

ME모델을 이용한 연근해어업의  
어획노력수준평가에 관한 연구

하진미 · 표희동

---

부경대학교



# ME모델을 이용한 연근해어업의 어획노력수준평가에 관한 연구

하진미, 표희동

## <목 차>

- I. 서론
- II. ME모델을 이용한 연근해어업의 어획노력수준평가
- III. 어선감척프로그램의 효과분석
- IV. 요약 및 결론

## I. 서론

우리나라 연근해 어업생산량은 1960년대 초 약 40만 톤 수준에 불과하였으나 어선 세력의 증대와 더불어 급속한 성장을 보임으로써 1970년대 들어서는 100만 톤을 넘어섰다. 그러나 그 이후 어획 증가율은 둔화되기 시작하였고 1980년대 이후 최근까지 110만톤 수준에서 정체되어 있는 실정이다. 단위노력당 어획량 또한 1980년 어선 톤당 어획량이 3.4톤에서 2003년 3톤, 어선 마력당 어획량이 1980년 866톤에서 2003년 76톤으로 감소하고 있다.

여기에는 여러 가지 이유가 있을 수 있겠으나 자원량에 비해 어획노력이 과다한 것이 가장 주요한 원인으로 파악된다. 어업에서 이렇게 과잉노력이 존재하는 근본적인 이유는 자원이 가지는 무주물적 성격으로 인해 자원이용의 접근이 무제한적이고, 자원의 관리가 어렵기 때문이다. 어업자원은 모든 어업인에게 개방되어 있고, 이익이 존재하는 한 어업자는 오직 각자의 개별경영의 합리화에 입각하여 최대어획 또는 최대수익을 얻고자 과당경쟁과 단기간의 과잉 투자를 하게 되므로 결과적으로는 인간의 노동력 및 자본과 어업자원의 비합리적 낭비를 초래하게 된다. 즉, 과잉어획능력은 자원을 고갈시키고 자원지대를 소멸시킬 잠재력을 항상 내포하고 있는 것이다.

현재 우리나라에서도 어업에서의 과잉어획노력 문제를 극복하기 위해 지속적인 어획노력규제정책을 시행하고 있지만 아직까지 뚜렷한 실효성이 나타나지 않고 있다. 이는 그동안의 관리정책이 체계적이고 과학적인 분석 없이 일률적인 어획노력량 규제로 일관되어 왔기 때문이며, 이러한 관리정책 하에서 실질적인 자원회복효과를 기대하기는 어렵다(해양수산부, 2003).

효율적인 어업관리를 위해서 가장 필요한 것이 바로 어업자원에 대한 정확한 조사 및 평가이다. 특히 정부가 현재 추진하고 있는 어선감척사업도 이러한 자원 평가를 바탕으로 경제적 최대 효율성을 달성할 수 있는 ‘최적어선세력’을 결정하는 것이 타당할 것이다.

본 연구는 이러한 자원평가의 필요성을 인식하여 생물경제모델을 이용한 자원량 추정을 통해 현재의 자원상태를 파악하고, 지속가능한 어업을 유지할 수 있는 어획노력수준을 결정하는 것을 연구의 목적으로 한다. 이를 위해서 자원량평가모델의 하나인 ME모델을 이용하여 연근해어업의 지속가능한 어획량 및 어획노력량을 추정하고, 정책시뮬레이션을 통해 어선세력을 감소시켰을 경우(with project)와 그렇지 않은 경우(without project)를 비교하여 어선감척의 효과를 분석함으로써 차후에 어선감척사업 등에 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

## II. ME모델을 이용한 연근해어업의 어획노력수준평가

### 1. ME 모델

주어진 문제가 불확실하거나 데이터의 수가 미지의 파라메타 보다 적은 경우, 연구자들은 대체로 선형적 제약을 강요하거나 방정식의 수를 감소하여 모델을 단순화하고자 한다. 하지만 이러한 접근은 모델의 유용성을 감소시키고 잘못된 추정이나 추론결과를 이끌 수 있다. Maximum Entropy(이하 ME)는 이러한 점에서 이전의 전통적 추정방식에 의해 야기된 문제들을 최소화하여 ill-posed 문제를 well-posed 변화하도록 유도한다. 간단히 말하면, ME의 기본개념은 ‘어떠한 사건의 모수(확률분포)를 추정할 때 주어진 조건(연구자가 알고 있는 모든 조건)을 만족하고, 추가적인 제약 없이 그 확률분포의 무질서도를 극대화하여 추정하는 기법’이다. 그러면 ME에 대해 좀더 자세히 알아보기로 한다.

ME의 기본개념에 대해 이해하기 위하여 우선 다음의 식을 고찰해 보자 (Golan(1996a) pp7~11 참조).

$$y = Xp \dots\dots\dots (1)$$

- ① 이 문제는 유한하고, 이산적이며, 선형의 모형이다.
- ② 관찰 가능한 변수인  $y$ 는 T차원의 벡터이다.

③ X는 선형이며,  $K > T$ 를 만족하는  $(T \times K)$  행렬로서 그 값이 주어져 있다.

④ 확률분포  $p$ 는  $\sum_{k=1}^K p_k = 1, p_k \geq 0$ 을 만족하고 있다.

⑤ 위 조건하에서 확률분포  $p = (p_1, p_2, \dots, p_K)$ 를 추정하고자 한다.

위 문제는 관찰가능한 개수(T)보다 미지의 개수(K)가 많은 ill-posed 문제이다. Shannon(1948)은 이러한 문제에 대한 불확실성을 측정하기 위한 유일함수를 정의하는 공리적 방법으로 확률분포의 엔트로피를 다음과 같이 정의하였다.

$$H(p) \equiv - \sum_K p_k \ln p_k, \quad \text{단, } 0 \times \ln 0 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

위의 추정에서 Shannon은 다음 식을 만족할 때 최대가 된다는 사실을 이용하였다.

$$p_1 = p_2 = \dots = p_K = \frac{1}{K} \dots\dots\dots (3)$$

위와 같이 정의된 엔트로피 함수의 유용성을 알기 위해 다음의 경우를 고찰해보자. K개의 결과를 생성하는 어떤 사건을 N번 시행한다. 이 때 각각의 결과의 발생회수를  $N_k$ 라 하자. 이에 따라 (4)식은 당연히 성립한다.

$$\sum_k N_k = N, \quad N_k \geq 0 \quad \text{and} \quad k = 1, 2, \dots, K \dots\dots\dots (4)$$

각각의 시행에서 K개 중 하나의 결과가 발생할 수 있고, 그 시행을 N번 반복하므로,  $K^N$  개의 사건들이 발생할 수 있다. 이 중에서 어떤 특정한 사건 발생을 생각하면 (5)식과 같이 정리할 수 있다.

$$p_k = \frac{N_k}{N} \quad \text{즉, } N_k = Np_k \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, K \dots\dots\dots (5)$$

이때 각각의  $N_k$ 를 알고 있다면 (5)식에 의해  $p_k$ 의 추정이 가능하나 우리가 알고 있는 것은 (1)식에 그치고 있다. 따라서 우리는 (1)식을 만족하는 미지의 사건 발생의 회수  $W$ 를 최대화 하는 방법으로  $p_k$ 를 추정할 수 있다. 위와 같은 사건이 발생할 수 있는 경우의 수를 모두 구하면 다음과 같다.

$$W = \frac{N!}{(N_1)! (N_2)! \dots (N_K)!} = \frac{N!}{\prod_k N_k!} \quad \dots\dots\dots (6)$$

