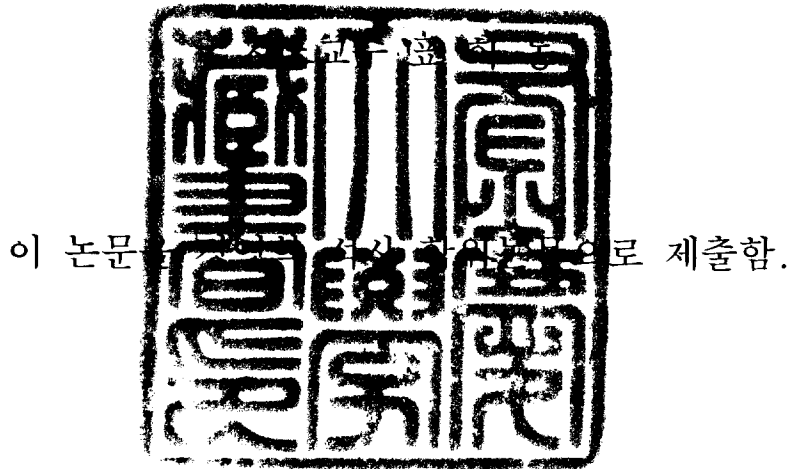


경영학석사 학위논문

ME모델을 이용한 연근해어업의
어획노력수준평가에 관한 연구



2005년 8월

부경대학교 대학원

수산경영학과

하진미

하진미의 경영학석사 학위논문을 인준함.

2005년 8월

주 심 경제학박사 박 성 쾌



위 원 경제학박사 이 상 고



위 원 경제학박사 표 희 동



<목 차>

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 필요성 및 목적	1
제 2 절 연구방법 및 내용	2
제 2 장 선행연구 검토.....	4
제 1 절 이론연구.....	4
제 2 절 실증연구.....	12
제 3 장 Gorden의 지대소멸론에 대한 이론적 고찰.....	19
제 4 장 연근해어업의 어획노력평가에 관한 실증연구.....	23
제 1 절 ME 모델을 이용한 지속가능어획노력수준 평가	23
1. ME 모델	23
2. 우리나라 연근해어업의 지속가능어획노력수준 평가	30
3. 대형선망어업에 대한 지속가능어획노력수준 평가	41
제 2 절 어선감척프로그램의 효과 및 평가	48
1. Campbell의 어선감척모델	48
2. 우리나라 어선감척프로그램	50
3. 연근해 어선감척프로그램의 효과분석.....	56
제 4 장 요약 및 결론	60

<참고문헌>	63
<부 록>	67
<감사의 글>	74

<표 목차>

[표 1] 연근해 어획량 및 단위노력당 어획량 (단위:톤)	1
[표 2] 연근해어업의 연도별 통계량 (단위:톤, 마력)	34
[표 3] 각 파라메타의 추정 결과	37
[표 4] 연도별 자원량 추정결과	37
[표 5] 추정어획량 및 자연성장량.....	39
[표 6] 고등어 어업의 주요 어획대상어업	43
[표 7] 각 파라메타의 추정 결과	43
[표 8] 연근해어업 어선척수 (단위:척)	51
[표 9] 우리나라 연근해어선 감척계획 (단위:척, 억원)	53
[표 10] 연도별 감척계획(5차계획) (단위:척).....	53
[표 11] 연근해어선감척계획 대비 실적(1994~2004년) (단위:척, 억원,%).....	55
[표 12] 어업별 연근해 어선 감척실적 (단위:척)	56

<그림 목차>

[그림 1] Gorden의 MEY	6
[그림 2] 생산량과 자연증가량 및 특정 어획노력량의 생산과의 관계	7
[그림 3] Schaefer의 MSY와 Gorden의 MEY 비교	10
[그림 4] 정태 MEY와 동태 MEY 관계	11
[그림 5] 자유어업과 관리어업의 생경제적 균형.....	19
[그림 6] Gorden의 지대소멸이론	21
[그림 7] 연근해 어선세력의 변화(단위:척, 톤, 마력).....	32
[그림 8] 연근해 톤수와 어획량	33
[그림 9] 연근해 마력수와 어획량	33
[그림 10] 연근해 어획량 및 톤수	36
[그림 11] 연근해어업의 톤당어획량	36
[그림 12] 연근해어업의 추정어획량과 실제어획량 비교	38
[그림 13] 연근해어업의 자원량 대비 어획량	40
[그림 14] 연근해어업의 자연성장량과 어획량	40
[그림 15] 고등어의 어획량 및 단위노력당 어획량.....	42
[그림 16] 고등어의 추정어획량과 실제어획량 비교	44
[그림 17] 고등어의 자원량 대비 어획량	44
[그림 18] 고등어의 자연성장량과 어획량	45
[그림 19] 연근해어업 오차항의 시계열도표	47
[그림 20] 고등어어업 오차항의 시계열도표	47
[그림 21] 어선감척프로그램에 의한 경제적 효과.....	49
[그림 22] 우리나라 어획량 변화	51
[그림 23] 시나리오별 자원량 변화	57
[그림 24] 시나리오별 어획량 변화	58

Evaluation of the Fishing Effort Level for Korean Offshore
Fisheries Using Maximum Entropy Model

Jin-Mi Ha

*Department of Fisheries Business Administration, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The purpose of this thesis is to estimate the annual biomass, the maximum sustainable yield (MSY) and the maximum sustainable fishing effort for coastal and offshore fisheries in Korea, using Maximum Entropy (ME) model. ME model is to make the best predictions for unknown parameters of Cobb-Douglas production model possible from the limited data information, using non-linear programming. The observed variables in the model are time series data of catch and effort while unknown parameters are probability distributions of constant, intrinsic growth rate, environmental carrying capacity, biomass, α and β (a sort of elasticity for effort and biomass). ME formulation seeks a solution that maximizes the distribution of probabilities reflecting the uncertainty about parameters subject to data consistency and normalization-additivity requirements.

In view of aggregated concept, the overall MSY for coastal and offshore fisheries in Korea is calculated to be 912,788 tons which is 88% of the actual catch in 2003, using the parameters estimated in the model. To reach the MSY, the level of maximum sustainable effort is estimated to be 131,629 vessel tones which is 38% of the actual

effort(345,066tones). The analysis implies that current fishing effort should be reduced by 62% so as to maintain the sustainable fisheries in Korea.

With respect to analyze MSY for the specific species of mackerel, the MSY is 101,886 tons which is 83% of the actual catch in 2003, while the level of maximum sustainable effort is estimated to be 28,463 vessel tones which is 49% of the actual effort(28,463tones). Based on the analysis, the current fishing effort for large purse sein should be reduced by 51% in order to keep from overfishing.

For the effects of fisheries buyback programs implemented from 1994 to 2002 in Korea, the difference of stock and catch between the case with the project and the case without the project is simulated. The simulation results show that biomass and fisheries harvest in the future hardly seem to be improved. It implies that the scale of buyback programs is not sufficient to avoid downward trend in fisheries stock and harvest.

Key words: Maximum Entropy, MSY, MEY, Fishing Effort, Biomass,
Buyback Programs

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성 및 목적

우리나라 연근해 어업생산량은 1960년대 초 약 40만 톤 수준에 불과하였으나 어선 세력의 증대와 더불어 급속한 성장을 보임으로써 1970년대 들어서는 100만톤을 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.([표 1]참조)

[표 1] 연근해 어획량 및 단위노력당 어획량 (단위:톤)

구분	1980	1985	1990	2000	2003
어획량	1,370,324	1,494,514	1,471,810	1,189,000	1,096,526
톤당어획량	3.4	3.2	3.2	2.8	3.0
마력당어획량	866	643	390	110	76

(자료: 해양수산부, 해양수산통계연보, 각 연도)

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 개별 경영의 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 일률

적인 어획노력량 규제에 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 자원평가를 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 어업관리의 기준이 되는 생물경제모델의 이론적 배경에 대한 선행연구를 검토하고, Gordon의 지대소멸이론을 통해 어업에 있어서 경쟁조업으로 인한 남획이 발생하는 과정을 고찰함으로써 어업관리의 근거를 제시하고자 한다. 이를 통해 자원의 효율적 이용을 위한 기준의 하나인 MSY를 도입하여 현재의 연근해어업상태와 비교분석하고, 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.

제 2 절 연구방법 및 내용

수산자원은 일반적으로 재생가능자원의 특성을 지니고 있고 이동성이 강하며 조류나 풍랑, 온도 등에 매우 민감하게 반응하여 물리적으로 자원을 평가하는 데에 많은 어려움이 있다. 따라서 기존의 자원평가에서는 잉여생산모델을 이용하여 어획노력량과 어획량 데이터를 변수로 하여 계량적으로 자원을 평가하는 방법을 많이 이용해왔다. 하지만 이러한 평가기법들은 지속가능어획량에 대하여 균형상태를 가정하고 모형을 선형으로 가정하는 경우가 많기 때문에 분석에 많은 제약이 있었다.

ME모델은 이러한 잉여생산모델의 단점을 극복한 모델로서 선형모형뿐 아니라 비선형모형에도 이용할 수 있을 뿐 아니라 조사자가 알고 있는

최소한의 자료만을 가지고도 자원분석이 가능하여 최근 자원량 추정에 활발히 이용되고 있다(김기철, 2000). 이에 본 연구에서는 이 기법을 이용하여 우리나라 연근해의 지속가능어획량 및 어획노력량을 추정함으로써 자원상태를 평가하고자 한다.

본 연구의 대상은 우리나라 어업의 전반적인 상태를 파악하기 위하여 내수면어업과 원양어업, 천해양식을 제외한 연근해어업으로 정하였으며, 통계자료는 1980년부터 2003년까지의 해양수산통계연보자료에서의 어획량 및 어획노력량 데이터를 연구에 이용하였다.

본 연구의 내용은 크게 서론, 선행연구검토, Gorden의 지대소멸론에 대한 이론적 고찰, 연근해어업의 어획노력평가에 관한 실증연구, 요약 및 결론의 순으로 이루어져 있다. 제1장의 서론에서는 자원평가의 필요성에 대해 언급하였고 이어 제2장에서는 어업에서 지속적이고 효율적으로 어업자원을 이용할 수 있도록 하는 생물경제이론에 대해 살펴본 후 자원평가와 어업관리방법에 대한 선행연구를 통해 어업관리의 효과와 문제점들을 알아보았다. 그리고 제3장에서는 지속가능한 어업을 저해하는 남획의 문제가 발생하는 이유에 대해 Gorden의 지대소멸이론을 통해 고찰하였다.

다음 제4장에서는 연구의 목적인 연근해어업의 지속가능어획노력을 평가하기 위해서 사용한 ME모델을 소개하고 이 모델을 통해 연근해어업의 지속가능어획노력 및 대형선망어업의 어획노력을 추정하였으며, 어획노력 축소정책의 효과를 알아보기 위하여 우리나라의 어선감척프로그램의 효과를 분석하였다.

마지막 제4장에서는 본문의 내용을 정리하고 연구의 결론 및 한계를 기술하였다.

제 2 장 선행연구 검토

어업자원관리의 일반적인 목적은 자원의 고갈 없이 얼마나 잘 이용하느냐에 있다. 이와 같은 자원관리를 위한 가장 전형적인 방법이 MSY(Maximum Sustainable Yield)와 MEY(Maximum Economic Sustainable Yield)에 의한 어획량과 어획노력량수준을 결정하는 것이다¹⁾. MSY는 생산량과 관련된 어획노력수준만을 반영한 생물학적 모델인 반면에 MEY는 자원량의 어획과 관련된 수익과 비용을 고려한 생물학적 모델이다.

본 장에서는 어업관리의 기준이 되는 생물경제모델의 기본개념에 대해 제시한 Baranov, Gordon, Schaefer, Clark 등의 선행연구를 통해 효율적인 어업자원의 이용방법에 대해 이론적으로 알아보고, 자원량평가모델을 이용하여 최적 어획량 및 어획노력을 추정한 사례와 함께 여러 가지 어업관리기법에 대한 비교와 효과분석이 이루어진 실증연구를 분석하여 어업관리정책의 유용성 및 문제점은 무엇인지 살펴보고자 한다.

제 1 절 이론연구

생물학적 지속생산의 기초이론은 20세기 초 소련의 Baranov(1918)에 의하여 개발되어온 이후 캐나다의 Richer, 미국의 Thompson 및 Schaefer 등의 생물학자에 의하여 발전되어왔다.

Baranov(1918)는 어느 연령 이상의 자원을 어획대상으로 하여 생산량을 어느 정도 결정하는 것이 어획량을 최대로 하며 일정하게 지속할 수 있는가를 연구하여 자원량 자체에 변화를 주지 않고 어획량을 최대로 하는 자연증가량의 최대점을 발견하였다. 이 현상을 일반적 관점에서 단순화하여 보면, 어떤

1) 1949년 「공해어업에 관한 미국의 정책」이 발표된 직후 미국이 중심이 되어 체결된 북서대서양어업조약에서 「최대지속적어획의 유지(the maintenance of a maximum sustained catch)」를 조약의 목적으로 한 이후부터 MSY가 국제조약에 있어 어업관리목표의 대부분을 차지하게 되었다. 한편 MEY 이론은 1967년 제14회 총회에 제출한 FAO의 「세계식량농업백서」 중 어업자원의 관리부분에서 MEY 이론에 입각한 자원관리의 필요성을 제창함으로써 단순한 이론적 영역을 넘어 실제의 정책이념으로 취급되게 되었으며, 1960년대 사이에는 수산업의 개발, 이용이 세계적으로 강화되는 가운데 MEY 이론을 주축으로 경제적 요인 등을 고려한 새로운 자원관리제도가 모색되었다(유보근, 1990).

처녀자원의 어떤 해의 연초자원량을 P_1 으로 하고 다음 해의 연초자원량을 P_2 로 하면 1년간의 자원량의 변동은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$P_2 - P_1 = A + G - D$$

여기에서 A 는 매년의 가입량(addition), G 는 성장량(growth), D 는 사망량(dead)을 나타낸다. 처녀자원상태의 자원량은 무한대가 되지 않는 반면 영(0)도 되지 않는 변동폭의 범위 내에서 변동하는 것으로서 평균적으로는 변동이 없는 것으로도 볼 수 있다. 즉, $P_2 - P_1 = 0$ 이고, $A + G - D = 0$ 이다. 이러한 자원에 어획이 가해질 때는 다음과 같이 된다.

$$P_2 = P_1 + A + G - D - Y$$

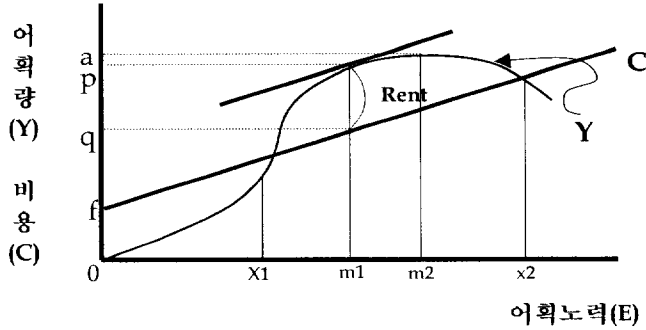
여기에서 Y 는 어획량(yield)를 말하며, 이 경우 만약 A , G 및 D 의 값이 변하지 않는다면 자원은 매년 Y 만큼씩 감소하여 결국 0이 되고 말 것이다. 그러나 현실적으로는 어획이 계속되고 있는 자원에 있어서 그러한 현상은 일어나지 않고 있다. 이는 어획이 가해지는 자원에 상한치에 도달하려는 복원력이 작용하여 $A + G - D > 0$ 의 관계가 성립하기 때문이다. 여기서 $A + G - D$ 를 자연증가량이라고 하며 자연증가량과 어획량이 상등하면 $P_2 = P_1$ 이 되어 연초와 연말에는 자원량의 변동이 없게 된다. 이 자연증가량의 최대점이 바로 Baranov가 주장하는 최대지속가능어획량수준이다.

Gorden(1954)은 어업에 비용인자를 도입한 MEY(Maximum Economic Sustainable Yield) 개념을 제시하여 자원관리에서 나타난 경제적 문제점을 해결하고자 하였다. 이 MEY이론은 '수확체감의 법칙'을 어업에 적용하는 것

2) Gorden은 수확체감의 법칙을 다음과 같이 설명하고 있다.

