model(Revised from OECD, 2018)

	Support based on Fishers' income	Support based on the use of Fishers' owned capital	Support based on Vessels	Support based on the use of variable inputs	Support based on the use of fuel	Support based on output
Effort	1.80	1.12	1.29	2.40	2.32	2.18
Stock Size	-3.59	-2.24	-2.57	-4.80	-4.64	-4.35
Harvest	-0.93	-0.57	-0.66	-1.26	-1.21	-1.13



[Fig. 3] Estimated annual stock size and harvest by support categories based on non-equilibrium stock production model

IV. 고 찰

수산지원 정책 변화가 수산자원에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수산지원정책 평가모델인 FishPEM을 분석하고 평가한 결과 다음과 같이 고찰을 하고자 한다.

생물모델에서 자료가 부족한 경우에 사용되고 있는 Schaefer 모델과 같은 잉여생산량 모델을 적용하는 것보다는 가능하다면 분석적 모델 (Analytic model, or dynamic pool model)의 적용을 고려해 보는 것이 바람직하다. 만약 Schaefer model을 사용해야만 하는 경우에는 non-equilibrium 방식을 평가에 사용하는 것이 합리적일 것으로 분석된다.

비록 FishPEM 모델의 목적이 수산자원을 생물학적으로 정량적인 평가를 하는데 있지 않고, 어업의 경제적 원칙과 어업관리를 분석하는데 목적이 있다고 했으나 생물학적 부분이 수산자원의

평가에 있어서 가장 기초가 되며 핵심이기 때문에 무엇보다도 합리적이고 정확하게 생물학적 부분이 평가되지 않으면 이 모델의 다음 단계의 평가는 의미가 없게 된다.

현재로는 추상적인 자료와 매개변수가 사용되었으므로 모델이 어느 특정어업, 특정어종에 적용했을 때 적합한지 여부를 파악하기 어렵다. 앞으로 이 모델을 일반화하여 널리 활용하기 위해서는 대안으로 다음의 3가지 요인을 고려할 필요가 있다.

첫째, 실제 오랜 기간 동안의 어업 자료가 갖춰져 있고 생물학적 정보를 가지고 있는 어업과 어종을 선택해서 모델의 적절성과 적용성을 평가해야 한다. 어종의 선택 시 가능하면 수명이 짧고 고유의 성장률이 높은 종이나, 수명이 길고 고유의 성장률이 낮은 종을 골라서 분석할 필요가 있다. 왜냐하면 이 두 경우는 외부 영향에 아주 상이한 생태학적 반응을 보이기 때문이다.

둘째, 관련 생물학적 자료와 어획자료들을 사용하여 실제 매개변수(K , r and q)와 이들의 변이도(분산이나 표준오차)를 추정해야 한다.

셋째, 이들 매개변수와 변이도를 활용하여 잉여생산량 모델 이외의 모델이나, 혹은 비평형 잉여생산량 모델과 같은 적절한 모델을 사용해서 생물부분의 합리적인 시뮬레이션 결과를 도출하여야 한다. 아울러 다른 부분과 연동해서 경제적, 사회적 결과의 도출을 시도하여야 한다.

궁극적으로는 최근 국제사회에서 강조되고 있는 생태계 기반 자원평가에 대한 관리 방안을 개발할 필요가 있다. 즉, 자원생물간 상호작용, 서식처, 사회경제적 혜택을 추가로 고려해야 한다 (Zhang et al., 2003, 2011).

References

Beverton, RJH and Holt SJ(1957). On the Dynamics of Exploited Fish Populations, Fishery Investigations, Series II, Marine Fisheries. Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19, 533pp.

Csirke J and Caddy JF(1983). Production modelling using mortality estimates. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 43~51.

Fox WW Jr.(1970). An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 90, 80~88.

Graham, M(1935). Mordern theory of exploiting a fishery, an application to North Sea trawling. *J. Cons. int. Explor. Mer.*, 10, 264~274.

Hilborn and Carl J. Walters(1992). Quantitative Fisheries Stock Assessment: choice, dynamics, and uncertainty, New York: Chapman and Hall, 305.

OECD(2018). The Fisheries Policy Evaluation Model(FisfhPEM). Basic structure and early results. Presented for discussion to the 121st session of the Fisheries Committee, 33p.

Pella JJ and Tomlinson PK(1969). A generalized stock production, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 6, 275~288.

Schaefer MB(1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1, 25~56.

Schaefer MB(1957). A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 2, 245~285.

Schnute J(1977). Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34, 583~603.

Verhulst PF(1835). Notice sur la loi que la population suit and dans son accroissement. *corresp. Math. et phys.*, 10, 113~121.

Zhang CI and Sullivan PJ(1988). Biomass-based cohort analysis that incorporates growth. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 117(2), 180~189.

Zhang CI, Hollowed AB, Lee JB and Kim DH (2011). An IFRAME approach for assessing impacts of climate change on fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1318~1328.

Zhang CI, Lee SI and Kim JM(2003). Ecosystem-based Management of Fisheries Resources in Marine Ranching Areas. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 6(1), 71~83.

-
- Received : 19 June, 2019
 - Revised : 12 July, 2019
 - Accepted : 19 July, 2019