위 식을 단조증가함수인 로그함수를 이용해 다시 쓰면 (7)식이 된다.

$$\ln W = \ln N! - \sum_{k=1}^K \ln N_k! \quad \dots\dots\dots (7)$$

이를 Stirling's approximation<sup>5)</sup>을 이용하여 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln W &\approx \ln N - N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k + \sum_{k=1}^K N_k \\ &= N \ln N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

여기서 (9)식이 나타내는 근사값이 성립한다고 가정할 수 있으므로 (10)식이 성립하고 결국, (11)식이 성립한다.

$$\frac{N_k}{N} = p_k \quad \text{as } N \rightarrow \infty \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{aligned} \ln W &\approx N \ln N - \sum_{k=1}^K N p_k \ln N p_k \\ &= N \ln N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N - N \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \end{aligned}$$

---

5)  $\ln x! = x \ln x - x$

$$= -N \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$N^{-1} \ln W \approx - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k = H(p) \quad \dots\dots\dots (11)$$

결국, W를 최대화하는 것은 엔트로피 함수 H(p)를 최대화하는 것과 같아진다. 이제 (4) 식을 ME 기법을 이용해 풀어보자.

$$\begin{aligned} \max H(p) &= - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \\ \text{s. t. } y_t &= \sum_{k=1}^K f_t(x_k) p_k, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ \sum_{k=1}^K p_k &= 1 \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

$p_k$ 를 추정하기 위해 라그랑지안함수를 이용하여 풀면 다음과 같이 풀 수 있다.

$$L = - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k + \sum_{t=1}^T \lambda_t (y_t - \sum_{k=1}^K f_t(x_k) p_k) + \mu (1 - \sum_{k=1}^K p_k) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{\sigma L}{\sigma p_k} = - \ln p_k - 1 - \sum_{t=1}^T \lambda_t f_t(x_k) - \mu = 0, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$\frac{\sigma L}{\sigma \lambda_t} = y_t - \sum_{k=1}^K f_t(x_k) p_k = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$\frac{\sigma L}{\sigma \mu} = 1 - \sum_{k=1}^K p_k = 0$$

$$\therefore p_k = \exp[- \sum_{t=1}^T \lambda_t f_t(x_k)] / \sum_{k=1}^K \exp[- \sum_{t=1}^T \lambda_t f_t(x_k)], \quad k = 1, 2, \dots, k$$

..... (14)

만약에 위 문제에서 제약조건이 없다면 모든  $p_k$ 가 같다는 것이 해가 될 것이다. 하지만, 제약조건이 주어져 있다면 그러한 제약조건을 만족하면서 엔트로피함수를 최대화 할 수 있는 확률분포가 해가 된다.

이제 이러한 ME기법을 이용하여 연근해어업의 어획량과 어획노력에 대한 추정모형을 설정하고자 한다. 일반적으로 자원의 어획량과 자원량의 변화를 나타내는 방정식은 다음과 같다.

$$y_t = f(E_t^j, X_t, \epsilon_t; \alpha) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$X_{t+1} - X_t = g(E_t^j, X_t, \mu_t; \beta) \quad \dots\dots\dots (16)$$

위 식에서  $y_t$ 는 연근해어업의 어획량을 나타내고,  $X_t$ 는 자원량 수준을 나타낸다.

$\alpha, \beta$ 는 추정파라메타를,  $\epsilon_t, \mu_t$ 는 오차항을 나타낸다. 이 문제를 풀기 위하여 먼저 모수와 오차항을 다음과 같이 확률변수화 하는 것이 필요하다.

$$\begin{aligned} \alpha &= p_1^\alpha \alpha_1 + p_2^\alpha \alpha_2 + \dots + p_m^\alpha \alpha_m \\ \beta &= p_1^\beta \beta_1 + p_2^\beta \beta_2 + \dots + p_n^\beta \beta_n \\ \epsilon_t &= p_{t1}^\epsilon \epsilon_{t1} + p_{t2}^\epsilon \epsilon_{t2} + \dots + p_{ti}^\epsilon \epsilon_{ti}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ \mu_t &= p_{t1}^\mu \mu_{t1} + p_{t2}^\mu \mu_{t2} + \dots + p_{ti}^\mu \mu_{ti}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1, \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (17)$$

이제 연안어업의 어획량 및 노력량 통계자료를 이용하여 다음과 같은 추정식을 설정하였다. 식은 Cobb-Douglas 생산함수형태를 지니고 있으며, 어획량과 연도별 자원량을 나타낸 식이다.

$$y_t = A E_t^\alpha X_t^\beta e^{\epsilon_t} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$X_{t+1} = [X_t + r X_t (1 - \frac{X_t}{K}) - y_t] e^{\mu_t} \quad \dots\dots\dots (19)$$



식(18)에서  $y_t$ 는 연안어업의 총 어획량을,  $A$ 는 어획계수를,  $E$ 는 어획노력량을,  $X_t$ 는 연도별 자원량을 나타내고,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 노력량과 자원량이 1% 늘어날 때 증가하는 탄성치를 나타낸다고 할 수 있다. 식(19)의  $r$ 은 고유성장률을,  $K$ 는 최대환경수용자원량을 나타내며,  $rX_t(1 - \frac{X_t}{K})$ 는 자연증가량<sup>6)</sup>을 의미한다.

이제 각각의 파라메타를 확률변수화 하는 것이 필요하다. 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 A &= p_1^A \times 0 + p_2^A \times 0.5 + p_3^A \times 1 \\
 \alpha &= p_1^\alpha \times 0 + p_2^\alpha \times 0.5 + p_3^\alpha \times 1 \\
 \beta &= p_1^\beta \times 0 + p_2^\beta \times 0.5 + p_3^\beta \times 1 \quad \dots\dots\dots (20)
 \end{aligned}$$

생산함수를 나타내는 식에서  $A, \alpha, \beta$ 는  $[0,1]$ 의 범위에 있다고 가정하였다.<sup>7)</sup>

$$\begin{aligned}
 r &= p_1^r \times 0 + p_2^r \times 1 + p_3^r \times 2 \\
 K &= p_1^K \times 0 + p_2^K \times 30,000,000 + p_3^K \times 60,000,000 \dots (21)
 \end{aligned}$$

고유성장률은 보통 1을 크게 넘지 않는 것으로 알려져 있다. 그래서 범위를  $[0, 2]$ 로 정하였다. 최대환경수용자원량인  $K$ 의 범위는 처음에  $[0, 10,000,000]$ 으로 설정하였다가 계산의 반복으로  $[0, 60,000,000]$ 으로 늘어났다.

$$X_t = p_{t1}^X \times 0 + p_{t2}^X \times 15,000,000 + p_{t3}^X \times 30,000,000, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2003,$$

$$\epsilon_t = p_{t1}^\epsilon \times 0 + p_{t2}^\epsilon \times (-0.2) + p_{t3}^\epsilon \times 0.2, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2003,$$

---

6) 자연증가량과 어획량이 같은 수준일 때 최대지속어획이 가능하다.

7)  $A$ 는 어획노력량과 자원량 수준이 1일 때의 어획량을 뜻한다. 그러므로 1보다 작은 값일 것이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 값 또한 콥-더글라스 생산함수를 나타내므로 범위를  $[0,1]$ 로 한정하였다.

$$\mu_t = p_{t1}^\mu \times 0 + p_{t2}^\mu \times (-0.2) + p_{t3}^\mu \times 0.2, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2002, \dots (22)$$

연도별 자원량의 크기는 K/2수준인 [0, 30,000,000]으로 정하였고, 오차항의 범위는  $\pm 10\%$ 내외로 설정하기 위해 [-0.2, 0.2]로 한정하였다.