- ① 어획고는 어업비용과 함께 어획노력의 함수이다.
- ② 생산함수의 가장 단순한 모델로서 어획노력 이외의 제 생산요소는 모두 일정하다고 가정할 경우 (어류자원의 재생산수준은 어획에 의해 영향을 받지 않는다는 것도 포함) [그림1]의 곡선 Y 와 같은 함수가 될 것이다.
- ③ [그림1]에 있어 어획노력량 X_1 까지는 어획고는 점근적으로 커진다.

을 전제로 한다.



[그림 1] Gorden의 MEY

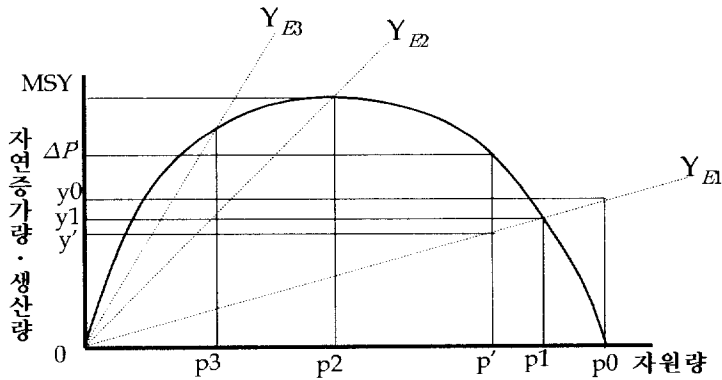
[그림 1]에서는 어업비용을 직선C로 나타냈다. 이 그림에서 순생산 $Y - C$ 를 최대로 하는 '최적 어획량'은 어획노력에 의한 한계생산 $\frac{dY}{dE}$ 와 한계비용 $\frac{dC}{dE}$ 가 일치하는 m_1 점이다. 이 투입노력점에 있어 순생산($0p - 0q = pq$)이 MEY이다. m_1 보다 적거나 많은 어획노력량의 투입은 보다 작은 순생산 밖에 생산할 수 없다. 이 '최적 어획량'은 어가수준이나 자재가격 등의 변화에 따라 여러 가지로 변한다. 단, 어가가 어획량의 대소에 관계없이 일정하다고 가정할 경우 최대의 어획량을 올리는 노력량은 m_2 가 되지만, MEY를 위한 노력점 m_1 은 항상 낮은 위치($m_1 < m_2$)에 있다. 즉, 순생산을 최대화 하기 위한 노력을 투입할 경우 항상 m_2 점을 초과하지 않을 것이므로 남획을 방지할 수 있다고 하였다.

Schaefer(1957)는 Gorden의 MEY이론 중 일반적인 수확체감을 전제로 하여 그린 [그림 1]의 생산곡선Y는 노력 m_2 에 최고에 달하는 S 곡선을 그렸지만, 실제로는 체감적일 경우 변곡점을 갖지 않는 증가곡선도 될 수 있다는 점을

④ 그러나 이 점증곡선은 어업에서는 매우 작고, 어떤 어업에서는 존재하지 않는다.

⑤ 그 후는 어획노력의 추가분에 대한 생산의 증가량은 점감하는 상태가 되고 어떤 어획고 수준 $0a$ 에 한정되지 않고 접근하는 점조선을 갖게 된다. 어획고에 밀접하게 관계되어 생산에 기여하는 다른요인(예를 들면 자원)의 양적관계가 점점 작아져 이를 위한 추가노력은 점차 비생산적으로 되게 된다. 즉 어업생산은 '수확체감의 법칙'에 따르는 것이 된다.

비판하면서 어업자원은 농지와 달리 자원의 크기를 스스로 조절하는 자율갱신적 성격을 갖고 있으므로 어업자원을 대상으로 하는 이상 이점에서 유도되는 균형어획량(equilibrium catch)을 기본으로 하는 문제를 생각하지 않으면 안 된다고 하였다.



[그림2] 생산량과 자연증가량 및 특정 어획노력량의 생산과의 관계

[그림 2]에서 실선으로 표시된 곡선은 단위시간에 있어서의 자원의 자원증가량 ΔP 이다. 이의 증가율 $\frac{\Delta P}{P}$ 는 자원량P의 크기에 따라 변화하며, 자원량이 적을 경우에는 커지고, 자원량이 많아지면 이에 따라 작아져, 어떤 수준에 달하면 증가율은 0, 즉 자원량은 그 이상 증가하지 않는다고 생각했는데, 위 그림에서는 P0가 바로 그 수준으로서 처녀자원(處女資源) 또는 초기자원이다. 또 위 자원증가율의 절감경향을 가장 단순하게 직선식으로 표현하면

$$\frac{\Delta P}{P} = aK - aP \quad (K \text{는 } P_0, a \text{는 상수})$$

따라서 (연간)증가량은

$$\Delta P = aKP - aP^2 \quad \text{-----}(1)$$

가 된다. 위 그림과 같이 자원량이 0의 최소점과 처녀자원 P_0 의 최대점의 두 점의 최대증가량을 갖는 곡선으로 나타내며, 자원증가량 ΔP 와 어획노력량 E 사이에는 일정한 균형관계가 성립한다.

[그림 2]의 각 점선은 어획노력량 E_1, E_2, E_3 각각에 대하여 자원량 P 의 변화에 대응하는 어획량 Y 의 변화를 나타내고 있다. 즉, 그림에서 보듯이 노력량 그 자체는 같더라도 자원량 P 가 크게 됨에 따라 어획량도 증가한다. 여기서 어획노력량 E_1 에 대응하는 어획량 YE_1 직선과 자연증가량 ΔP 곡선의 교차점 P_1 전후의 자원량 변화를 생각해보면 ① 그 자원을 최초에 어획을 개시할 때의 상태는 한편으로는 자원증가량은 0에 있으므로 어획량은 y_0 에 있고 따라서 어획량분 만큼 자원량 P 자체는 감소한다. 그 결과 ② 자원량은 P' 로 되었다고 하자. 그렇기 때문에 어획량은 y' 로 저하되지만, 자연증가량의 측면에서는 ΔP 에서 $y' < \Delta P$ 가 되기 때문에 자원량 자체는 증가를 초래한다. 이러한 자원량의 증감운동의 결과 결국은 잉여증가량과 어획량이 일치하는 P_1 에 수렴되어 어획량은 y_1 에서 안정된다. 이러한 자원과 어획의 균형관계는 위 그림의 E_2 또는 E_3 을 비롯하여 다른 규모의 노력량에서도 성립한다.

한편, 어획량 Y 는 자원량 P 및 어획노력량 E 의 각각의 크기에 따라 결정되는 것으로 생각할 수 있으며, 단위노력량에 의한 어획가능계수를 q 라고 하여 가장 단순한 경우를 상정하면,

$$Y = qEP \text{ -----}(2)$$

균형어획량이 형성되는 조건하에서는

$$Y = \Delta P$$

따라서 (1)식과 (2)식에서

$$qEP = aP(K - P)$$

$$\therefore P = K - \frac{q}{a}E$$

이것을 (2)식에 대입하면

$$Y = qE(K - \frac{q}{a}E) \quad \text{-----}(3)$$

즉, 균형어획량(지속적 생산량) Y는 결국 어획노력량 E를 변수로 하는 2차식이 되어 E의 어떤 수준에서는 최대치 MSY³⁾를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

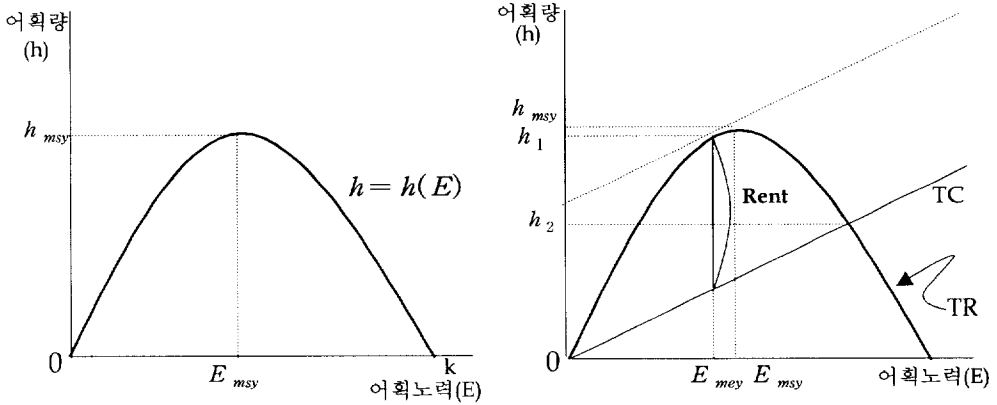
지속생산량과 어획노력량의 관계가 이상과 같이 성립되면 이것과 비용과의 관계에서 경제적 최대치 즉 MEY를 도출할 수 있다. 어가가 일정한 것으로 하여 위 (3)식에서의 생산곡선을 그리면 포물선이 되며, 그림과 같이 MEY가 결정된다.

3) Schaefer(1957)는 어획량과 어획노력량의 관계를 로지스틱 모델로 통합시켰으며 주어진 자원량 수준에서 어획량과 어획노력량 사이의 선형관계를 가정하였다. 여기서 균형어획량은

$$Y = qEP = qKE(1 - \frac{qE}{r})$$

으로 정리되며 극대화의 1계조건으로부터 성장량은 K/2에서 최대

가 된다. 한편, 로지스틱 모델의 대안인 지수모델에 의한 균형어획량은 $Y = qkE^{\alpha}e^{-rE}$ 로 주어지며 최대성장량은 로지스틱모델보다 낮은 수준에 위치한다. 이에 대한 자세한 내용은 표희동·권석재(2004)를 참고하기 바란다.



[그림 3] Schaefer의 MSY와 Gordon의 MEY 비교

지금까지 살펴본 MEY는 모두 시간적 요소를 감안하지 않았다. 자원의 성장률과 어획량과의 균형관계에서 균형어획량의 형성되기까지는 일정한 시간적 경과가 필요함에도 그것을 고려하지 않고 균형량만을 대상으로 자원이용의 경제효율이 논하여졌다.

이에 대하여 Clark(1978) 등의 연구는 시간인자를 고려해 놓고 어업에 의한 자원이용의 전 기간을 MEY가 어떻게 될까를 고찰했기 때문에 Anderson(2001)은 이를 「동태MEY」라고 하여 고든 등의 「정태(靜態)」와 구별하고 있다.

MEY의 동태분석을 위해 새로 도입한 기본적 요소는 ① 생물자원의 성장 속도 ② 가치의 시간적 차이 2가지이다. 자원량(밀도)의 증감에 민감하게 반응하여 단기간에 균형어획량을 형성하는 것도 있지만 반대로 아주 장기간에 균형어획량을 형성하는 것도 있다. 또한 가치의 시간적 차이에 있어서는 장래에 얻어지는 가치를 현시점의 가치로 평가하기 위한 할인율(일반적으로는 $\frac{1}{(1+i)}$)에 의한 할인이 필요하다.

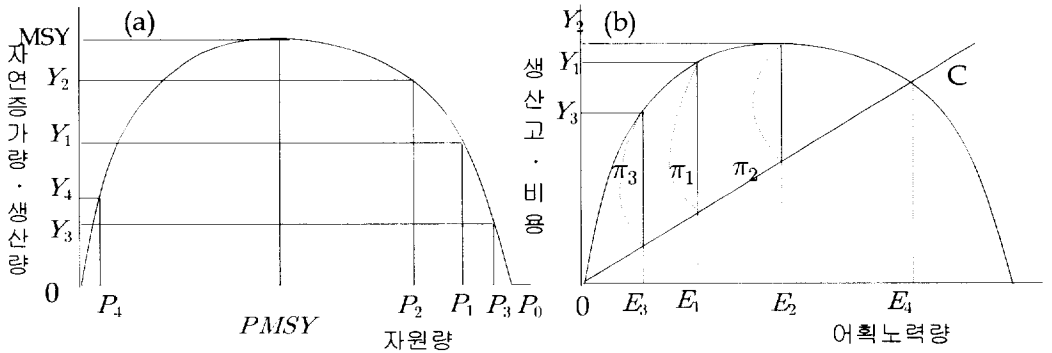
즉, 수입을 Y, 비용을 C, 이자율을 i로 할 경우

전체 기간의 총수입의 현재가치

$$= -C_0 + \frac{Y_1 - C_1}{1+i} + \frac{Y_2 - C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Y_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - C_t}{(1+i)^t} - C_0$$

이 된다.

따라서 각 기간의 총수입액이 같다 하더라도 위 식에 의하면 장래의 것의 현재 가치는 장기의 것일수록 작게 되며, 이와 같은 요소의 영향으로 동태 MEY와 정태 MEY는 각각의 어획노력의 투입수준에 일정한 차이가 발생한다. [그림 4]는 정태 MEY와 동태 MEY의 관계를 나타낸 것이다.



[그림 4] 정태 MEY와 동태 MEY

그림(b)는 앞의 [그림 3]과 같은 것으로 설명의 단순화를 위해 어가를 일정한 것으로 하였다. E1은 $Y_1 - C$ 를 최대로 하는 어획노력의 투입수준이고, 이 점에서 정태 MEY가 있는 π_1 이 실현된다. 그리고 이 π_1 에 대응하는 자원수준량은 (a)의 P1으로서 여기서 나오는 자원증가량 = 균형어획량은 Y1이다. 동그림 P0가 처녀자원량을 나타내고 있으므로 P0 - P1만큼 자원량이 감소한 수준이 되었다고 할 수 있다.

다음 동태적 자원이용을 생각해보자. 만약 현재의 E1에서 E2로 어획노력을 증가시켰다고 하면 자원량은 P1과 P2의 차에 상당하는 어획량에서 얻어지는 순수입의 현재가치 A가 장래에 지속적으로 얻어지는 순수입 π_2 의 현재가치 B보다 클 경우는 어획노력을 E2로 증가시키는 것이 유리하므로 결국 $A = B$ 가 되는 수준(그 자체가 E2에 있다고 하면)까지 어획노력량을 증가시키는 편

이 순수입은 증가한다. 즉, 동태론적으로 본 MEY와 정태론적으로 본 MEY와의 사이에는 그것을 실현하는 노력점이 다르게($E_2 > E_1$)된다.

그러면 어획노력량을 감소시키면 어떻게 될까? 동 그림에서 E_1 에서 E_3 로의 변화를 가정할 때 $\pi_3 < \pi_1$ 이 되므로 위의 차액 B는 물론 부(-)이고 수입 A도, 이 경우 자원량을 P_1 에서 P_3 로 증가시키므로 그만큼 부(-)가 된다. 따라서 동태 MEY의 노력점 E_1 은 E보다 작아지지 않는다는 것을 알 수 있다.

그러나 실제에 있어 E_2 가 어느 수준이 되는가는 앞에서 거론한 자원의 자연증가율의 크기와 할인율의 크기에 따라 결정된다.

자연증가율이 대단히 크고 P_1 으로의 자원회복이 순간적으로 달성되는 경우에는 동태 MEY와 정태 MEY의 차이는 거의 없어지게 되나 반대로 자연증가율이 적은 것일수록 E_2 는 E_1 보다 크게 된다. 또한 할인율의 경우에도 할인율이 0일 때는 $E_2 \rightarrow E_1$ 이 되어 동태, 정태 MEY는 중복되며 반대로 할인율이 무한대일 때에는 E_2 점은 자유어업의 균형점 E_4 에 일치하게 된다. 즉 동태 MEY의 어획노력점은 할인율의 크기에 따라 정태 MEY E_1 과 자유어획균형점 E_4 2개의 노력점의 사이에 위치하는 어떤 점이 되는 것이다.

이 동태 MEY 이론의 특히 중요한 의의는 고든의 정태 MEY가 제시한 자원관리에 대한 낙관론에 경종을 울렸다는 것이다. 앞에서도 나왔듯이 고든은 MEY가 추구되면 MSY를 초월하는 자원의 이용(즉 남획)은 자동적으로 억제되어 자원고갈과 같은 현상은 발생하지 않을 것이라고 이해했다. 그러나 경제조건의 여하에 따라서는 MEY를 추구하는 것 자체가 자원의 생물학적 남획을 초래할 수도 있다는 것이다. 가격이 일정하다고 가정할 경우 MEY가 어업이윤을 최대화할 수 있는 최적어획량의 개념으로서 적합하지만, 수요의 증가로 인하여 가격이 상승하는 경우 MEY가 MSY를 초과하는 수준에서 결정될 수 있기 때문에 MSY 수준이 최적어획량의 개념과 정책기준으로서 더 적합하다고 할 수 있다(표희동·권석재, 2004).