위의 식을 제약조건으로 하고, 확률의 조건

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 p_i^j &= 1, \quad j = A, \alpha, \beta, r, K \\ \sum_{i=1}^3 p_{ti}^X &= 1, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2003 \\ \sum_{i=1}^3 p_{ti}^\epsilon &= 1, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2003 \\ \sum_{i=1}^3 p_{ti}^\mu &= 1, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2002 \quad \dots (23) \end{aligned}$$

을 만족하는 다음 식을 GAMS를 이용하여 푼다.

$$\max \left[ - \sum_i^3 p_i^j \ln p_i^j - \sum_t \sum_{i=1}^3 p_{ti}^k \ln p_{ti}^k \right], \quad j = A, \alpha, \beta, r, K, \quad k = X, \epsilon, \mu \dots (24)$$

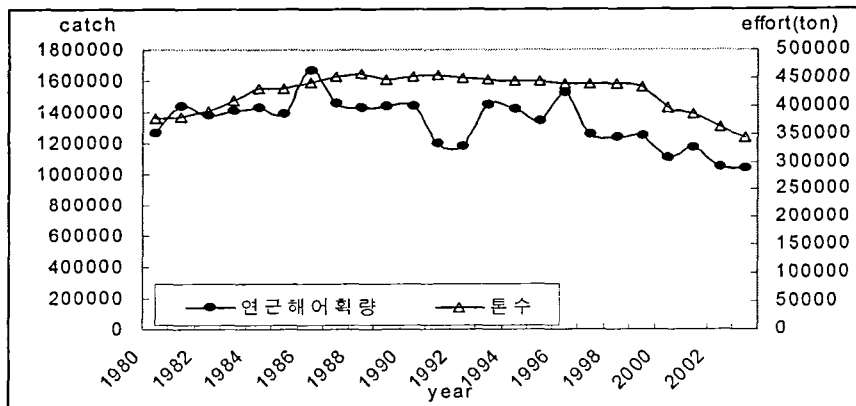
## 2. 우리나라 연근해 어업의 지속가능어획노력수준 평가

본 연구에서 우리나라 연근해어업의 지속가능한 어획수준 및 노력수준 산정을 위해 도입한 MSY는 근본적으로 어종에 대한 기본개념으로써 일반적으로 어업에 대한 자원량 추정에 이용할 수 없는 것이 사실이지만, 여기서는 우리나라 연근해 자원을 하나의 어종(aggregate fisheries stock)으로 간주하여 이를 통해 생산합수를 추정함으로써 궁극적으로 연근해어업의 MSY 및 MSY수준을 달성하는 어획노력수준을 산정하고자 한다.<sup>8)</sup>

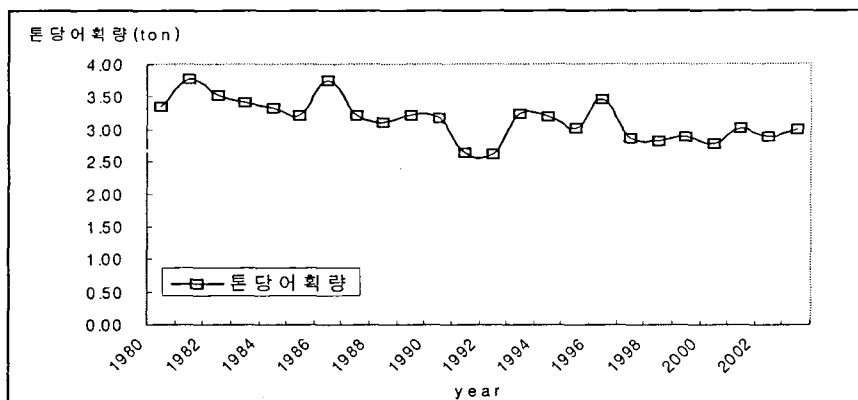
8) 이러한 개념을 도입하여 연근해어업의 MSY를 추정한 사례로 타이완의 SUN(1998)과 해양

본 연구에 필요한 어획노력량은 어선톤수로 정하였는데 이는 연간 톤수가 어획량의 변화와 거의 일치하고 있으며 이를 통해 어선의 운영비용에 의하여 조업수준이 결정되는 것과 함께 어선의 퇴출이 어획량이 평균어선크기에 따른 비용에 이르지 못할 때 나타나는 것을 보여준다고 할 수 있기 때문에 어획량과 밀접한 어선톤수를 어획노력으로 책정하는 것이 합리적이라고 판단되었다.

분석에 앞서 우리나라 연근해 어업의 어획량 및 노력량, CPUE를 살펴보면 2003년 현재 어획량은 1,036,129톤으로, 1980대 초부터 급락을 거듭하다가 1996년 이후 지속적인 감소추세를 보이고 있다. 또한 어획노력에 해당하는 어선톤수도 1999년 이후로 감소하고 있지만, 단위당 어획량이 감소추세에 있는 것을 볼 때 어획노력의 감소로 인한 어획량의 감소는 아닌 것으로 보이며, 우리나라 연근해의 자원에 지속적으로 남획이 진행되고 있다는 것을 짐작할 수 있다.



[그림 1] 연근해어획량 및 톤수



[그림 2] 연근해어업의 톤당어획량

수산부(2003)가 있다.

이러한 연근해 데이터를 기본 자료로 하여, ME 모형을 통하여 분석한 결과 다음 [표 1], [표 2]와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

[표 5] 각 파라메타의 추정 결과

Parameters	A	r	K	$\alpha$	$\beta$
Estimates	0.505	0.121	30,300,000	0.165	0.76

[표 6] 연도별 자원량 추정 결과

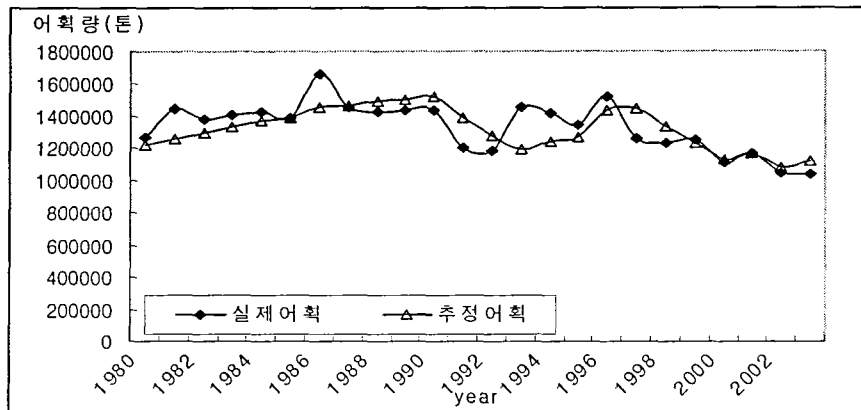
year	확률분포			자원량(톤)
	X=0	X=15,000,000	X=30,000,000	
1980	0.330	0.306	0.364	15,510,000
1981	0.330	0.267	0.403	16,095,000
1982	0.330	0.239	0.431	16,515,000
1983	0.330	0.209	0.461	16,965,000
1984	0.330	0.180	0.490	17,400,000
1985	0.330	0.154	0.516	17,790,000
1986	0.330	0.085	0.585	18,825,000
1987	0.330	0.079	0.591	18,915,000
1988	0.330	0.060	0.610	19,200,000
1989	0.330	0.039	0.631	19,515,000
1990	0.330	0.021	0.649	19,785,000
1991	0.252	0.330	0.418	17,490,000
1992	0.308	0.330	0.362	15,810,000
1993	0.330	0.381	0.289	14,385,000
1994	0.330	0.326	0.344	15,210,000
1995	0.313	0.330	0.357	15,660,000
1996	0.330	0.111	0.559	18,435,000
1997	0.212	0.330	0.458	18,690,000
1998	0.277	0.330	0.393	16,740,000
1999	0.330	0.330	0.340	15,150,000
2000	0.377	0.330	0.293	13,740,000
2001	0.352	0.330	0.318	14,490,000
2002	0.394	0.330	0.276	13,230,000
2003	0.368	0.330	0.302	14,010,000

[표 2]를 근거로 추정방정식을 구하면 다음 식(25)과 식(26)와 같다.

$$y_t = 0.505 E_t^{0.165} X_t^{0.76} \dots\dots\dots (25)$$

$$X_{t+1} - X_t = 0.121 X_t \left(1 - \frac{X_t}{30,300,000}\right) - y_t \dots\dots (26)$$

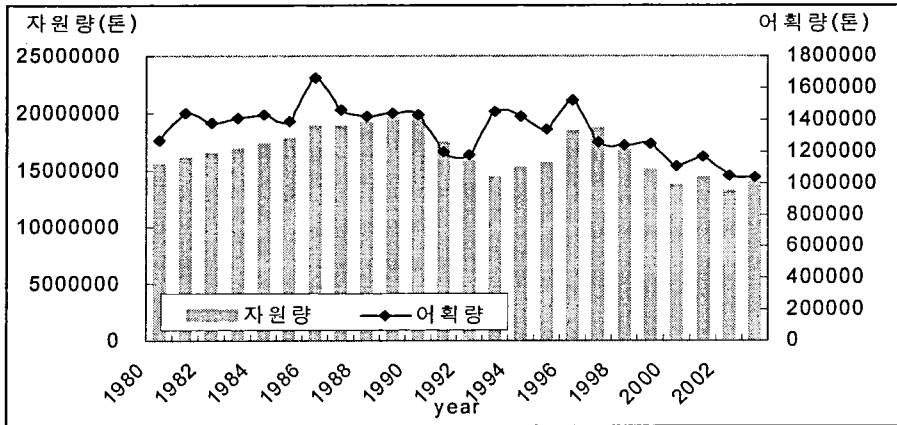
위 식에서 알 수 있는 것처럼 연근해 자원의 고유성장률은 0.121, 환경최대수용능력은 30,300,000톤, 2003년 현재의 자원량 수준은 14,010,000톤으로 추정되었다. 이를 토대로 추정어획량과 실제 어획량을 비교하면 다음 [그림 3]과 같다.



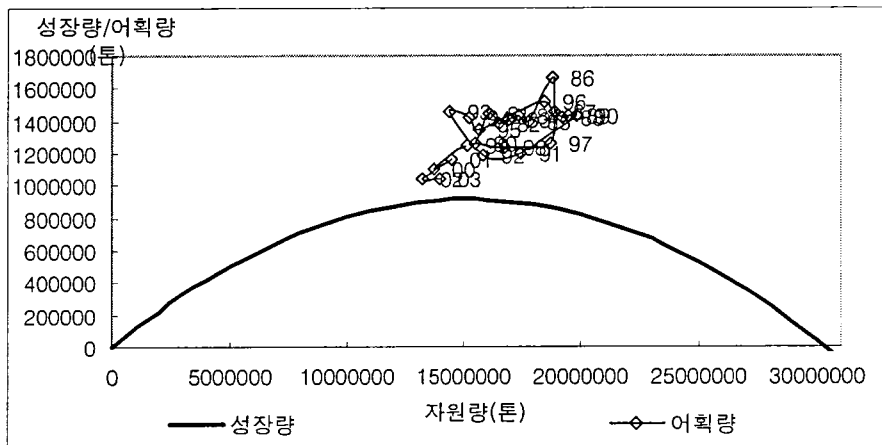
[그림 3] 연근해어업의 추정어획량과 실제어획량 비교

추정어획량과 실제어획량을 비교해 보면 추정 어획량의 변화폭이 실제 어획량보다 작긴 하지만 대체적으로 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

이를 토대로 연도별 자원량과 지속가능한 어획량 수준 및 어획노력수준을 그래프로 나타내면 다음 [그림 4], [그림 5]와 같다. 먼저 자원량수준과 어획량 정도를 살펴보면 1990년대 초까지 자원량이 증가하다가 이후 증감을 반복하였고 1998년 이후부터는 자원량이 계속 감소하여 그에 따라 어획량수준도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 [그림 5]에 나타난 바와 같이 어획량은 과거에 지속적으로 자연 성장량, 즉 MSY를 상회하는 과도한 어획이 이루어 졌으며, 최근 어획량이 감소하고 있기는 하지만 단위당 어획량의 증가추이를 봤을 때([그림 2] 참조) 어획노력의 감소로 인한 결과라기보다는 자원의 고갈로 인한 어획감소인 것으로 파악된다.



[그림 4] 연근해어업의 자원량과 어획량



[그림 5] 연근해어업의 자연성장량과 어획량

위의 결과를 토대로 연근해 어업에 대한 분석 결과, 지속가능한 어획량 수준은 현 어획량 수준의 88%에 해당하는 912,788톤 수준이며, 이러한 어획수준을 달성하기 위한 어획노력수준은 현재의 어획노력톤수인 345,066톤의 38%인 131,629톤인 것으로 추정되었다. 즉, 지속가능한 어업을 유지하기 위한 적정어획노력수준은 현재의 어획노력수준에서 62%정도를 감소시켜야 한다는 것이다.

따라서 현재 어선감척 등 어획노력축소정책이 시행되고 있고 어선 척수나 톤수 등의 어획노력 또한 감소하고 있지만, 이로 인한 자원회복효과는 미미한 것으로 판단되며 현재의 어획노력에 대비하여 훨씬 더 강도 높은 어획노력조정이 필요한 것으로 분석된다.

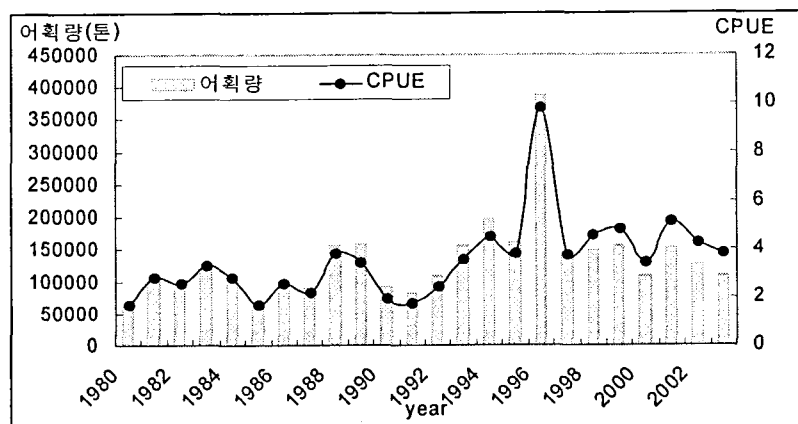
### 3. 대형선망어업에 대한 지속가능어획노력수준 평가

이번 절에서는 우리나라 주요 어종의 하나인 고등어에 대한 자원평가를 토대로 대형선망어업의 적정어획노력수준을 추정하고자 한다. 고등어를 대상어종으로 선정한 이유는 고등어가 대중성 어종으로 다른 어종에 비해 경제적 가치가 크고, 대형선망어업이 국내 고등어 생산의 80~90% 정도를 어획하고 있어 분석에 필요한 데이터를 구하기가 다른 어종에 비해 용이하기 때문이다.