제 2 절 실증연구

본 절에서는 자원량평가모델을 이용하여 최적어획량 및 노력량을 추정한다

사례와 여러 가지 어업관리정책의 효과에 대해 실증분석한 선행연구를 중심으로 분석해보고자 한다.

Fox(1970)는 기존의 로지스틱 성장함수에 의한 생물경제모델에 대한 대안으로 개발된 Gompertz 성장함수를 기초로 한 지수잉여생산모델을 이용하여 최적자원량 및 최적어획노력량을 추정하였다. 그의 연구에 의하면, 로지스틱 성장모델에 의한 MSY가 환경최대수용능력(Carrying Capacity) K의 50%에서 달성되는 반면, 지수모델에 의한 MSY는 K의 37%에서 이루어진다고 한다. 그는 또 지수모델을 태평양과 대서양 해역의 California sardine, *Sardinops caerulea* (Girard), 그리고 Yellow tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre)의 어업에서의 사례를 이용하여 선형모델과 비교하였다. 비교 결과 최적어획노력 수준은 약간의 차이가 있었지만 최대지속가능어획량수준의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

Clarke et al.(1992)은 생물경제모델을 이용하여 하와이안 랍스타의 자원을 추정하였다. 논문에서는 로지스틱성장모델 3가지(Schaefer, Schnute, W-H model)와 지수함수모델 2가지(Fox, CYP model⁴⁾)를 이용하여 각 모델별 추정치를 비교분석하고 하와이안랍스타의 rent(MEY)와 profit(MSY)를 비교하였다. 그 결과 위 모델중 CYP model이 랍스타의 자원을 가장 잘 설명하는 것으로 나타났다.

Pascoe(1998)는 유럽어업에 대한 경제적 분석을 하면서 넙치와 가자미의 자원상태를 장기균형모델을 통해 분석하였다. 그는 위에 나와 있는 다섯가지 모델 뿐 아니라 비선형모델인 콥-더글라스 생산함수모델과 코폴라함수를 이용하여 넙치와 가자미가 각각 선형모델을 적용했을 때와 비선형모델을 적용했을 때 어떻게 달라지는지를 비교하였다. 이 연구에서 결과적으로 넙치와 가자미 모두 CYP model이 가장 유의성 있게 나타났다. 여기서 넙치의 MSY는 1,323.7톤, MEY는 863.3톤이었고 가자미의 MSY는 1,480.4톤, MEY는 921.9톤으로 나타났다. 그리고 넙치와 가자미를 함께 조업했을 때 가장 적절한 어획노력량을 산출하였는데 CYP model을 기준으로 한 적정 어획노력량이 76,100시간/년으로 나타났다. 비선형모델을 이용했을 때는 코폴라생산함수가

4) Clarke, Yoshimoto and Pooley가 Fox모델로부터 개발한 모델.

좀 더 유의 있는 것으로 나타났는데 그 결과를 살펴보면 먼저 넙치에서 코폴라함수를 이용했을 때 MSY는 1,007.4톤, MEY는 826톤이었으며, 가자미는 코폴라에서 MSY는1,981톤, MEY는1,808톤으로 나왔다. 위 연구결과를 살펴보면 선형모델과 비선형모델간의 차이가 있다는 것을 알 수 있는데, 넙치의 추정량은 별 차이가 없는 반면에 가자미의 추정량에 다소 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 이는 기본적으로 선형모델과 비선형모델이 다른 가정을 가지고 있는데서 비롯된 것으로 추정된다.

김기철(2000)은 Maximum Entropy(이하 ME) 기법을 이용하여 연근해 멸치 자원량을 추정하였다. 이 기법은 자원량에 영향을 미칠수 있는 최소한의 자료를 활용하여 수산자원의 분석을 가능하게 하는 기법으로, 선형모형 뿐 아니라 비선형모형에도 쉽게 적용할 있는 추정방법이다. 추정결과 멸치의 자연성장률이 0.65수준으로 추정되었고, 어획량이 MSY를 초과하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 우리나라에서 멸치의 어획량이 과다하며, 앞으로 20만톤 이상의 어획량이 지속될 경우 멸치자원의 급격한 감소가 예상되는 것으로 나타났다.

표희동(2003)은 잉여생산모델과 ME모델을 이용하여 멸치자원량을 추정하면서 두 모델을 비교분석하였다. 잉여생산모델에서는 유의성이 가장 높게 나왔던 CYP모델을 이용하였는데, 그 결과 고유성장률 r 값이 CYP는 0.61, ME는 0.658로 비슷하게 나왔는데 멸치의 수명(약 1.5년)을 고려했을 때 적절하다고 판단되었다. 환경처리능력 K 는 ME가 CYP보다 약간 높게 나왔으며, MSY는 CYP모델을 이용했을 때 198,364톤, ME를 이용했을 때 213,287톤으로 나와 ME를 이용한 추정치가 조금 더 크게 나왔으나 결과적으로 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

다음으로 어업관리기법에 의한 효과 및 실증분석의 사례에 대해 분석해 보았다.

Campbell(1989)은 과잉어획능력을 제한하기 위해 1984년 호주에서 시행된 환매프로그램(buy-back programmes)의 경제적 효과를 평가하고, Tasmaniam rock lobster어업의 사례를 적용하여 실증분석 하였다.

어업에서 진입제한이 도입될 때 공공재적인 특성에 따라 경제적 원칙에 의

해 어업균형이 이루어지는데 진입제한 시 추가적인 투입제한의 강화는 일반적으로 어획비용을 증가시키고 이는 어업인들이 어업에서의 노력량을 감소시키도록 유도한다. 환매프로그램의 목적은 어업권을 사고 폐기함으로써 투입요소를 제약하여 어업에서의 자원이용성을 감소시키는 것이다.

경제적 효용 측면에서의 환매프로그램의 영향은 이윤의 양 혹은 어업에서 파생된 지대의 효과에 의해 평가될 수 있다. 진입제한 하에서 추가적으로 노력량을 감소시킬 경우 경제적 지대가 발생하게 되고 이로써 어업에서의 경제적 효용이 증가하게 된다.⁵⁾

하지만 실제 호주어업에서의 환매프로그램의 경제적 효용은 이론에서와 달리 그 효과가 낮은 것으로 나타났다. 즉, 이론상으로는 경제적 효용이 환매프로그램에 의해 60% 개선될 수 있다고 하였으나 실제로는 10%에 불과하였고, 관리비용이 추가될 경우 경제적 지대수준은 더욱 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 환매프로그램으로 인한 어획노력축소 이외의 다른 어획노력 투입량에 대한 제한이 없었기 때문으로 이러한 문제가 자원관리의 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다.

Dupont(1996)은 캐나다의 태평양 연어와 대서양 북해 대구의 사례를 분석하면서 자원을 보전하기 위한 관리방법의 유용성에 의문을 제기하고, 진입제한의 실패의 이유에 대해 이론적, 실증적으로 분석하였다. 논문의 내용은 다음과 같다.

Gorden(1954)은 북아메리카, 오스트리아, 그리고 뉴질랜드의 10년간의 어업관리정책의 목표에 영향을 미치는 논문을 발표하였는데 재생가능한 어족자원이 지속가능한 수익과 어획노력에 대한 총비용차이에서 오는 자원지대를 어떻게 창출할 수 있는지 설명하였다. 그의 모델에서 경제적 지속가능자원수준은 이러한 지대의 최대점이며 그는 제한없는 자유어업에서는 이것을 달성할 수 없다고 하였다. 양의 자원지대는 어업인들로 하여금 어업비용의 과잉으로 인해 지대가 0이 될 때까지 어획노력수준을 계속적으로 증가하도록 유인하기 때문에 이 모델에서의 균형은 자원지대의 완전한 소실 때 이루어지고 이 때 새 어선의 진입은 종료되며 어업자원은 MEY수준 이하로 감소하게 되는 것

5) 여기에 관한 자세한 내용은 제3장 제3절의 내용을 참고하기 바람.

이다.

Gorden분석에 의한 최근의 두드러진 정책법규는 조업시기동안 잡을 수 있는 어획물의 수량에 대한 전체 허용 쿼터를 지정하는 소위 말하는 TAC이다. 지대소멸은 어획노력수준이 어업에 과잉투입 될 때 발생하며 이론적인 해결 방법은 직접적으로 어업에 투입되는 어획노력량을 TAC에서 필요로 하는 최소한의 어획노력만 허용하여 제한하는 것이다. 이것이 진입 제한 혹은 진입 제한정책이다.

실제로 캐나다정부에서는 이러한 정책을 어렵게 시행해왔다. 이 정책이 어려운 이유는 어획노력으로 불리는 이론적 구조와 실제 투입되는 어획노력과의 차이 때문이다. 만약 제약된 투입요소 대신 제약받지 않는 대체 투입을 허용한다면 어업인들은 그들의 개인적인 수익을 개선시키기 위해 이러한 이점을 이용할 것이다. 진입제한은 자유어업에서의 “어업경쟁”을 제거하지 못한다. 왜냐하면 자유어업상태에서 자원수가 줄어들더라도 어업인들 사이에는 여전히 경쟁이 존재하기 때문이다. 남아있는 어업인들은 그들 스스로 바다의 자원을 차지하기 위해 노력하고, 경쟁자가 자신들의 어획능력을 증가시키기 전에 어떤 방법이든 모색한다. 모든 어업인들이 이렇게 하기 때문에 어획노력을 감소시키려던 규정의 원래 취지가 퇴색된다. 그 결과 지대소멸과 함께 최후에 자원지대는 0으로 떨어지게 되는 것이다.

캐나다에서 진입제한은 일부 성공적이었지만 진입제한과 환매프로그램으로 추가적 어획노력을 축소하더라도 ‘어업인간의 경쟁’은 피할 수 없고 결과적으로 지대는 소멸하게 된다. Dupont는 진입제한의 이러한 소유권의 부재 문제를 해결하기 위한 가장 좋은 방법으로 ITVQ⁶⁾의 채택을 추천하였다. 즉, ‘경쟁어업’을 감소시키지 않는 모든 정책은 여전히 어업인들이 그들의 경쟁자가 어획하기 이전에 어획하도록 충분한 어획노력을 가지려는 인센티브를 갖기 때문에 어업인 개개인에게 소유권을 부여함으로써 과당경쟁을 막는 것이 지대를 보존할 수 있는 방법이라고 주장하였다.

Sun(1998)은 타이완의 지속가능한 어업을 위한 연근해어선의 어획능력을

6) Individual Transferable Vessel Quotas : 어업인 개인에게 소유권을 부여하고 양도가가능하게 하는 제도.

추정하고, 어선수의 감소를 위해 어선감척프로그램의 영향을 평가하였다. 이를 위해서 연근해의 총 자원량의 변동과 생산함수를 구체화하여 추정하였다.

어업관리기준인 MSY를 최우추정법을 이용하여 추정한 결과를 살펴보면, $r(r=0.3102)$ 과 $1.0184E10^{-7}$ 인 $(\frac{r}{K})$ 를 이용하여 추정된 K값은 3,045,995톤, K의 근사표준오차와 t 통계량은 788,004.5톤과 3.97이었다. MSY는 $rK/4$ 와 같고, MSY에서의 자원스톡은 $K/2$ 와 같기 때문에 MSY와 MSY에서의 자원스톡은 각각 236,221톤, 1,522,977톤으로 추정되었다.

1993년의 기술효율성에 대한 값을 이용하면 MSY에서의 어선 톤수는 100,800톤이며 이 값을 1993년 실제톤수(164,447톤)와 비교하면 타이완의 연근해어업은 현재 남획되고 있는 것으로 나타났다.

논문에서는 또한 할인율을 고려했을 때 MSY, MEY, 그리고 OY하에서의 어업자원스톡과 어획노력, 그리고 어획량을 비교한 결과가 다음과 같이 나타났다.

$$X_{MSY} < X_{OY} < X_{MEY}$$

$$E_{MSY} < E_{OY} < E_{MEY}$$

그리고

$$Y_{MSY} > Y_{OY} > Y_{MEY}$$

위의 시뮬레이트된 3가지 시나리오에서 MEY는 가장 높은 NT\$8.9billion의 이윤을 나타냈고, 1993년에서의 실제 총 이윤은 NT\$2.9billion의 손실을 나타냈다.

MEY에서의 어업자원스톡은 2,132,991톤이고, 여기서는 MSY보다 더 크지만 MEY에서의 어획노력수준은 43,012톤으로 여기서는 MSY보다 더 낮게 나왔다. 1993년에 보고된 실제 어획량이 MEY의 어획수준과 거의 같다는 사실은 MEY수준에서의 연근해어획량이 현재 어획량수준과 가깝게 유지되고 있다는 것을 암시한다. 그리고 총 이윤은 증가된 자원스톡과 감소된 어획노력, 감소된 총 비용 때문에 상당히 개선되었다.

위의 MSY, MEY, OY(Optimal Yield)를 비교한 결과 MSY는 분명하고 명확

하며 실제적인 목표지만 MSY의 정의가 어업자원을 유지하는 사회적 경제적 이유를 무시하기 때문에 현실성이 떨어지고, MEY는 어업비용을 고려하지만 시간 선호를 무시한다는 것을 알 수 있었다(Clark 1985;1990). 따라서 동태적 할인을인 반영된 OY가 어업관리에 있어서 가장 적절한 관리기준이 될 수 있다. 즉, 단기상황에서는 MSY가 더 구체적인 목표를 제시할 수 있지만 장기경제상황에서는 OY수준에서 어획노력을 추가적으로 감소시킬 때 어업환경이 더욱 개선될 것이라고 논문에서는 밝히고 있다.

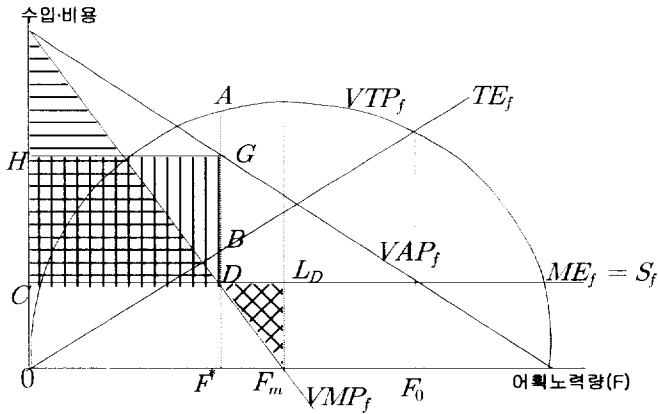
또한 이 연구는 새 어선의 축조를 제약하는 프로그램이나 이 프로그램을 어선감척과 환매프로그램과 함께 시행하는 것 모두 어획량의 감소를 피하거나 자원의 감소를 회복하는데 충분하지 않다는 것을 설명함으로써 자원관리의 어려움을 역설하였다.

이 밖에도 Anderson(2001)은 동력과 어업권의 제약에 의한 잠재적인 경제적 이윤을 평가하였고 Felthoven(2002)등은 이용가능한 데이터를 이용하여 알라스카 어업에서의 현재의 어획능력, 능력이용, 어업이용을 평가하였다.

제 3 장 Gorden의 지대소멸론에 대한 이론적 고찰

본 장에서는 Gorden의 지대소멸이론을 통해 어업에 있어서 남획이 발생하는 이유와 그로 인해 자유어업에서의 자원지대가 소멸하는 과정을 고찰해 보 고자 한다.

어업자원은 일반적으로 먼저 잡는 자가 주인이라는 무주물 선점의 원리가 작용하는 공유재산적 특성을 지니고 있다. 이를 이론적으로 살펴보면 다음과 같다. 즉 어류는 생산기술적 측면에서 그 자체가 생산함수를 갖고 있는 생물 체이며, 또한 사회경제적 측면에서 어업자원은 공유재산이다. 따라서 자유어업상태에 있을 경우 필연적으로 경쟁의 격화로 비효율을 초래하게 되며, 이는 궁극적으로는 자원지대의 소멸이라는 독특한 사회경제적 현상으로 귀착된다.



[그림 5] 자유어업과 관리어업의 생경제적 균형

이를 이론적으로 설명하면 다음과 같다. 위 [그림5]는 자유어업의 생물경제적 균형이 어업자원을 효율적으로 이용하는 관리어업의 생물경제적 균형과 어떻게 다른가 보여주고 있다. 어업에서의 생산요소인 어획노력의 효율적 이용이란 어획노력이 가져오는 한계생산물가치(VMP_f)가 그 가격(C)이나 한계지출(ME_f)에 일치하는 수준까지 생산요소가 이용되는 것을 의미 한다(즉 VMP_f

$=C=ME_f$). 그림에서 어획노력의 최적이용은 F^* 수준에서 이루어지고 있다. 이 F^* 수준의 어획노력량을 최대경제적 어획노력량이라 하고, 이에 대응하는 어획량을 최대경제적 생산량(MEY)이라 한다. 따라서 이 F^* 의 어획노력량과 최대경제적 생산량에 해당하는 어획량을 관리어업의 생물경제적 균형이라 한다.

이 최대경제적 생산량에서는 어업에서 얻어지는 총이윤이 극대로 되며, 이는 총생산물가치에서 지출을 차감한 선분 AB에 해당한다. 마찬가지로 최대경제적 어획노력량(F^*)수준에서는 단위어획노력량의 평균생산물가치(VAP_f)가 F^*G 이고, 그 가격이 F^*D 이므로 단위어획노력당 선분 DG에 해당하는 이윤을 얻고, 그 결과 관리어업에서 발생하는 이윤의 총액은 단위어획노력당 이윤(DG)에 최대경제적 어획노력량(OF^*)을 곱한 면적 CHGD이다.

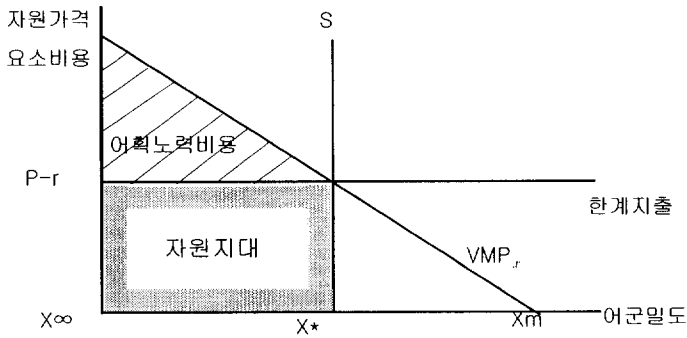
그런데 이 이윤은 흔히 경제학에서 말하는 정상이윤을 상회하는 순수경제적 이윤이나 초과이윤을 의미하지는 않는다. 경제학적 측면에서 최대경제적 생산량이 의미하고 있는 바를 설명하기 위해 먼저 생산요소인 어군과 어획노력량이 원점으로부터 시작하여 한계생산물가치가 최대지속적 생산량을 가져다주는 적정 어획노력량에 도달하기까지를 경제적 생산영역이라고 부른다.

만약에 어획노력에 대하여 사회가 희생하는 기회비용의 가치를 전혀 고려하지 않는다면 어획노력량은 최대지속적 어획량에 해당하는 F_m 수준으로 유지되어야 한다. 그런데 어획노력에 대한 대가를 고려하지 않고 최대지속적 어획량을 사용한다면 사회적으로 자원을 비효율적으로 배분하게 하여, 그림의 면적 DLF_m 에 해당하는 경제적 후생손실이 발생한다. 그러므로 어업자원의 이용으로 얻어지는 순수경제적 이윤은 완전경쟁시장에서 자원의 효율적 배분을 가져오는 정상이윤과는 전혀 다른 성질을 갖게 되는 것이다.

다시 말해 어업자원을 이용하고 있는 산업이 완전경쟁적인 생산물시장과 생산요소시장을 다 함께 갖추고 있을지라도 정상이윤을 초과하는 순수경제적 이윤은 반드시 발생한다. 어업에서는 오히려 순수경제적 이윤이 정상이윤을 초과할 때 자원의 효율적 이용이 이루어진다. 이 순수경제적 이윤은 어업자원 자체가 지니고 있는 성장함수가 고정되어 있기 때문에 발생한다. 이와 같이 어업자원의 이용에서 얻어지는 순수경제적 이윤은 자원자체의 성질에서

비롯되기 때문에 자원지대(resource rent)라고 한다.

이 자원지대는 [그림 6]에서 보는 바와 같이 어군이 최대경제적 생산량을 어획하게 하는 지속적 어군량(X^*)에 해당하는 때에 발생할 수 있는 지대이다.



[그림 6] Gordon의 지대소멸이론

위 그림에서 어군을 생물적 균형(X_{∞})에서부터 점차 어획할수록 지속적 어획량이 가져다주는 사회적 가치인 한계생산물가치(VMP_x)가 점점 감소하고 있다. 어군밀도가 생물적 균형수준인 X_{∞} 에 머무르고 있을 때에 한 단위의 어군밀도를 감소시키면서 어획할 수 있는 한계생산물의 가치는 최대에 달한다. 어군밀도를 감소시키면서 어획할수록 지속적 어획량은 채감하고, 어군밀도가 X_m 에 달했을 때 어획량이 최대지속적 어획량(MSY)에 도달하여 총생산물가치의 증가는 정지한다.

그러나 어군의 밀도가 최대경제적 균형(X^*)에서 유지될 때에는 한 단위의 어군밀도를 감소시켜 얻어지는 어획물의 시장가치($P-r$)가 한 단위를 그대로 어군에 머물게 하여 늘어나는 지속적 어획량의 한계가치(VMP_x)와 동일하다. 여기에서 어업자원의 단위당 가격은 어획물의 가치(P)에서 어획비용(r)을 뺀 ($P-r$)과 같다. 그리고 그림에서 최대경제적자원량 X^* 에 단위어군의 지대($P-r$)을 곱한 면적을 자원지대라고 한다. 만약 이 자원지대에 소유권이 부여된다

면 이 지대는 절대지대가 된다.

그러나 어업자원은 무주물이기 때문에 어업에서의 지대는 절대지대에 속하지 않고 자원지대로 남게 된다. 어업자원의 이용에서 발생하는 자원지대는 생산요소의 소유자가 그 사용대가로 요구하는 요소가격이 아니고 [그림 6]에 나타난 바와 같이 어획물의 가격(P)과 어획물 단위당 생산비용(r)에 의존하고 있다. 환언하면 어획물의 가격이 상승하면 할수록 자원지대는 증가하고, 어획비용이 상승하면 할수록 자원지대는 따라서 감소한다. 이는 생산요소로서의 토지의 지대가 토지에서 생산되는 농산물의 가격의 일부를 구성하는 것이 아니고, 그 반대로 농산물의 가격이 토지의 지대를 결정한다는 것과 동일한 원리에서 나온다.

어업권이 소유물의 대상이 될 수 있다면, 토지와 같이 사유화된 자연자원의 가격이 결정되고 있는 '메카니즘'과 동일한 방법으로 지대는 결정되고, 가격의 상승으로 인해 자원지대가 증가하여 어획노력이 증대되더라도 지대에 대한 대가를 지불해야 하므로 비용발생에 의해 어획노력이 다시 감소되어 어업자원의 효율적 이용을 가져온다. 그러나 어업자원은 소유권이 불분명하여 누구든지 어획할 수 있으므로, 어업자들은 오로지 자신의 이익만을 위하여 개인적 총수입이 총비용을 초과하는 한 어획노력을 증가시킨다. 그 결과 자유어업의 생물경제적 균형은 [그림 6]에서 보는 바와 같이 어획노력량이 X_m 에서 이루어지게 되고 그로 인해 어업자는 정상이윤만을 얻을 뿐, 자원지대를 획득하지 못한다. 이처럼 자유어업의 생물경제적 균형에서는 자원지대가 발생하지 않고 오히려 최대경제적 어획노력량에서 획득할 수 있는 자원지대가 완전히 없어질 때 까지 남획하게 되므로 결과적으로 어업의 비효율성 및 자원고갈의 문제가 발생하게 되는 것이다(유동운, 1996).

이러한 자원지대의 소멸은 결국 자유로운 어업활동에 대한 규제와 관리, 그리고 보호라는 어업관리의 이론적·현실적 근거가 되고 있으며, 어업관리의 궁극적인 목적은 바로 이렇게 소멸된 지대를 보존하는 것으로써 뒤에 언급하게 될 어선감척프로그램의 목표도 여기에 있다고 할 수 있다.

제 4 장 연근해어업의 어획노력평가에 관한 실증연구

기존에 자원평가모델로 주로 이용된 잉여생산모델은 어획량과 단위노력당 어획량(CPUE ; Catch Per Unit Effort)을 이용하여 MSY등을 분석하고 그에 다른 경제적 분석을 시도하였다. 그러나 이러한 분석방법은 연도별 자원량에 대한 추정이 불가능 할 뿐만 아니라 분석모형이 선형이라는 점, 그리고 어획량=자연성장량이라는 균형상태를 가정하는 등의 제약조건이 다르기 때문에 분석에 한계를 보여 왔다. 하지만 최근 자원량에 영향을 미칠 수 있는 최소한의 자료를 활용하여 수산자원에 대한 분석을 가능하게 하는 ME기법에 대한 이론적 연구가 국외에서 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 Golan(1996b) 등이 ME기법을 이용하여 자원분석을 할 수 있는 모형을 제시하였으며 본 연구도 위 모형을 자원량 추정에 이용하고자 한다. ME모델은 잉여생산모델에서 추정할 수 없었던 연도별 자원량의 추정이 가능하여 시계열 자료에 매우 용이하게 사용할 수 있으며, 분석모형에 따른 제약이 없고 균형상태를 가정하지 않기 때문에 보다 폭넓고 정교한 연구가 가능할 것으로 기대된다.

제 1 절 ME모델을 이용한 지속가능어획노력수준 평가

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 좀 더 자세히

알아보기로 한다.

ME의 기본개념에 대해 이해하기 위하여 우선 다음의 식을 고찰해 보자.

$$y = Xp \dots\dots\dots (4)$$

- ① 이 문제는 유한하고, 이산적이며, 선형의 모형이다.
- ② 관찰 가능한 변수인 y 는 T 차원의 벡터이다.
- ③ X 는 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 관찰 가능한 개수(T)보다 미지의 개수(K)가 많은 ill-posed 문제이다. Shannon(1948)은 이러한 문제에 대한 불확실성을 측정하기 위한 유일 함수를 정의하는 공리적 방법으로 확률분포의 엔트로피를 다음과 같이 정의하였다.

$$H(p) \equiv - \sum_K p_k \ln p_k, \text{ 단, } 0 \times \ln 0 = 0 \dots\dots\dots (5)$$

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

$$p_1 = p_2 = \dots = p_K = \frac{1}{K} \dots\dots\dots (6)$$

위와 같이 정의된 엔트로피 함수의 유용성을 알기 위해 다음의 경우를 고찰해 보자. K 개의 결과를 생성하는 어떤 사건을 N 번 시행한다. 이 때 각각의 결과의 발생회수를 N_k 라 하자. 이에 따라 (7)식은 당연히 성립한다.

$$\sum_k N_k = N, \quad N_k \geq 0 \quad \text{and} \quad k = 1, 2, \dots, K \dots \dots \dots (7)$$

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 (8)식과 같이 정리할 수 있다.

$$p_k = \frac{N_k}{N} \quad \text{즉,} \quad N_k = Np_k \quad \text{for} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \dots \dots \dots (8)$$

이때 각각의 N_k 를 알고 있다면 (8)식에 의해 p_k 의 추정이 가능하나 우리가 알고 있는 것은 (4)식에 그치고 있다. 따라서 우리는 (4)식을 만족하는 미지의 사건발생의 회수 W를 최대화 하는 방법으로 p_k 를 추정할 수 있다. 위와 같은 사건이 발생할 수 있는 경우의 수를 모두 구하면 다음과 같다.

$$W = \frac{N!}{(N_1)!(N_2)! \dots (N_K)!} = \frac{N!}{\prod_k N_k!} \quad \dots \dots \dots (9)$$

위 식을 단조증가함수인 로그함수를 이용해 다시 쓰면 (10)식이 된다.

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

이를 Stirling's approximation⁷⁾을 이용하여 변형하면 다음과 같다.

$$\ln W \approx \ln N - N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k + \sum_{k=1}^K N_k$$

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

$$= N \ln N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N_k \quad \dots\dots\dots (11)$$

여기서 (12)식이 나타내는 근사값이 성립한다고 가정할 수 있으므로 (13)식이 성립하고 결국, (14)식이 성립한다.

$$\frac{N_k}{N} = p_k \quad \text{as } N \rightarrow \infty \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} \ln W &\approx N \ln N - \sum_{k=1}^K N p_k \ln N p_k \\ &= N \ln N - \sum_{k=1}^K N_k \ln N - N \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \\ &= -N \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$N^{-1} \ln W \approx - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k = H(p) \quad \dots\dots\dots (14)$$

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

$$\begin{aligned} \max H(p) &= - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k \\ \text{s.t. } y_t &= \sum_{k=1}^K f_t(x_k) p_k, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ \sum_{k=1}^K p_k &= 1 \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

p_k 를 추정하기 위해 라그랑지안함수를 이용하여 풀면 다음과 같이 풀 수 있

다.

$$L = - \sum_{k=1}^K p_k \ln p_k + \sum_{t=1}^T \lambda_t (y_t - \sum_{k=1}^K f_t(x_k) p_k) + \mu (1 - \sum_{k=1}^K p_k) \dots\dots\dots(16)$$

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

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

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

$$\therefore p_k = \exp \left[- \sum_{t=1}^T \lambda_t f_t(x_k) \right] / \sum_{k=1}^K \exp \left[- \sum_{t=1}^T \lambda_t f_t(x_k) \right], \quad k = 1, 2, \dots, k \dots\dots\dots(17)$$

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.

$$y_t = f(E_t^j, X_t, \epsilon_t; \alpha) \dots\dots\dots(18)$$

$$X_{t+1} - X_t = g(E_t^j, X_t, \mu_t; \beta) \dots\dots\dots(19)$$

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

α, β 는 추정파라메타를, ϵ_t, μ_t 는 오차항을 나타낸다. 이 문제를 풀기 위하여 먼저 모수와 오차항을 다음과 같이 확률변수화 하는 것이 필요하다.

$$\alpha = p_1^\alpha \alpha_1 + p_2^\alpha \alpha_2 + \dots + p_m^\alpha \alpha_m$$

$$\beta = p_1^\beta \beta_1 + p_2^\beta \beta_2 + \dots + p_n^\beta \beta_n$$

$$\epsilon_t = p_{t1}^\epsilon \epsilon_{t1} + p_{t2}^\epsilon \epsilon_{t2} + \dots + p_{tl}^\epsilon \epsilon_{tl}, \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

$$\mu_t = p_{t1}^\mu \mu_{t1} + p_{t2}^\mu \mu_{t2} + \dots + p_{tl}^\mu \mu_{tl}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1, \dots \quad (20)$$

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

$$y_t = AE_t^\alpha X_t^\beta e^{\epsilon_t} \quad \dots \quad (21)$$

$$X_{t+1} = [X_t + rX_t(1 - \frac{X_t}{K}) - y_t]e^{\mu_t} \quad \dots \quad (22)$$

식(21)에서 y_t 는 연안어업의 총 어획량을, A는 어획계수를, E는 어획노력량을, X_t 는 연도별 자원량을 나타내고, α 와 β 는 각각 노력량과 자원량이 1% 늘어날 때 증가하는 탄성치를 나타낸다고 할 수 있다. 식(22)의 r은 고유성장률을, K는 최대환경수용자원량을 나타내며, $rX_t(1 - \frac{X_t}{K})$ 는 자연증가량을 의미한다.

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

$$A = p_1^A \times 0 + p_2^A \times 0.5 + p_3^A \times 1$$

$$\alpha = p_1^\alpha \times 0 + p_2^\alpha \times 0.5 + p_3^\alpha \times 1$$

8) 자연증가량과 어획량이 같은 수준일 때 최대지속어획이 가능하다.

$$\beta = p_1^\beta \times 0 + p_2^\beta \times 0.5 + p_3^\beta \times 1 \quad \dots\dots\dots (23)$$

생산함수를 나타내는 식에서 A, α, β 는 $[0,1]$ 의 범위에 있다고 가정하였다.9)

$$r = p_1^r \times 0 + p_2^r \times 1 + p_3^r \times 2$$

$$K = p_1^K \times 0 + p_2^K \times 30,000,000 + p_3^K \times 60,000,000 \dots\dots\dots (24)$$

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.