#### 가. 고등어의 어획량 및 CPUE

고등어는 멸치, 갈치, 오징어와 더불어 우리나라 연근해에서 가장 많이 생산되고 있는 어종 중의 하나이다. 고등어의 어획량은 1975년에서 1987년까지는 5만 톤에서 10만톤까지 변동을 보이다가 1988년 및 1989년에 15만톤을 넘어섰다. 그 후 10만톤 수준으로 감소하였지만 1993년 이후 최근까지 15만톤 이상의 비교적 높은 어획을 보여 왔으며, 특히 1996년에는 사상 최고의 어획량인 42만톤을 기록하기도 했다. 최근 어획량은 2002년 14만톤, 2003년 12만2천톤을 보이다가 2004년 18만 4천톤을 기록하여 어획량의 변동이 매우 불규칙적인 것으로 나타났다.

단위노력당 어획량(CPUE)는 어획량과 마찬가지로 1980년 이후 증감의 변동을 보이면서 점차 증가하여 1996년 최고의 값을 보이다가 다시 이후에 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 이를 통해 고등어 자원이 남획상태에 있다고 단정할 수는 없지만 자원이 매우 불안정한 상태에 있다는 것을 짐작할 수 있다.



[그림 6] 고등어의 어획량 및 단위노력당 어획량

### 나. 주요 어획대상 어업

고등어를 어획대상으로 하는 어업은 대형선망을 비롯한 유자망, 정치망, 안강망 등이 있지만 그 중에서 대형선망에 의한 어획이 단연 높은 수준에 있다. 어획비율을 살펴보면 전체 어획량의 80~90%가 대형선망에 의해 어획되어 온 것을 알 수 있다. 한반도 주변 수역에서는 한국, 중국, 일본 등의 선망 및 저인망 어업에 의해 주로 어획되며 각국의 연근해 어업에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다.

[표 7] 고등어 어업의 주요 어획대상어업

어업/연도	1980	1985	1990	1995	2000	2002
대형선망	96.6	91.2	95.4	79.7	74.7	89.3
정치망	1.3	3.7	1.8	9.5	—	—
근해자망	0.5	1.2	0.6	2.4	0.8	1.6
연안자망	1	0.9	0.1	0.6	0.7	0.9
근해안강망	0.2	0.9	0.3	1.2	0.2	0.2
기타	0.4	2.1	1.8	16.1	23.6	8

(자료: 해양수산부, 해양수산물통계연보, 각 연도)

### 다. 분석의 결과

80~90%를 차지하는 대형선망의 노력량 데이터(톤수)를 이용하여 ME분석한 결과 다음 표와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이를 바탕으로 추정방정식을 구하면 다음과 같다.

[표 8] 각 파라메타의 추정 결과

Parameters	A	r	K	$\alpha$	$\beta$
Estimates	0.184	0.139	3,500,000	0.191	0.835

$$y_t = 0.184E_t^{0.191} X_t^{0.835} \dots\dots\dots (30)$$

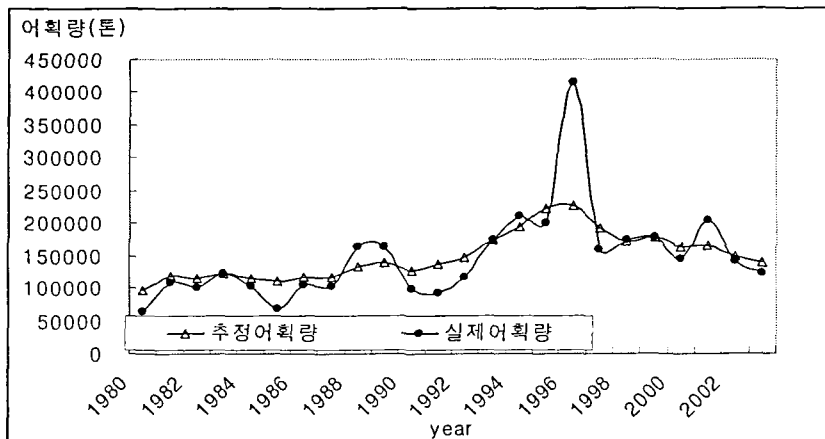
$$X_{t+1} - X_t = 0.139X_t \left(1 - \frac{X_t}{3,500,000}\right) - y_t \dots\dots (31)$$



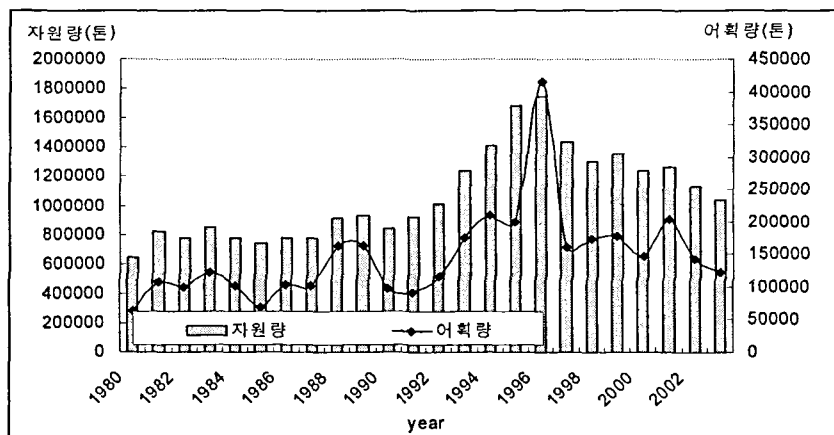
추정식을 통해 고등어의 고유 성장률은 0.139, 환경최대수용능력은 3,500,000톤인 것으로 확인되었다. 또한 위 추정식을 보면 노력량에 비해 자원량의 탄성치가 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 이는 곧 고등어의 어획량에 영향을 주는 변수 중 노력량보다 자원량이 더 큰 영향을 준다는 것으로, 고등어 자원량의 상태가 어획량에 많은 영향을 준다는 것으로 해석할 수 있다.

위 식을 토대로 추정어획량과 실제어획량을 비교한 결과 다음과 같이 1996년도의 어획량을 제외하고 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

연도별 자원량을 분석한 결과 90년대 중반까지 다소 증가하다가 이후에 감소하여 최근의 자원량은 1,045,000톤 수준을 유지하고 있으며, 자원의 변동폭이 매우 크고 어획량 또한 증감을 반복하고 있어 좀 더 체계적이고 지속적인 자원관리가 필요한 것으로 판단된다.