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

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

$$\mu_t = p_{t1}^\mu \times 0 + p_{t2}^\mu \times (-0.2) + p_{t3}^\mu \times 0.2, \quad t = 1980, 1981, \dots, 2002, \dots (25)$$

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

위의 식을 제약조건으로 하고, 확률의 조건

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

$$\sum_{i=1}^3 p_{ti}^X = 1, t = 1980, 1981, \dots, 2003$$

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

$$\sum_{i=1}^3 p_{ti}^{\epsilon} = 1, t = 1980, 1981, \dots, 2003$$

$$\sum_{i=1}^3 p_{ti}^{\mu} = 1, t = 1980, 1981, \dots, 2002 \quad \dots(26)$$

을 만족하는 다음 식을 GAMS를 이용하여 푼다.

$$\max \left[- \sum_i^3 p_i^j \ln p_i^j - \sum_t \sum_{i=1}^3 p_{ti}^k \ln p_{ti}^k \right], j = A, \alpha, \beta, r, K, k = X, \epsilon, \mu \dots(27)$$

2. 우리나라 연근해 어업의 지속가능어획노력수준 평가

가. 어획노력량의 산정

어획노력은 생물학적으로는 “어업자원에 직접 영향을 주는 어떤 행위”라고 정의할 수 있고 경제학적으로는 “어업부문에 있어 전통적인 생산요소의 하나이거나 어류라는 제품을 생산하기 위한 중간투입재”라고 정의할 수 있다.

한편 어획노력의 종류는 다시 명목적 어획노력(nominal fishing effort)과 유효어획노력(effective fishing effort)으로 구분되는데, 전자는 금액 또는 물리적 단위로 계량화된, 어업에 투하된 자원의 양으로서 어업에 사용된 자본과 노동 등의 투입요소이다. 반면 후자는 통상어업에 의해 추출된 어류의 자원량으로 측정되는 어획사망률로서 평균자원량에 대한 비율로 표시할 수 있다.¹⁰⁾ 그러나 Clark은 생물학적 어획노력, 명목적 어획노력, 유효어획노력 이외에 생산된 어획량에 대한 특정 어류의 구성비율인 선택요소(selectivity

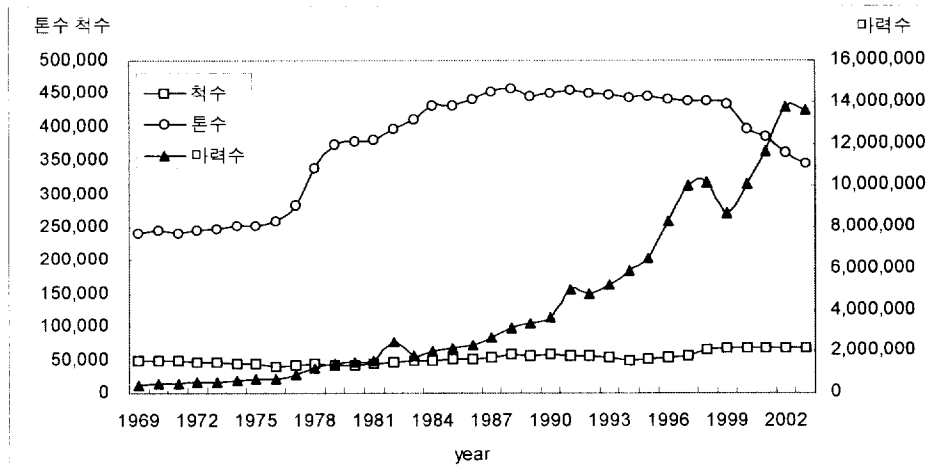
10) 생물학자들은 어업에 의해 남획되고 남은 자원량인 유효어획노력(F)를 중시하고 있는데 이것은 $F=qf$ 로 나타낼 수 있다. (q는 어획가능계수, f는 명목적어획노력). 따라서 명목적어획노력으로 나타낸 단순한 단기 생산방정식은 $Y=qfp$ 와 같이 표시할 수 있다. (p는 어업자원량). 그러나 이식은 주어진 어획노력하에서 생산량은 자원의 크기에 선형적으로 변화됨을 나타내고 있는데 실제로 생산량은 어업자원량에 대해 수확체감하므로 위 식은 $Y=qfp\alpha$ 로 쓸 수 있다(이때 α 는 자원의 생산변동률로서 $0 < \alpha < 1$).

factor)와 어획량에 대한 특정 어류의 풍도(density of fish within V)도 어획 노력의 하나로서 분류하고 있다(Clark, 1985).

우리나라에서 주요어업별 어획능력을 평가함에 있어서 앞의 어획노력 분류는 참고가 될 수 있으나 이에 따라 그대로 산정할 수는 없다. 특히 유효어획 노력에 대해서는 자료수집 및 자원평가 방법상의 문제로 인해 이에 따른 어획노력의 산정은 어려운 실정이다. 따라서 여기서는 명목어획노력을 중심으로 노력량을 평가하고자 한다.

어획량과 노력량에 대한 함수인 생물경제모델에 있어서 노력량의 책정은 매우 중요한데, 그 이유는 아직까지 노력량책정에 대한 표준화된 연구가 없고, 노력량데이터가 어획량을 얼마나 잘 반영하느냐에 따라 모델의 유의성이 결정되기 때문이다.

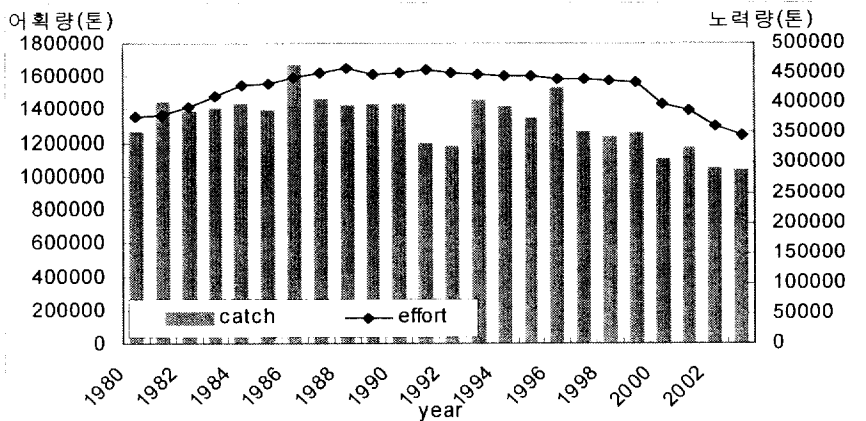
어획노력의 정도를 검토하기 위하여 본 연구에서는 어획노력을 잘 설명할 수 있는 대리변수를 찾기 위해 다음의 [그림 7]과 같이 연근해의 어선세력을 나타낼 수 있는 척수, 톤수, 그리고 마력수를 나타냈다. 그 결과를 보면 연근해어선의 수는 꾸준히 증가해온 것으로 나타났으며 이들 어선이 보유하고 있는 엔진의 출력은 급격하게 증가해온 것을 알 수 있다. 엔진제작기술이 향상됨에 따라 보다 고출력의 엔진을 낮은 가격에 구입하여 사용하기 때문에 엔진의 출력은 어획노력을 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 한편, 선박의 크기를 나타내는 톤수는 어획량의 변화와 움직임을 같이하고 있는데 이는 어획량에 따라 수확된 어자원을 운반하기 때문이라고 판단된다. 즉, 어선의 규모는 조업에 따른 비용을 극소화하기 위해 필요한 규모의 어선을 이용하고 있다고 볼 수 있다(해양수산부, 2003).



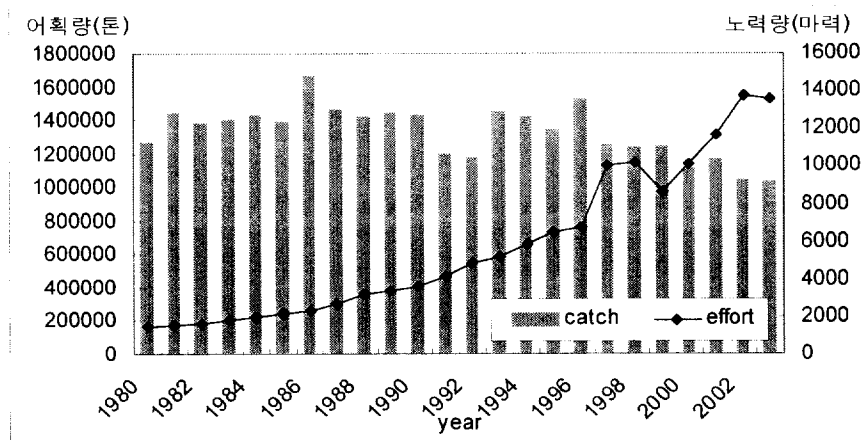
[그림 7] 연근해 어선세력의 변화(단위:척, 톤, 마력)

이를 토대로 어획량을 잘 설명할 수 있는 변수를 찾아본 결과 평균어선의 크기(톤)가 가장 바람직한 것으로 나타났다. 아래의 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 연간 톤수는 어획량의 변화와 거의 일치하고 있는 것을 볼 수 있으며 이는 어선의 운영비용에 의하여 조업수준이 결정되는 것을 말해주며 어선의 퇴출이 어획량이 평균어선크기에 따른 비용에 이르지 못할 때 나타나는 것을 보여준다. 한편, 출어당 어획량을 운반할 수 있는 수준까지 어획노력이 투입된다는 물리적 제약조건을 만족시켜주는 것으로 보인다.

즉, 마력수의 급격한 증가만큼 어획량이 증가했다고 볼 수 없으며, 이를 통해 마력수의 증가에 의한 어획노력의 증가가 어획량에 있어서 유효하지 못했다는 결론을 낼 수 있다. 이에 의거하여 연근해 어업에 대한 어획노력을 연근해어선의 톤수에 의거하여 산정하도록 한다.



[그림 8] 연근해 톤수와 어획량



[그림 9] 연근해 마력수와 어획량

나. 어획량 및 어선세력

다음 표는 본 연구에서 데이터로 이용한 우리나라 연근해어업의 연도별 총 어획량과 어획노력, 단위당 어획노력의 통계량을 나타낸 것이다. 자료는 모두 해양수산통계연보의 연도별 데이터를 이용하였다. 연근해어업의 어획량 데이터 중에서 어선이 어업에서 차지하는 비중이 비교적 작은 정치망 어업과 잠

수기어업은 데이터에서 제외하였다. 그리고 대략적인 연근해어업현황을 살펴 보기 위해 어획노력과 함께 단위당 어획노력을 함께 나타내 보았다.

[표 2] 연근해어업의 연도별 통계량 (단위: 톤, 마력)

연 도	어획량	톤 수	마력수	톤당어획량	마력당어획량
1980	1,266,384	377,013	1,463	3.4	866
1981	1,441,659	380,714	1,528	3.8	943
1982	1,381,807	391,872	1,661	3.5	832
1983	1,405,859	410,736	1,796	3.4	783
1984	1,429,818	430,500	2,022	3.3	707
1985	1,390,803	432,247	2,163	3.2	643
1986	1,663,655	441,873	2,343	3.8	710
1987	1,457,895	451,554	2,684	3.2	543
1988	1,424,138	457,835	3,163	3.1	450
1989	1,436,701	446,527	3,343	3.2	430
1990	1,433,437	451,272	3,671	3.2	390
1991	1,200,437	455,385	4,186	2.6	287
1992	1,181,685	450,335	4,802	2.6	246
1993	1,452,301	448,408	5,227	3.2	278
1994	1,416,225	444,109	5,921	3.2	239
1995	1,343,718	445,196	6,511	3.0	206
1996	1,523,010	439,261	6,728	3.5	226
1997	1,259,280	439,316	10,028	2.9	126
1998	1,235,057	438,205	10,178	2.8	121
1999	1,249,199	434,142	8,689	2.9	144
2000	1,106,612	397,868	10,105	2.8	110
2001	1,168,793	386,181	11,651	3.0	100
2002	1,045,593	362,163	13,720	2.9	76
2003	1,036,129	345,066	13,570	3.0	76

다. 지속가능어획량의 개념

본 연구에서 어업평가의 기준으로 제시한 지속가능어획량은 최대지속가능 어획량인 MSY의 개념에 기초하고 있다. MSY는 자원의 최대성장량만큼만 어획량을 유지한다면 자원의 낭비와 남획 없이 효율적으로 어업을 유지할 수 있다는 것으로 그동안 어업관리의 목표로 제시되어 왔다. 비록 MSY가 경제

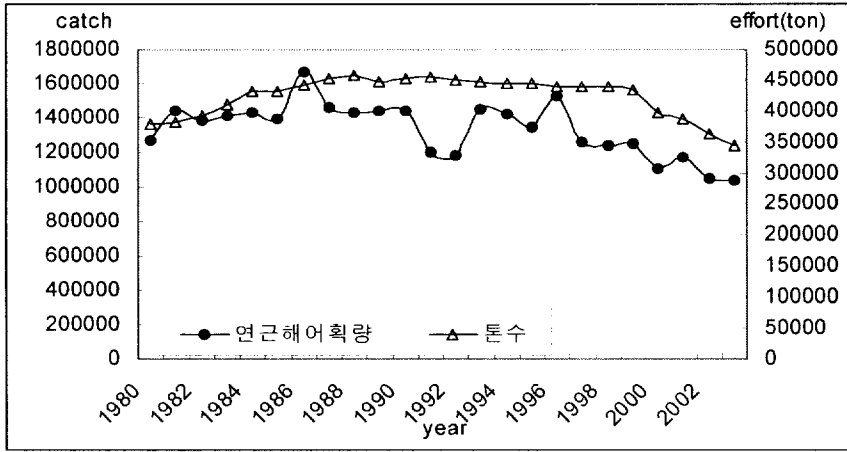
적 요인이 고려되지 않아서 현실적 대안이 되지 못한다는 문제점이 제기되고 있으나 다른 기준보다 자료 요구량이 적고 분명한 목표를 제공한다는 이점 때문에 아직까지 어업자원의 기준으로 널리 쓰이고 있다. 본 연구에서 제시한 지속가능어획량은 바로 이 MSY를 뜻하고 있다.

라. 지속가능어획량(MSY)수준 및 지속가능어획노력량 평가

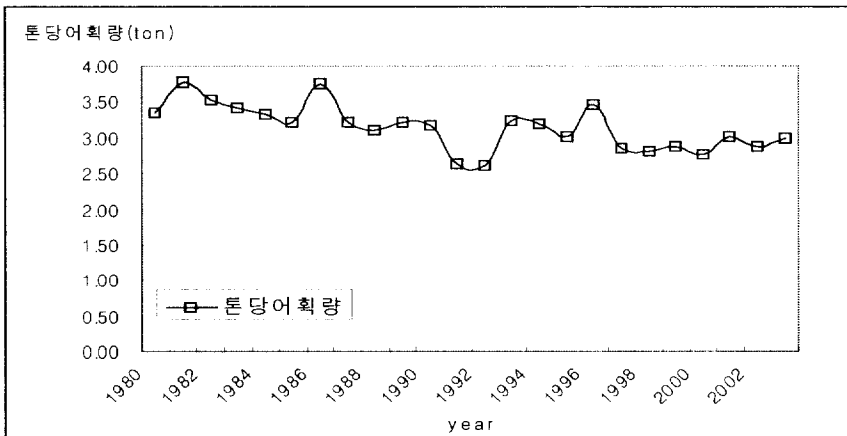
본 연구에서 우리나라 연근해어업의 지속가능한 어획수준 및 노력수준 산정을 위해 도입한 MSY는 근본적으로 어종에 대한 기본개념으로써 일반적으로 어업에 대한 자원량 추정에 이용할 수 없는 것이 사실이지만, 여기서는 우리나라 연근해 자원을 하나의 어종(aggregate fisheries stock)으로 간주하여 이를 통해 생산함수를 추정함으로써 궁극적으로 연근해어업의 MSY 및 MSY 수준을 달성하는 어획노력수준을 산정하고자 한다.¹¹⁾

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 어선 톤수도 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.

11) 이러한 개념을 도입하여 연근해어업의 MSY를 추정한 사례로 타이완의 SUN(1998)과 해양수산부(2003)가 있다.



[그림 10] 연근해어획량 및 톤수



[그림 11] 연근해어업의 톤당어획량

이러한 연근해 데이터를 기본 자료로 하여, ME 모형을 통하여 분석한 결과 다음 [표 3], [표 4]과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

[표 3] 각 파라메타의 추정 결과

Parameters	A	r	K	α	β
Estimates	0.505	0.121	30,300,000	0.165	0.76

[표 4] 연도별 자원량 추정 결과

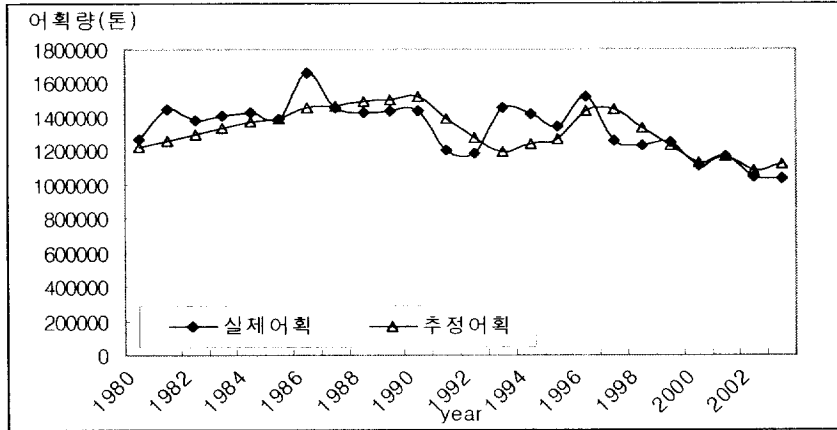
year	확률분포			자원량(톤)
	X=0	X=15,000,000	X=30,000,000	
1980	0.330	0.306	0.364	15,510,000
1981	0.330	0.267	0.403	16,095,000
1982	0.330	0.239	0.431	16,515,000
1983	0.330	0.209	0.461	16,965,000
1984	0.330	0.180	0.490	17,400,000
1985	0.330	0.154	0.516	17,790,000
1986	0.330	0.085	0.585	18,825,000
1987	0.330	0.079	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(28)과 식(29)와 같다.

$$y_t = 0.505 E_t^{0.165} X_t^{0.76} \dots\dots\dots (28)$$

$$X_{t+1} - X_t = 0.121 X_t \left(1 - \frac{X_t}{30,300,000}\right) - y_t \dots\dots (29)$$

위 식에서 알 수 있는 것처럼 연근해 자원의 고유성장률은 0.121, 환경최대 수용능력은 30,300,000톤, 2003년 현재의 자원량 수준은 14,010,000톤으로 추정되었다. 이를 토대로 추정어획량과 실제 어획량을 비교하면 다음 [그림12]와 [표 5]와 같다.



[그림 12] 연근해어업의 추정어획량과 실제어획량 비교

[표 5] 추정어획량 및 자연성장량

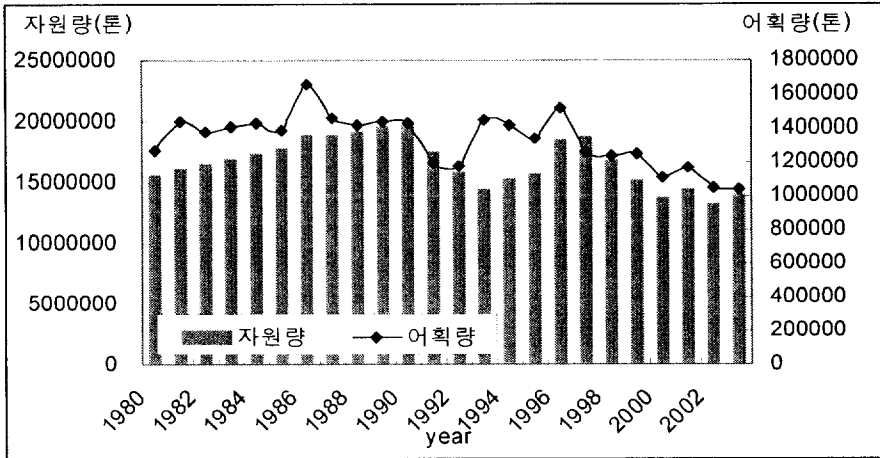
연도	실제어획	추정어획	성장량	오차(%) ¹²⁾
1980	1,266,384	1,225,336	912,272	-3.24
1981	1,441,659	1,262,337	909,236	-12.44
1982	1,381,807	1,293,445	905,378	-6.39
1983	1,405,859	1,330,424	899,687	-5.37
1984	1,429,818	1,366,829	892,654	-4.41
1985	1,390,803	1,390,980	885,070	0.01
1986	1,663,655	1,457,351	859,077	-12.40
1987	1,457,895	1,467,882	856,414	0.69
1988	1,424,138	1,488,049	847,556	4.49
1989	1,436,701	1,500,363	837,015	4.43
1990	1,433,437	1,518,760	827,351	5.95
1991	1,200,437	1,384,982	891,012	15.37
1992	1,181,685	1,280,303	911,055	8.35
1993	1,452,301	1,190,773	910,460	-18.01
1994	1,416,225	1,240,353	912,773	-12.42
1995	1,343,718	1,268,657	911,753	-5.59
1996	1,523,010	1,432,945	869,872	-5.91
1997	1,259,280	1,448,013	862,951	14.99
1998	1,235,057	1,331,135	902,734	7.78
1999	1,249,199	1,232,010	912,788	-1.38
2000	1,106,612	1,127,504	904,881	1.89
2001	1,168,793	1,168,218	911,055	-0.05
2002	1,045,593	1,078,688	898,127	3.17
2003	1,036,129	1,117,733	907,619	7.88

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

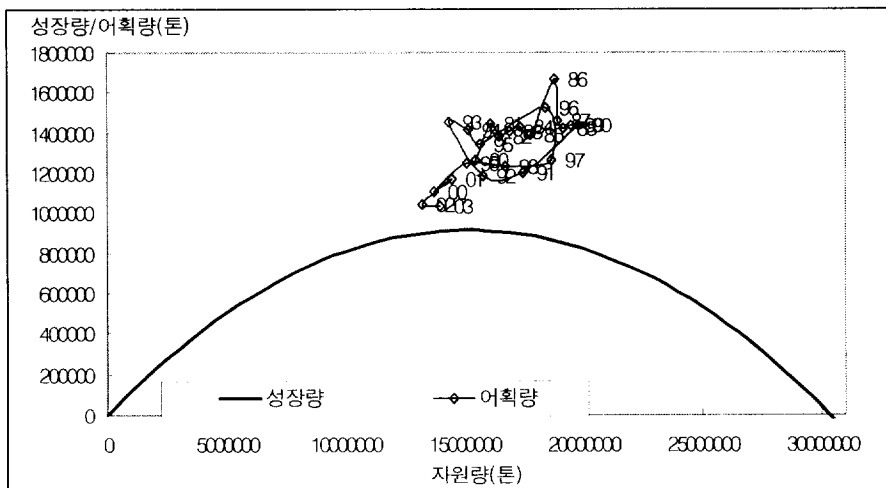
이를 토대로 연도별 자원량과 지속가능한 어획량 수준 및 어획노력수준을 그래프로 나타내면 다음 [그림 13], [그림 14]와 같다. 먼저 자원량수준과 어획량 정도를 살펴보면 1990년대 초까지 자원량이 증가하다가 이후 증감을 반복하였고 1998년 이후부터는 자원량이 계속 감소하여 그에 따라 어획량수준도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 [그림 14]에 나타난 바와 같이 어획

12) 오차=(추정어획량-실제어획량)/실제어획량*100

량은 과거에 지속적으로 자연 성장량, 즉 MSY를 상회하는 과도한 어획이 이루어 졌으며, 최근 어획량이 감소하고 있기는 하지만 단위당 어획량의 증가 추이를 봤을 때([그림 11] 참조) 어획노력의 감소로 인한 결과라기보다는 자원의 고갈로 인한 어획감소인 것으로 파악된다.



[그림 13] 연근해어업의 자원량과 어획량



[그림 14] 연근해어업의 자연성장량과 어획량

위의 결과를 토대로 연근해 어업에 대한 분석 결과, 지속가능한 최대어획량 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

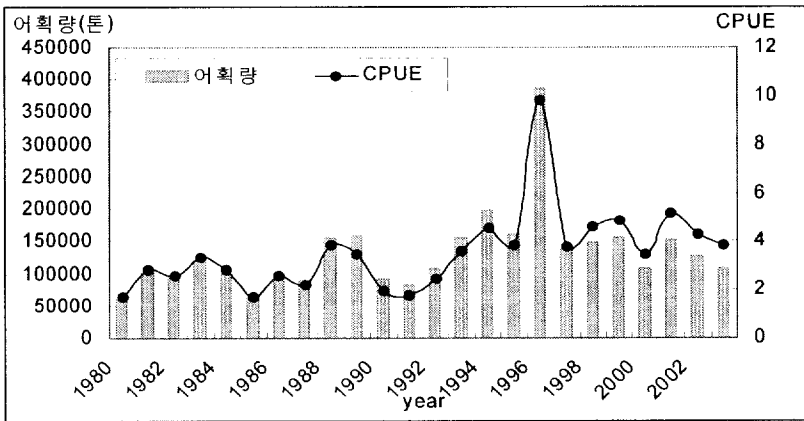
이번 절에서는 우리나라 주요 어종의 하나인 고등어에 대한 자원평가를 토대로 대형선망어업의 적정어획노력수준을 추정하고자 한다. 고등어를 대상어종으로 선정한 이유는 고등어가 대중성 어종으로 다른 어종에 비해 경제적 가치가 크고, 대형선망어업이 국내 고등어 생산의 80~90% 정도를 어획하고 있어 분석에 필요한 데이터를 구하기가 다른 어종에 비해 용이하기 때문이다.

가. 고등어의 어획량 및 CPUE

고등어는 멸치, 갈치, 오징어와 더불어 우리나라 연근해에서 가장 많이 생산되고 있는 어종 중의 하나이다. 고등어의 어획량은 1975년에서 1987년까지는 5만톤에서 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 불규

칙적인 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 15] 고등어의 어획량 및 단위노력당 어획량

나. 주요 어획대상 어업

고등어를 어획대상으로 하는 어업은 대형선망을 비롯한 유자망, 정치망, 안강망등이 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 6] 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 7] 각 파라메타의 추정 결과

Parameters	A	r	K	α	β
Estimates	0.184	0.139	3,500,000	0.191	0.835

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

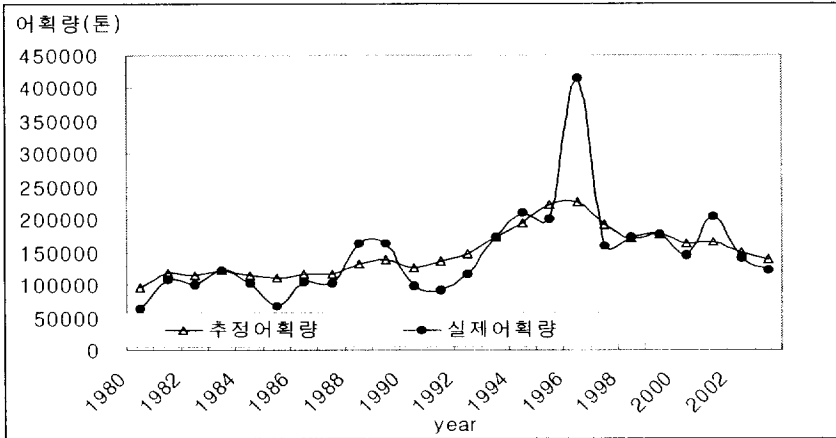
$$X_{t+1} - X_t = 0.139X_t \left(1 - \frac{X_t}{3,500,000}\right) - y_t \dots\dots (31)$$

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.

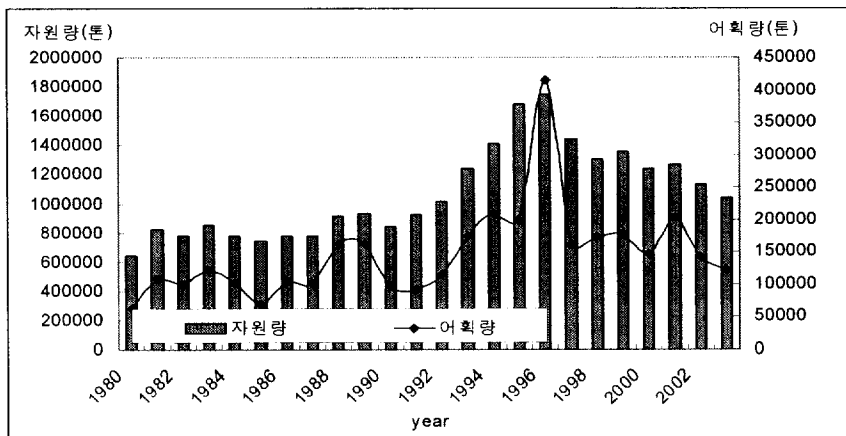
위 식을 토대로 추정어획량과 실제어획량을 비교한 결과 다음과 같이 1996

년도의 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.

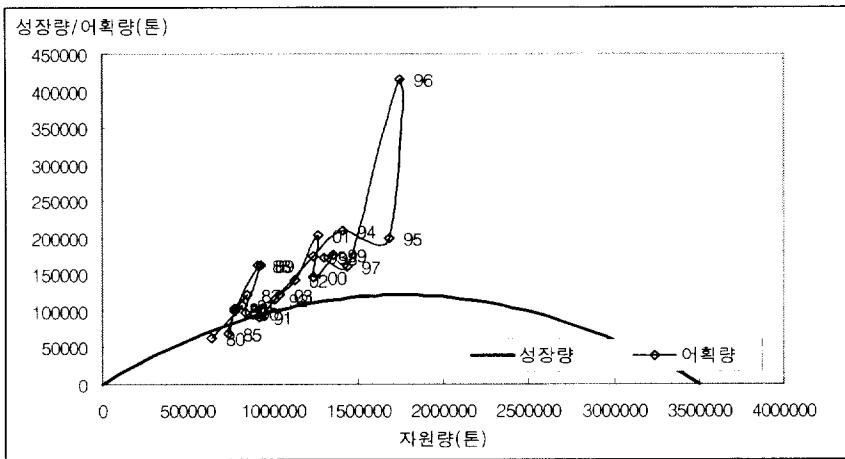


[그림 16] 고등어의 추정어획량과 실제어획량 비교



[그림 17] 고등어의 자원량과 어획량

성장량을 나타내는 $0.139X_t(1 - \frac{X_t}{3,500,000})$ 식을 바탕으로 지속가능어획량수준을 추정된 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 18] 고등어의 자연성장량과 어획량

마. 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.