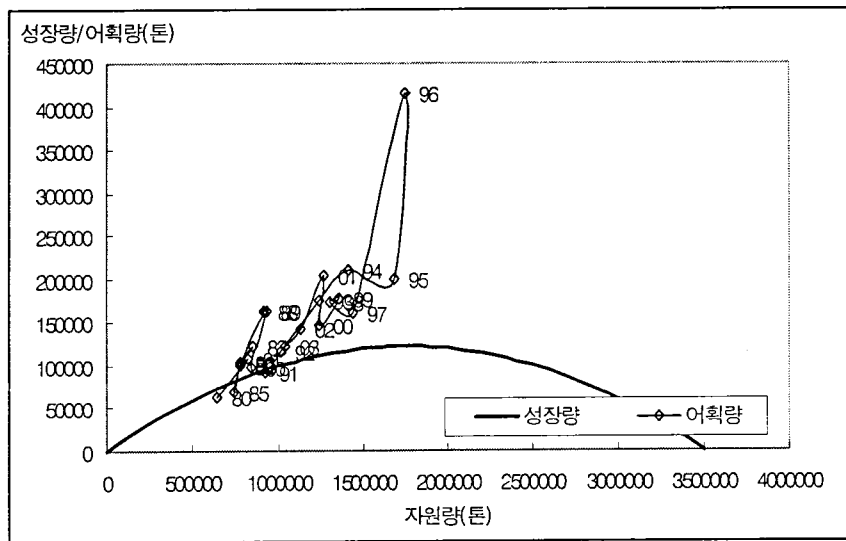


[그림 7] 고등어의 추정어획량과 실제어획량 비교



[그림 8] 고등어의 자원량과 어획량

성장량을 나타내는  $0.139X_t(1 - \frac{X_t}{3,500,000})$  식을 바탕으로 지속가능어획량 수준을 추정한 결과 2003년 어획량인 122,044톤의 83%에 해당하는 101,886톤으로 나타났으며, 지속가능어획노력수준은 2003년 현재의 대형선망의 어획노력수준인 28,463톤의 49%인 14,043톤인 것으로 나타났다. 이를 토대로 분석한 결과 현재의 대형선망어업에서 과도한 어획노력이 투입되고 있으며 이로 인해 고등어 자원이 현재 남획 상태에 있다는 것을 예측할 수 있다. 또한 고등어의 경우 연별 어획량 및 자원량의 변동이 매우 심하여 자원관리에 어려움이 많을 것으로 예상된다.



[그림 9] 고등어의 자연성장량과 어획량

#### 라. 추정모형진단

추정된 모형이 관측된 시계열자료를 얼마나 잘 설명하는지 알아보는 과정을 모형진단(Model Diagnostics)이라고 하는데 이러한 모형진단에는 잔차분석(residual analysis)과 과다적합분석(overfitting analysis)이 있다.

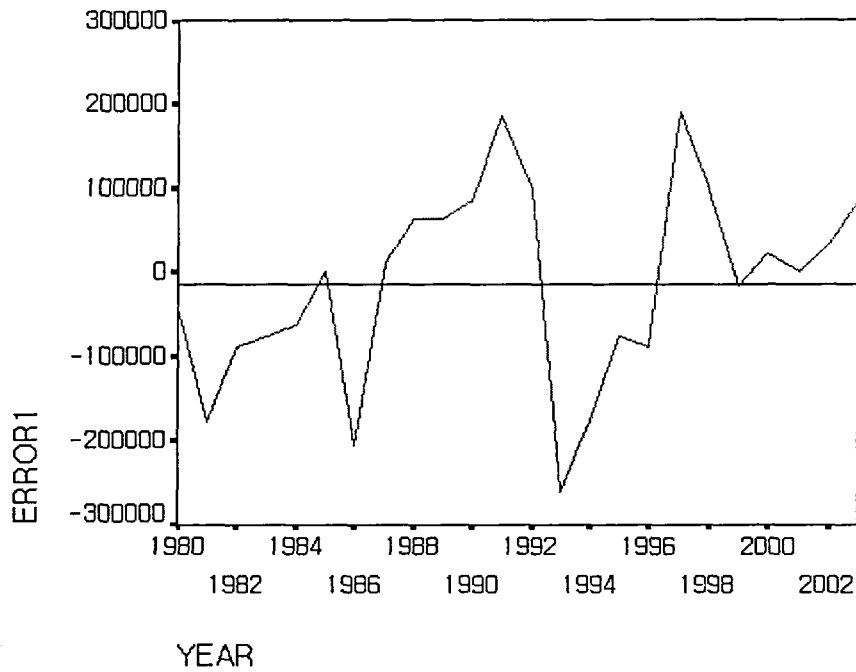
여기서는 비교적 분석이 단순한 잔차분석을 통해 추정된 모형이 타당한지의 여부를 판단하고자 한다.

잔차분석은 일반적으로 통계모형진단에서 가장 많이 쓰이는 방법으로 회귀분석 뿐만 아니라 시계열분석에서도 대표적인 모형진단법으로 이용된다. 정상시계열의 기본가정은 오차항  $e_t$ 가 백색잡음과정이라는 것이다. 즉,

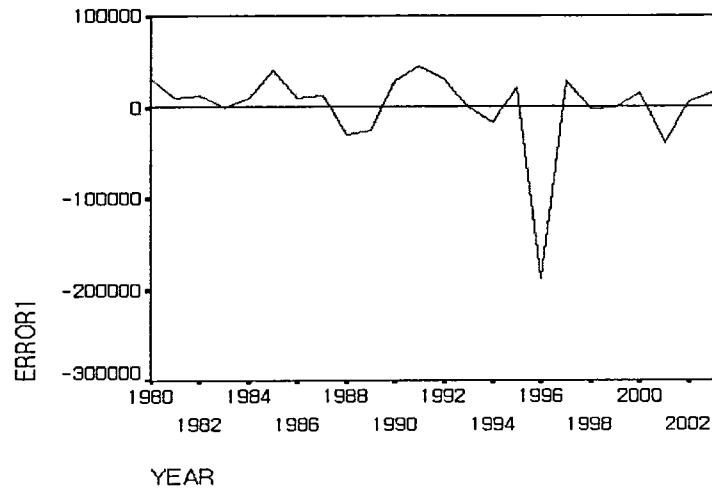
- ① 오차들은 서로 독립이고
- ② 평균은  $E(e_t) = 0$ , 분산은  $V(e_t) = \sigma^2$ 이며
- ③ 정규분포를 한다.  $e_t \sim N(0, \sigma^2)$

추정된 모형이 잘 적합되었다면 모형의 모수들은 유의하고, 적합된 모형에 의해서 추정된 잔차들은 모형에 대한 정보를 가지고 있지 않으며, 따라서 위에서 언급한 백색잡음의 성질을 만족해야 한다. 이를 확인하기 위한 방법은 잔차들의 시계열도표를 그려보거나 잔차들의 자기상관도표를 통해서 잔차들의 평균이 0이고, 분산이 일정하며, 독립적인지 확인한다. 즉 잔차들의 시계열도표가 평균 0을 중심으로 랜덤하게 움직이고, 특정한 패턴이 보이지 않으며, 분산이 일정하다면 잔차들은 통계적으로 자기상관 없이 독립적이라는 것을 의미한다.

다음 그림은 연근해어업과 고등어어업에 대한 추정모형의 오차를 시계열도표로 나타낸 것이다.