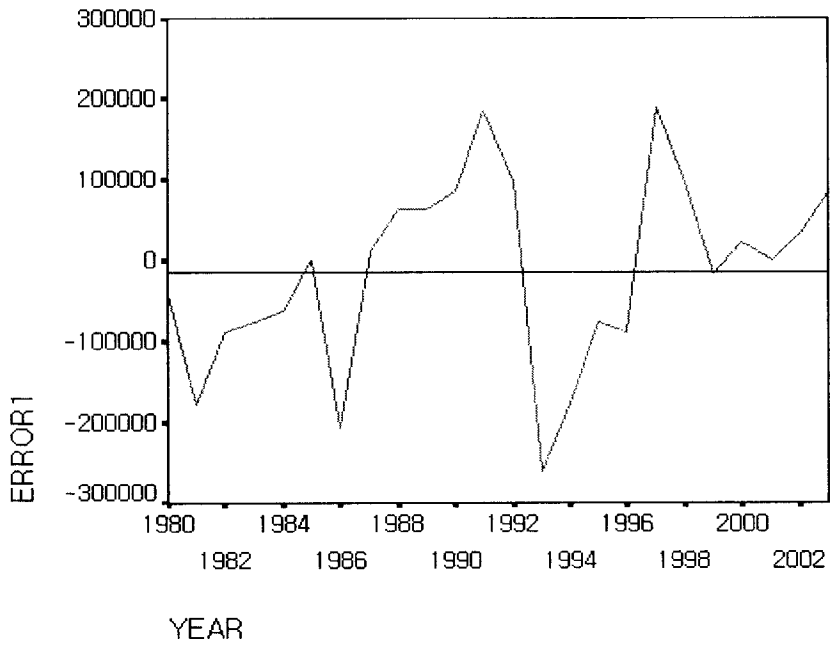
잔차분석은 일반적으로 통계모형진단에서 가장 많이 쓰이는 방법으로 회귀

분석 뿐만 아니라 시계열분석에서도 대표적인 모형진단법으로 이용된다. 정상시계열의 기본가정은 오차항 e_t 가 백색잡음과정이라는 것이다. 즉,

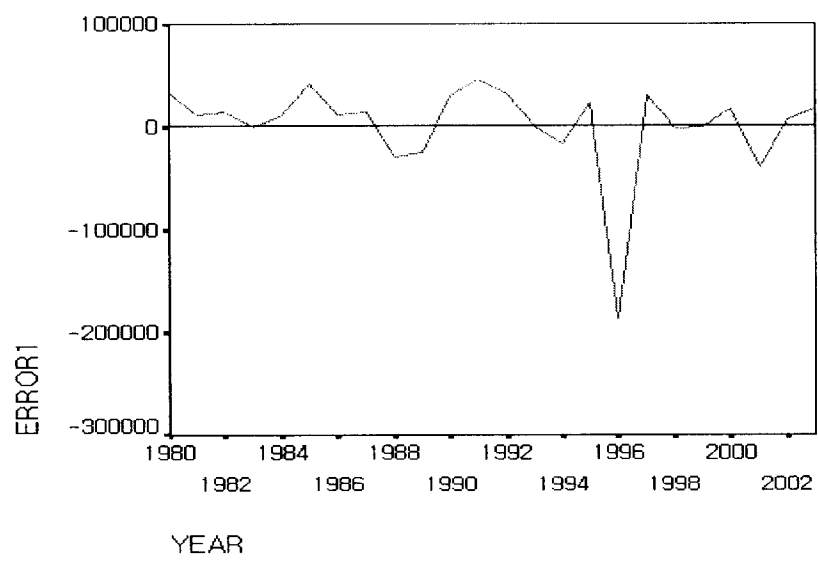
- ① 오차들은 서로 독립이고
- ② 평균은 $E(e_t) = 0$, 분산은 $V(e_t) = \sigma^2$ 이며
- ③ 정규분포를 한다. $e_t \sim N(0, \sigma^2)$

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 19] 연근해어업 오차항의 시계열도표



[그림 20] 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.

제 2 절 어선감척프로그램의 효과 및 평가

1. Campbell의 어선감척모델

앞의 내용에서 어업에 있어서 과잉노력의 투입으로 인해 지대가 소멸하여 결과적으로 자원이 남획되는 과정을 살펴보았다. 여기에서는 이러한 지대의 소멸을 막고 경제적 효용을 증대시키는 어획노력축소정책의 하나인 어선감척프로그램의 효과를 분석함으로써 진입제한하의 어업에서 어획노력을 감소시켰을 때 지대가 발생하는 과정을 고찰해 보고자 한다.

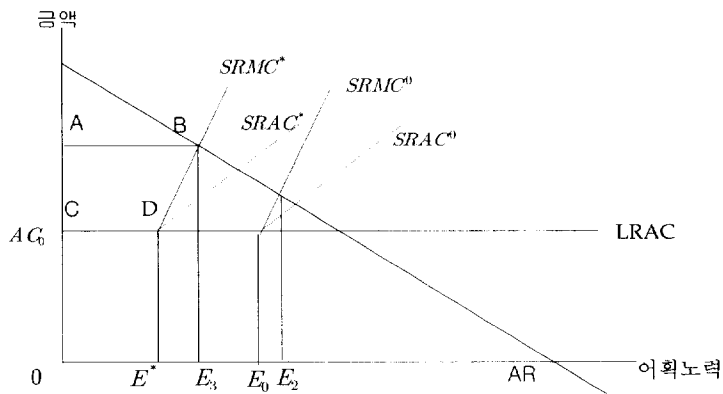
어선감척프로그램은 1차적으로 어업자원을 회복하고 궁극적으로는 잔존어업자의 경영개선 내지는 경쟁력제고를 목표로 하고 있다. 이와 같은 어선감척프로그램의 필요성 또는 목표는 이론적으로 다음과 같이 설명할 수 있다. 수산업, 특히 어선어업에 있어서는 어업자원의 상태와 어업비용 및 수입이 결합된 생산함수를 구성하고 있고 이러한 생물경제학적 모형 중 대표적인 것이 앞에서 언급했던 Shaefer 모형이다.

$$Y = qEP = qKE(1 - \frac{qE}{r}) \dots\dots\dots (32)$$

즉, 어선감척프로그램의 생물학적 목표 또는 필요성을 이론적으로 설명하면 어선세력의 감축을 통하여 식(32)와 같은 지속적 생산함수를 얻고자 하는데 있다고 할 수 있다.

그러나 어선감척프로그램의 최종적인 목표는 경제적 지대(Economic Rent)

의 증가를 통하여 잔존 어업자에 대한 경영개선 내지 경쟁력 제고에 있다고 할 수 있다. Campbell은 이러한 과정을 다음과 같이 설명하였다. 어선감척프로그램은 1차적으로 진입제한에 의해 제한된 생산요소(어선척수, 톤수 등)를 더욱 감축할 것을 목표로 하고 있다. 따라서 이것은 어업에 투입할 유효한 어획노력량을 추가적으로 감축시키는데 이러한 영향은 [그림 21]을 통해 설명할 수 있다.



[그림 21] 어선감척프로그램에 의한 경제적 효과

즉, 어선감척프로그램은 E_0 의 어획노력을 생산하는데 필요한 비용을 최소화하는 것에서부터 E^* 의 단위를 생산하는데 필요한 비용을 최소화하는 수준까지 제한된 투입량의 이용가능성을 감소시킨다. 이러한 제한의 영향은 $SRMC_0$ 와 $SRAC_0$ 로 표시된 단기비용구조로부터 $SRMC^*$ 와 $SRAC^*$ 로 표시된 곳으로 어업을 이행케 한다.

E^* 를 초과한 모든 어획노력에 있어서는 어획노력의 한계비용이 평균비용보다 더 높으므로 평균수입(AR)과 어획노력의 단기 한계비용($SRMC^*$)이 교차하여 결정되는 어획노력의 균형수준은 E_0 보다 낮을 것이다. 분배효과(distribution effect)를 무시한다면, 진입제한정책의 경제적 효과는 어업허가의

추가적 감축에 의해 발생한 이윤 또는 경제적 지대로 측정될 수 있는데 그림의 ABCD부분이 그것이다.

따라서 이론적으로는 추가적으로 진입을 제한하면 이러한 경제적 지대가 증가하게 되고 증가된 경제적 지대를 더 적은 어업자가 분배함으로써 그들의 경영상태를 개선할 수 있을 뿐 아니라 궁극적으로는 경쟁력을 증가시키게 된다.

2. 우리나라 어선감척프로그램

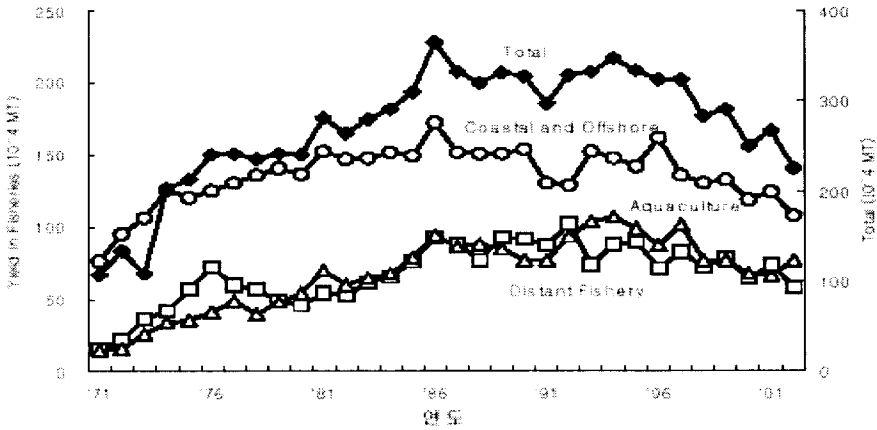
가. 추진배경

우리나라의 어선감척프로그램은 어업구조조정 정책의 일환으로 1994년부터 시작하여 지금까지 이어져오고 있다. 그 배경을 시대별로 살펴보면 다음과 같다.

먼저 우리나라에서 어선감척프로그램이 수립된 1993년의 어선감척의 배경은 크게 두가지로 말하고 있다. 첫째는 연근해어업의 어선세력의 증대에도 불구하고 1980년대 이래 어업생산이 130만톤~150만톤으로 정체되었던 것이다. 둘째는 단위 생산성이 저하되어 연근해어업 자원이 한계를 보이고 있다는 것이다.

이를 보기 위하여 우리나라 총 어업생산량 및 연근해어업 생산량을 보면 다음 [그림 22]에서와 같이 1980년대를 정점으로 어획량이 감소하고 있고 이러한 추세는 연근해어업에서 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면에 어선세력은 [표 8]에서 보는 바와 같이 1980년과 1990년을 비교해 보면 근해어업은 약 500여척 감소된 반면 연안어선은 약 1만 7천여척이 증가하였다.

이와 같이 어선세력은 증가하였으나 어획량은 줄어드는 현상이 나타나자 이는 자원에 비하여 어선세력이 과다하여 나타나는 현상으로 진단하고 어선세력을 자원수준에 맞게 감소시킨다는 전략을 수립하였던 것이다.



[그림 22] 우리나라 어획량 변화

[표 8] 연근해어업 어선척수 (단위 : 척)

구 분	1980	1990	1995	2000	2001	2002	2003
계(척)	40,335	56,737	50,779	68,036	67,990	67,411	66,698
근해어업	7,332	6,840	6,562	5,287	5,014	4,541	4,166
연안어업	33,003	49,897	44,217	62,749	62,976	62,870	62,532

(자료 : 해양수산부, 해양수산통계연보, 각 연도)

그 후 1996년의 어선감척은 연근해어업의 생산성의 정체와 더불어 단위당 생산성의 저하와 주변 연안국의 EEZ 선포에 따른 어장축소에 대비하기 위하여 정부주도하에 시행되었다. 특히 단위 생산성의 저하 원인이 우리나라 주변 해역의 어업자원에 비하여 어선세력이 과다하다고 밝힌 점이 특징이다.

2000년대의 어선감척은 더욱 다양한 측면에서 구체화되었다. 그 배경을 살펴보면 첫째, 1990년대 이후 매립·간척의 확대, 산업화·도시화에 따른 연안 어장의 오염가속, 치어의 남획 등으로 어업자원이 감소하였고, 둘째, 인건비, 유류비 등 어업경비의 상승, 수입자유화에 따른 저가 수산물의 유입 등으로 어업경쟁이 악화되었으며, 셋째, 1994년 유엔해양법 발효와 한·중·일 어업 협정 체결에 따라 조업어장이 축소되고 우리 EEZ에서의 조업경쟁이 심화되고 있었다. 그 뿐 아니라 1992년 이후 신규 어업허가를 억제하고 감척사업으

로 어선세력을 줄여왔으나 연안어업의 경우 도리어 어업허가 남발로 어선세력이 증가하고 업종간·지역간 분쟁이 빈발해지는 등의 문제가 발생하였다.

시대마다 다소 차이는 있으나 우리나라의 어선감척프로그램을 추진하게 된 배경을 요약하면 첫째, 지속적인 어업자원의 감소에 따라 어획량이 감소하고 있고, 둘째, 어업자원에 비하여 과도한 어선세력으로 인하여 단위노력당 어획량이 감소하고 있으며, 셋째, 어획량은 줄어들고 어가는 하락하는 반면 국내외 여건변화에 따라 어업비용은 상승하여 어업경영 악화가 심화되고 있다는 것이다. 또한 EEZ 선포에 따른 어업협정 체결로 어장이 축소되어 어업분쟁이 심화되어 사회문제화 되고 있다는 것이다.

따라서 정부에서는 단위 어선당 경제성을 높이고 어업경쟁력을 향상시키며 어업경영의 안정과 어업분쟁의 조정 및 자원의 합리적 이용관리를 추구하기 위한 수단으로 자원수준에 맞게 어선세력을 감소시키는 감척사업을 실시하게 된 것이다. 즉 우리나라의 어선감척프로그램의 목적을 요약하면 어업경영 안정, 어업경쟁력 강화, 어업자원의 보전 및 어업분쟁 조정 등 다소 복합적이라고 할 수 있다.

나. 추진실적

우리나라는 연근해 어업구조개편을 위해 1990년대 이후부터 어선감척, 허가정수설정, 업종통폐합¹³⁾ 등의 정책을 지속적으로 추진하고 있었으며 이중 감척프로그램은 1994년부터 실시되었는데 연근해어업 중 과잉어획능력으로 인해 자원을 남획하거나 경쟁력이 없는 업종을 대상으로 어선을 감척해오고 있다.

이러한 감척사업은 전술한 어선감척사업의 추진배경 하에 감척목적에 원활히 수행하기 위하여 정부에서는 다음 [표 9]과 같이 몇 차례 걸쳐 감척사업계획을 수정, 보완하였다¹⁴⁾.

13) 연안어업이 16개 업종에서 8개 업종으로 통폐합되었다.

14) 감척사업을 위한 근거법령은 1990년 4월에 제정한 “농어촌발전특별조치법(이하 ‘농발법’이라 함)”과 1999년 9월 7일에 의원입법으로 제정된 “어업협정체결에 따른 어업인등의 지원 및 수산업발전특별법(이하 ‘어업인지원특별법’이라 함)”이다. 또한 감척 시 보상기준은 수산자원보호 등

[표 9] 우리나라 연근해어선 감척계획 (단위:척, 억원)

구분		당초계획 (1993)	2차계획 (1995)	3차계획 (1996)	4차계획 (2001)	5차계획 (2003)
합계	척수	6,673	7,133	7,335	2,990	6,300
	금액	2,237	3,146	5,214	9,024	7,340
	사업기간	'94~'01	'94~'04	'94~'04	'94~'04	'04~'08
연안어업	척수	1,159	1,159	1,159	712	6,300
	금액	539	540	970	725	7,340
근해어업	척수	1,154	1,674	1,876	2,278	-
	금액	1,298	2,176	3,814	8,299	-
무허가어선	척수	4,000	4,300	4,300	-	-
	금액	400	430	430	-	-

(자료 : 해양수산부, 어업정책과)

[표 10] 연도별 감척계획(5차계획) (단위:척)

합계	'04	'05	'06	'07	'08
6,300	634	390	1,500	1,500	2,276

우선 최초의 계획인 1993년 어선감척계획을 보면 감척대상어종으로는 치어 등 어린 물고기를 남획하여 수산자원에 영향이 크고, 수입개방 시 경영이 어려울 것으로 예상되는 해선망, 낭장망 및 연안안강망어업과 자원량에 비하여 어선세력이 과다하고 수익성 및 생산성이 낮은 동해구기저 및 근해안강망어업 등 13개 근해어업과 소형기선전인망 등 무허가어선으로 하였다.

감척방법은 첫째, 연안안강망, 낭장망 및 해선망 등 연안어업은 보상 후 폐선시키는 것을 원칙으로 하되 타 어업으로 전환하고자 할 때에는 이를 허용하기도 하였다. 둘째, 근해어업 중 생산성이 낮아 수익성이 적은 동해구기저 등 11개 어업은 적정 수준으로 감척하고, 어획강도가 높은 어업은 총선복량

에 의해 어업허가가 취소되는 경우 폐업에 대한 손실보상근거를 마련한 1990년 8월의 개정수산업법과 허가어업의 손실보상에 대한 산출기준을 정한 1991년 2월의 개정수산업법시행령이다.

제한 등 제도개선을 통해 감척하도록 하였다.

감척대상어업에 대한 보상은 수산업법에 보상근거를 마련하고, 재원은 어업경영규모가 작은 연안어업은 중앙정부 및 지방자치단체에서 100% 보조로 하고, 규모가 큰 근해어업은 정부보조 및 장기저리 융자자금으로 하였다.

사업기간은 1994년부터 2001년까지로 하였고, 사업규모는 연안어업 1,159척, 근해어업 1,514척, 무허가어선 4,000척 등 총 6,673척에 2,237억원의 사업비를 책정하였다.

그러나 1994년과 1995년 감척사업을 추진하면서 근해어업의 경우 잔존어업인들이 자체 감척기금을 조성하여 추진한다는 계획에 차질이 발생하자 1995년 12월에 근해어업의 감척규모를 늘리고 사업기간도 2004년으로 연장하는 2차 계획이 수립되었다.

한편, 1996년 5월에는 1994년 11월 발효된 유엔해양법으로 인하여 주변국이 EEZ를 선포하면서 우리나라 근해어업에 영향이 있을 것을 감안하여 근해어업의 감척규모를 증가시키는 3차 계획이 있었다.