[그림 10] 연근해어업 오차항의 시계열도표



[그림 11] 고등어어업 오차항의 시계열도표

위 시계열도표에서 각 시점에서의 시계열이 평균 0을 중심으로 특정한 패턴없이 랜덤하게 분포되고 있으며, 모든 시점에서 일정한 분산을 유지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 특성을 보이는 시계열들은 백색잡음모형을 따른다고 잠정적으로 판단할 수 있으므로 추정된 모형은 적절한 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 연근해 어선감척프로그램의 효과분석

이번 절에서는 어선감척프로그램의 효과 및 평가를 통해 어선감척을 통한 어획 노력축소정책에 대한 유효성을 측정하고자 한다. 우리나라는 어업구조조정 정책의 일환으로 1994년부터 2002년까지 약 2,457척의 연근해 어선을 감척하였다. 이를 토대로 이 기간 동안의 프로그램을 시행했을 경우(with project)와 시행하지 않을 경우(without project)의 결과를 시뮬레이션을 통해 비교해 본 후 이를 통해 어선감척정책이 연근해어업의 자원에 미친 영향 및 정책효과를 분석할 것이다.

#### 1. 어선감척프로그램 효과의 평가

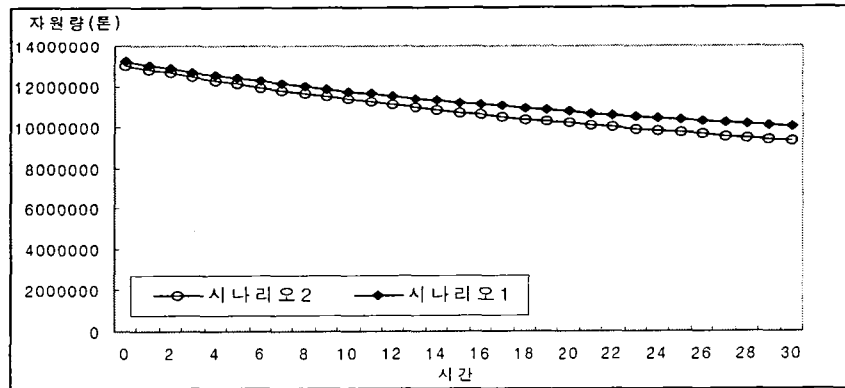
2003년 이후의 어선감척의 효과를 알아보기 위해 다음과 같은 시나리오를 작성하여 현재의 자원상태와 비교하고자 한다. 기본적인 가정은 다음과 같다.

시나리오 1 : 1994년부터 2002년까지 어선감척이 이루어진 현재의 경우. 그러나 그 이후에는 감척이 이루어지지 않은 것을 가정한다. 1994년부터 2002년까지

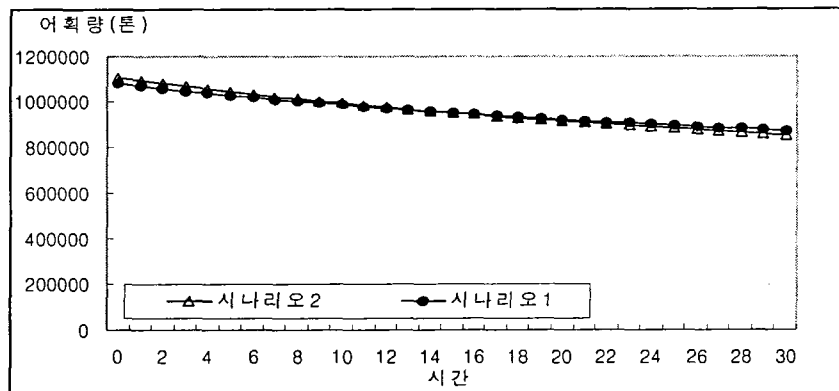
지는 추정된 자원량으로 평가하고 그 이후는 2002년 수준의 자원량 및 어선세력(톤수)를 기준으로 변화를 측정한다(with project).

시나리오 2 : 1994년부터 2002년까지 어선감척사업이 이루어지지 않았을 경우, 즉 1994년의 자원량과 어선세력(톤수)를 기준으로 자원량의 변화를 측정한다(without project).

## 2. 시나리오 분석 결과



[그림 12] 시나리오별 자원량 변화



[그림 13] 시나리오별 어획량 변화

두 시나리오 별로 2002년 이후의 30년간의 자원량을 추정한 결과 약간의 차이는 있었지만 10년 정도가 지나야 그 차이가 나타나고 있었고 30년 후에도 자원량의 차이가 크게 나타나지는 않았다. 어획량의 감소폭 또한 시나리오2가 더 크기는

하지만 가시적인 차이가 뚜렷하게 나타나지는 않았다. 기간이 길어질수록 그 차이는 커지겠지만 그 차이는 극히 미미하므로 현재의 어선감척의 효과는 그다지 크지 않은 것은 것을 알 수 있었다. 또한 어선감척으로 인한 사회적 비용 등을 고려했을 경우 그 효과는 더욱 줄어들게 될 것이다. 이렇게 어선감척효과가 미진한 이유를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 어선감척의 목적이 애초부터 자원회복에 있지 않고 사회경제적 요인에 따른 복합적인 목적을 가지고 있었기 때문에 자원상태에 맞는 어선세력의 감축이 이루어졌다고 볼 수 없다.

둘째, 어선감척으로 인해 어선척수가 줄어들었다 하더라도 바다오염에 의한 자원붕괴나 불법어업으로 인한 잠재적 어선세력의 존재는 실질적 자원회복을 저해하는 요인으로 작용할 수 있다.

셋째, 어선감척은 어획노력 중에 어선의 척수에만 한정되므로 여타의 어획노력 축소정책이 없었기 때문에 척수 이외의 어획노력이 증가할 여지가 충분하며 어업자들 또한 어획노력을 증가시키려는 유인을 가지므로 유효어획능력이 어선감척만큼 감소했다고 볼 수 없다.

즉, 현재의 어선감척프로그램은 자원회복보다는 사회여건에 맞추어 일률적으로 진행된 측면이 강하여 그 효과를 기대하기 어렵다고 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안은 다음과 같다.

우선 현재의 어선감척수준을 자원상태에 맞도록 재조정하여 자원회복효과를 기대할 수 있을 만큼의 충분한 조사가 선행된 후에 이루어져야 할 것이다. 또한 자원상태를 악화시키는 바다오염문제를 적극적으로 대처하여야 하며 특히 자원의 서식·산란수역에 속하는 연안환경을 개선하는 노력이 필요하다. 그리고 과거부터 지속적으로 어업질서를 저해하고 어업환경을 파괴하며 남획을 부추기는 불법어업에 대한 강력한 단속과 함께 어업인들이 불법어업을 근절할 수 있도록 대안을 마련하는 것이 시급하다 하겠다. 또한 어선감척프로그램의 시행과 함께 다른 유효어획노력의 추가적 투입이 발생하지 않도록 정책조정하는 것이 필요하다.

마지막으로 어선감척에서 간과할 수 없는 문제는 우리나라 연근해어업자원이 인접국들과 공유 이용되고 있는 희유자원이라는 사실이다. 따라서 이러한 어선감척프로그램은 우리나라만의 노력으로 성과를 기대하기는 어려우며 때문에 이러한 어선세력축소노력은 연안국과의 합의하에 공동으로 대응해나가는 것이 중요하 하겠다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 어업관리에 있어서 반드시 선행되어야 하는 자원평가를 통해 우리나라 연근해 어업을 지속가능한 어업으로 이행하기 위한 기준을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 즉, 현재 과잉투입되고 있는 어획노력을 어느 정도 수준까지 감소하는 것이 지속가능어업을 유지하는데 가장 적합하며 자원의 고갈 및 남획을 방지할 수 있는지에 대한 실증연구가 이 연구의 주된 내용이다.

본 연구에서는 어선감척 등의 어업정책에도 불구하고 여전히 남획의 문제가 발생하고 있는 우리나라 연근해 어업의 지속가능한 어업을 위해 최근 자원량추정기법에 활발히 이용되는 Maximum Entropy 모델을 이용하여 지속가능어획노력수준을 평가하였다. 또한 최근 시행되고 있는 어선감척프로그램의 효과분석을 통해 이러한 자원관리의 유용성을 평가하고 이를 바탕으로 차후의 어업관리 등에 정책 함의를 도출하고자 하였다.

분석 결과 현재 우리나라 연근해 어업의 적정어획량수준은 2003년 현재의 어획량 수준의 88%에 해당하는 912,788톤 수준이며, 이러한 어획수준을 달성하기 위한 어획노력수준은 현재의 어획노력톤수인 345,066톤의 38%인 131,629톤인 것으로 추정되었다. 즉, 지속가능한 어업을 유지하기 위한 적정어획노력수준은 현재의 어획노력수준에서 62%정도를 감소시켜야 한다는 것이다.

또한 우리나라 대표어종인 고등어를 주요 어획대상으로 하는 대형선망어업에 대한 적정어획량 및 어획노력수준을 평가한 결과 2003년 어획량인 122,044톤의 83%에 해당하는 101,886톤으로 나타났으며, 지속가능어획노력수준은 2003년 현재의 대형선망의 어획노력수준인 28,463톤의 49%인 14,043톤인 것으로 나타났다. 이를 토대로 분석한 결과 현재의 대형선망어업에서 과도한 어획노력이 투입되고 있으며 이로 인해 고등어 자원이 현재 남획 상태에 있다는 것을 예측할 수 있었다.

마지막으로 어선감척사업의 효과분석결과를 통해 현재의 어선감척사업의 효과가 매우 낮으며, 자원회복 및 지속가능어업을 유지하기 위해서는 다음과 같은 제도 개선이 필요한 것으로 사료되었다.

먼저 자원의 평가에 따른 적정수준의 어선감척규모를 산정하여 자원상태에 맞는 어선감축이 이루어져야 하며, 바다오염 및 불법어업에 의한 자원붕괴가 일어나지 않도록 이에 맞는 대책이 수립되어야 할 것이다. 또한 여타의 어획노력의 추가적 투입이 일어나지 않도록 다른 어획노력투입에 대한 제한이 필요하며 연안국과의 협력을 통해 연근해어업자원의 효율적 이용을 위해 공동자원관리를 추진하는 것이 필요하다 하겠다.

## <참 고 문 헌>

- 해양수산부, 「EEZ 체제하의 TAC어업자원 관리기법 및 공동이용자원에 대한 쿼터 시스템 연구」, 2000.
- 해양수산부, 「근해어업의 종합적 구조개선에 관한 연구」, 2001.
- 해양수산부, 「연안어업 관리제도 개선방안」, 2002.
- 해양수산부, 「연근해어선 감척사업 투자효과 분석」, 2003.
- 해양수산부, 「지속가능한 어업실현을 위한 자원관리 강화」, 2003.
- 해양수산부, 「어선감척사업의 국제비교와 정책적 함의」, 2003.
- 김기철, 한국연근해 멸치자원의 저량분석, 서울대학교 농경제학 석사논문, 2000.
- 김도훈, 어업관리 정책평가를 위한 생물경제학적 분석, 한국수산경영학회 추계 학술 발표회, 2003.
- 남준우·이한식, 「계량경제학」, 홍문사, 2002.
- 박성쾌, 「오징어 정치경제학」, 한길, 2003.
- 박성쾌·김용문, 경쟁적 조업하에서의 어업자원 이용과 관리, 농촌경제, 1990.
- 송우영, 「SPSS를 이용한 연구조사방법론」, 대경, 2003.
- 오호성, 「환경경제학」, 법문사, 1999.
- 유보근, 수산자원경제에 관한 연구, 수산청, 1990.
- 유동운, 어업자원과 지대소멸 이론, 수협중앙회, 1996.
- 이광남·윤동한, 어업관리와 조업분쟁 조정에 관한 고찰, 수산경영론집, 1997.
- 이덕기, 「예측방법의 이해」, SPSS 아카데미, 1998.
- 장수호, 「어장관리」, 태화출판사, 1994.
- 장창익, 이상고, 「어업관리학」, 세종출판사, 2002.
- 조정희·홍성걸, 고등어최적어획량 추정에 관한 연구, KMI, 2002.
- 조정희·류정곤, 어선감척사업의 국제비교와 정책적 함의, KMI, 2003.



- 표희동, 지속가능한 어업관리를 위한 생물경제모델의 비교분석, KMI, 2002.
- 표희동·권석재, 생물경제학적 어업자원 관리정책에 관한 연구, 수산해양교육연구, 제16권, 2004.
- 표희동, A Comparative Analysis of Surplus Production Model and Maximum Entropy Model for Estimating the Anchovy's Stock, EAFE Conference IFREMER Centre of Brest, 14-16 May 2003.
- Anderson. L. G., Potential Economic Benefits from Gear Restrictions and License Limitation in Fisheries Regulation, Land Economics, 1985.
- Campbell. H. F., Fishery Buy-back Programmes and Economic Welfare, Australian Journal of Agricultural Economics, Vol.33, 1989.
- Campbell. H. F. and R. K. Lindner., The Production of Fishing Effort and the Economic Performance of Licence Limitation Programs, Land Economics, Vol.66, No.1, 1990.
- Colin W. Clack, Bioeconomic Modelling and Fisheries Management, John Willy & Son Ltd, 1985.
- Conrad. J. M., The Dynamics of Open Access Fishery. The Canadian Journal of Economics, 1987.
- Clarke. R. P., A Bioeconomic Analysis of the Northwestern Hawaiian Island Lobster Fishery, Marine Resource Economics, 1992.
- Dupont. D. P., Limited Entry Fishing Programs: Theory and Canadian Practice, Fisheries and Uncertainty, 1996.
- Felthoven. R. G., T. H. Hiatt., J. M. Terry, Measuring Fishing Capacity and Utilization with Commonly Available Data: An Application to Alaska Fisheries, Marine Fisheries Review, 2002.
- Fox. W. W., An Exponential Surplus-Yield Model for Optimizing Exploited Fish Populations, Bureau fo Commercial Fisheries, 1970.
- Golan. A., Judge. G., Miller. D, Maximum Entropy Economics, John Willy & Son-Ltd, 1996.
- Golan. A., Judge. G., Karp. L., Maximum Entropy Approach to Estimation and Inference in Dynamic Models, Journal of Economics Dynamics and Control 20, 1996.

Gorden. H. S., The Economic Theory of a Common-Property Resource: the Fishery, The Journal of Political Economy, 1954.

Pascoe. S. D., A Bioeconomic Analysis of the UK Fisheries of the English Channel, University of Portsmouth, 1998.

Prager. M. H., A Stock-Production Model Incorporating Covariates, 2000.

Pindick. S., 「Microeconomics」, Prentice Hall, 2003.

Sun. C. W., Optimal Number of Fishing Vessels for Taiwan's Offshore Fisheries; A Comparison of Different Fleet Size Reduction Policies, Marine Resource Economics, Vol 13, 1998

Williams. H., H. Prager., Comparison of Equilibrium and Nonequilibrium Estimators for the Generalized Production Model, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 2002.