또한 2001년 1월에는 1999년 1월 21일 한일어업협정이 체결되고 한중어업협정체결 협상이 추진되면서 연근해어선감척계획을 전면수정하였다. 즉 연안어선 감척규모를 축소하는 반면 근해어선 감척규모를 1,876척에서 2,278척으로 증가시키고 무허가어선에 대한 감척은 계획에서 제외시키는 4차계획을 수립하였다.

이상의 4차 계획은 주로 근해어업에 치중한 계획으로 2004년까지 근해어업의 국가주도 어선감척은 마무리 한다는 것이 목표였다. 그러나 연안어선은 여전히 자원에 비하여 과다하게 됨에 따라 이를 감척하기 위한 5차 계획을 2002년에 수립하였는데 주 내용은 연안어선을 2002년 기준 63,000여척의 10%를 감척한다는 것이고 사업기간은 2004년부터 2008년까지로 하여 어선감척사업 기간을 확장한다는 것이다.

우리나라의 어선감척프로그램 추진 실적을 보면 [표 11]에서 보는 바와 같이 1994년부터 2004년까지 총 3,280척이 감척되었고 이중 연안어업은 1,228척, 근해어업은 2,052척이다. 계획이 완료된 2004년 시점에서 감척계획 대비 실적을 보면 전체적으로 109.6%이고 연안어업은 172.4%, 근해어업은 90.1%이다.

감척실적이 감척계획을 초과하는 이러한 결과는, 1999년부터 2002년까지 한일 및 한중 어업협정으로 인한 감척이 많아서 비교적 근해어업에 대한 감척비율이 높았으나 그 이후 연안오염 및 연안어업관리에 대한 관심이 고조되면서 연안어선에 대한 집중적인 감척이 이루어져 예산확보에 따른 연안어선감척비율이 높아졌기 때문이다.

한편 일반감척과 국제감척 현황을 어업별로 살펴보면 [표 12]에서 보는 바와 같이 연안어업은 국제감척이 없지만, 근해어업의 경우는 총 2,052척 중 1,328척이 국제감척으로서 절반 이상이 국제규제에 따른 감척이 이루어졌음을 알 수 있다.

[표 11] 연근해어선 감척계획 대비 실적(1994~2004년) (단위:척,%)

구분	감척계획 (1994~2004)	감척실적 (1994~2004)	감척비율
합계	2,990	3,280	109.6
연안어업	712	1,228	172.4
근해어업	2,278	2,052	90.1

(자료 : 해양수산부, 어업정책과)

[표 12] 어업별 연근해 어선 감척실적

(단위 : 척)

구분	합계			'94	'95	'96	'97	'98	1999		2000		2001		2002		2003-2004	
	합계	일반	국제	일반	일반	일반	일반	일반	일반	국제	일반	국제	일반	국제	일반	국제	일반	국제
합계	3,280	1,952	1,328	54	117	136	135	159	78	652	134	31	105	514	211	131		
연안어업	1,228	1,228	0	54	111	110	48	63	0		42		68		43		689	
근해어업	2,052	724	1,328	0	6	26	87	96	78	652	92	31	37	514	168	131	134	
대형선망	57	57	0		6	12		23	5						11			
근해안강망	462	243	219				42	28	73		92		6	151	2	68		
대형기저(외)	44	6	38				2	2		16		1		20	2	1		
대형기저(쌍)	263	89	158											68	10		16	
기선권형망	39	39	0										24		15		70	
대형트롤	27	3	24			1		2		22		1		1				
근해통발	251	14	212				2			144		4		56	12	8	25	
근해채낚기	252	3	149				3			200		10		37		2		
근해자망	273	61	202							93		1	7	83	54	25	10	
서남구(외)	7	0	6											6			1	
서남구(쌍)	6	0	6											6				
근해연승	211	42	169							61		9		72	42	27		
잠수기	13	13	0															
동해구트롤	0	0	0			13												
동해구기저	5	2	0												2		3	
소형선망	27	18	0												18		9	
운반선	45	0	45							30		1		14				

(자료 : 해양수산부 어업정책과)

3. 연근해 어선감척프로그램의 효과 분석

이번 절에서는 어선감척프로그램의 효과 및 평가를 통해 어선감척을 통한 어획노력축소정책에 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 비교해본 후 이를 통해 어선감척정책이 연근해어업의 자원에 미친 영향 및 정책효과를 분석할 것이다.

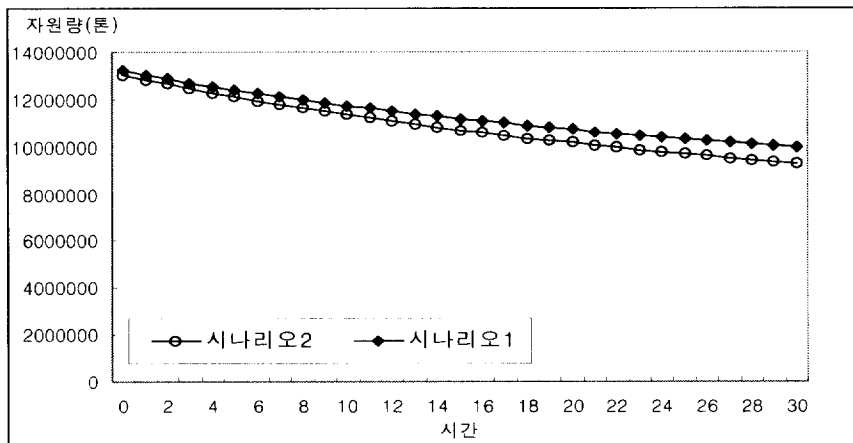
가. 어선감척프로그램 효과의 평가

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

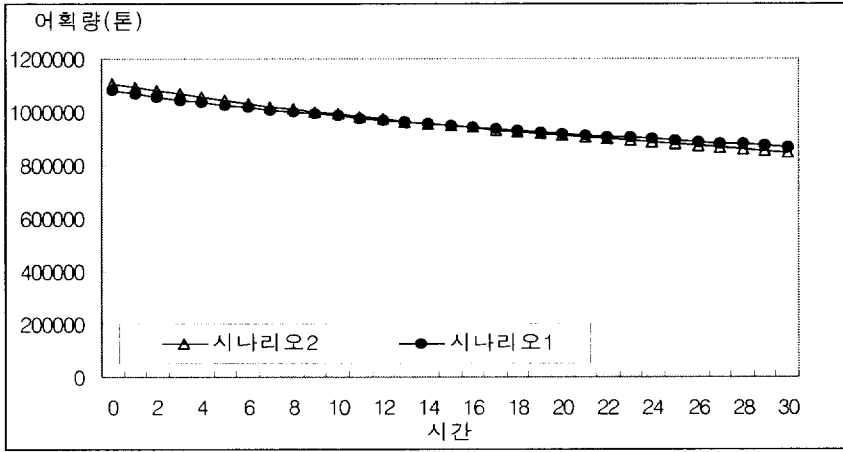
시나리오 1 : 1994년부터 2002년까지 어선감척이 이루어진 현재의 경우. 그러나 그 이후에는 감척이 이루어지지 않은 것을 가정한다. 1994년부터 2002년까지는 추정된 자원량으로 평가하고 그 이후는 2002년 수준의 자원량 및 어선세력(톤수)를 기준으로 변화를 측정한다(with project).

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

나. 시나리오 분석 결과



[그림 23] 시나리오별 자원량 변화



[그림 24] 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 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 어획노력축소정책이 없었기 때문에 척수 이외의 어획노력이 증가할 여지가 충분하며 어업자들 또한 어획노력을 증가시키려는 유인을 가지므로 유효어획능력

이 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 회유자원이라는 사실이다. 따라서 이러한 어선감척프로그램은 우리나라만의 노력으로 성과를 기대하기는 어려우며 때문에 이러한 어선세력축소노력은 연안국과의 합의하에 공동으로 대응해나가는 것이 중요하다 하겠다.

제 4 장 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.

본문의 내용을 살펴보면 먼저 생물경제모델의 이론적 배경과 자원관리평가에 대한 기존의 연구들을 살펴봄으로써 어업관리의 기준을 제시한 후 고든의 지대소멸이론을 통해서 어업에서 왜 남획의 문제가 발생하는지에 대해 고찰하였다. 자원의 무주물적 성격으로 인해 어업인들은 자신들의 개인적 총수입이 총비용을 초과하는 한 어획노력을 계속적으로 투입하게 되고 이러한 개인적 총비용의 증가는 사회전체적으로 볼 때 적정수준 이상의 어획노력을 발생시켜 결과적으로 과잉어획노력을 투입하게 된다. 그 결과 어업에서의 지대는 소멸하게 되고 생물학적인 남획이 발생하게 되는 것이다.

하지만 이러한 자유어업 하에서 진입제한과 함께 어획노력축소정책을 시행할 경우 소멸된 지대를 다시 회복할 수 있으며 이러한 경제적 효용을 증대시키기 위하여 우리나라에서도 현재 어선감척사업 등의 어업정책을 시행하고 있다.

본 연구에서는 이러한 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 어선감척 프로그램의 효과분석을 통해 이러한 자원관리의 유용성을 평가하고 이를 바탕으로 차후의 어업관리 등에 정책합의를 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 적정 어획노력수준은 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 제도개선이 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.

한편, 본 연구에 이용된 ME모델은 앞 장에서 언급한 여러 장점에도 불구하고 사용하는 과정에서 몇 가지 문제점이 발견되었는데 먼저 추정치의 유의성을 검증할 만한 검정통계량이 존재하지 않는다는 것이다. 따라서 이러한 유의성을 알아보기 위해서는 별도의 작업이 필요하며 그러한 작업을 하지 않을 경우 추정값과 실제값을 비교하는 것으로 유의성을 추측할 수밖에 없다. 또한 ME기법은 모수의 확률분포를 추론하는 것으로써 확률분포의 범위는 매우 임의적이다. 따라서 이러한 임의성으로 인해 오차가 발생할 확률이 높으며 분석 결과가 확률의 범위에 매우 민감하게 반응함으로써 추정에 많은 시간이 소비되는 문제가 발생하였다. 따라서 차후에 이러한 문제점이 보완되고 유의성을 검증할 만한 방법이 제시된다면 추정치에 대한 신뢰도를 높일 수

있을 것이다.

마지막으로, 본 연구에서는 정책기준을 MSY에 둬으로써 사회적 비용이나 시간의 가치를 고려하지 않는 등 생물학적 접근에만 그치고 경제적 분석에는 미치지 못하였다. 경제적 분석을 위해서는 수익과 비용에 대한 실제적이고 구체적인 자료와 평가방법이 필요하다. 따라서 차후에 이러한 개념이 보완된 자원평가기법이 도입된다면 더욱 현실적이고 실질적인 정책함의를 제공할 수 있을 것이다. 그리고 이번 연구에서는 평가대상을 연근해어업 전체로 정하여 우리나라 연근해어업을 총체적으로 분석하려 하였으나 각 자원별 특성이 서로 다르기 때문에 각각의 자원상태를 고려한 어종별 어업별 자원평가에 대한 보완적 연구가 필요하므로 이러한 점은 차후 과제로 남겨둔다.

<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 추계학술 발표회, 2003.
- 남준우·이한식, 「계량경제학」, 홍문사, 2002.
- 박성래, 「오징어 정치경제학」, 한길, 2003.
- _____. 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.

- _____ · 류정곤, 어선감척사업의 국제비교와 정책적 함의, KMI, 2003.
- 표희동, 지속가능한 어업관리를 위한 생물경제모델의 비교분석, KMI, 2002.
- _____ · 권석재, 생물경제학적 어업자원 관리정책에 관한 연구, 수산해양 교육연구, 제16권, 2004.
- _____, 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, Univercity of Portsmouth, 1998.
- Prager. M. H., A Stock-Production Model Incorporating Covariates, 2000.
- Pindick. S., 「Microeconomics」, Prentice Hall, 2003.
- Sun., Optimal Number of Fishing Vessels for Taiwan's Offshore Fisheries; A Comparison of Diferent 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.

<부 록>

1. 연근해 어업의 GAMS 프로그램

\$title Maximum Entropy Model for total catch Assessment by jinmimi05.7

\$offupper

SETS K YEAR25 /1*24/

T TRISECTION /1*3/

J ESTIMTED PARA1 /1*5/

klast(k) last period ;

klast(k) = yes\$(ord(k) eq card(k));

TABLE DATA(K,*) "CATCH AND EFFORT DATA"

	YIELD	EFFORT
1	1266384	377013
2	1441659	380713
3	1381807	391871
4	1405859	410735
5	1429818	430499
6	1390803	432247
7	1663655	441873
8	1457895	451553
9	1424138	457835
10	1436701	446526
11	1433437	451271
12	1200437	455384
13	1181685	450334
14	1452301	448408
15	1416225	444109

16	1343718	445196
17	1523010	439261
18	1259280	439315
19	1235057	438204
20	1249199	434142
21	1106612	397869
22	1168793	386180
23	1045593	362162
24	1036129	345065 ;

VARIABLES

ENT

P(J,T) PROBABILITY(PARA1&TRISECTION)

Q(K,T) PROBABILITY OF EPSILON(YEAR24&TRISECTION)

R(K,T) PROBABILITY OF MU(TEAR23&TRISECTION)

S(K,T) PROBABILITY OF STOCK(YEAR24&TRISECTION) :

POSITIVE VARIABLES P(J,T);

POSITIVE VARIABLES Q(K,T);

POSITIVE VARIABLES R(K,T);

POSITIVE VARIABLES S(K,T);

PARAMETER Y(K) YIELD:

Y(K)=DATA(K,'YIELD');

PARAMETER E(K) EFFORT:

E(K)=DATA(K,'EFFORT');

FILE REPORT /C:\WCATCH\W\MODEL1.OUT/;

PUT REPORT;

PUT "MAXIMUM ENTROPY MODEL 1"/;

SCALAR X0 % /0.000/

X1 % /0.5 /

X2 % /1 /

Q0 scale /0.000/
 Q1 scale /15000000/
 Q2 scale /30000000/;

EQUATIONS

OBJ
 REY(K)
 REX(K)
 SUMST1(J)
 SUMST2(K)
 SUMST3(K)
 SUMST4(K);

$$\begin{aligned} \text{OBJ} \dots \text{ENT} = &E= -(\text{SUM}(\text{J}, \text{SUM}(\text{T}, \text{P}(\text{J}, \text{T}) * \text{LOG}(\text{P}(\text{J}, \text{T})))) \\ &+ \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{Q}(\text{K}, \text{T}) * \text{LOG}(\text{Q}(\text{K}, \text{T})))) \\ &+ \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{R}(\text{K}, \text{T}) * \text{LOG}(\text{R}(\text{K}, \text{T})))) \\ &+ \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{S}(\text{K}, \text{T}) * \text{LOG}(\text{S}(\text{K}, \text{T}))))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{REY}(\text{K}) \dots \text{LOG}(\text{Y}(\text{K})) = &E= \text{LOG}(\text{P}('5', '1') * \text{X0} + \text{P}('5', '2') * \text{X1} + \text{P}('5', '3') * \text{X2}) \\ &+ (\text{P}('1', '1') * \text{X0} + \text{P}('1', '2') * \text{X1} + \text{P}('1', '3') * \text{X2}) * \text{LOG}(\text{E}(\text{K})) \\ &+ (\text{P}('2', '1') * \text{X0} + \text{P}('2', '2') * \text{X1} + \text{P}('2', '3') * \text{X2}) * \\ &\text{LOG}(\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q0} + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q1} + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q2}) \\ &+ (\text{Q}(\text{K}, '1') * (-0.2) + \text{Q}(\text{K}, '2') * 0 + \text{Q}(\text{K}, '3') * 0.2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{REX}(\text{K}) \text{\$}(\text{not klast}(\text{k})) \dots \text{LOG}(\text{S}(\text{K}+1, '1') * \text{Q0} + \text{S}(\text{K}+1, '2') * \text{Q1} + \text{S}(\text{K}+1, '3') * \text{Q2}) = &E= \\ \text{LOG}(\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q0} + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q1} + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q2}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LOG}(& \\ &1 + (\text{P}('3', '1') * 0 + \text{P}('3', '2') * 1 + \text{P}('3', '3') * 2) * \\ &(1 - (\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q0} + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q1} + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q2}) \\ &/ (\text{P}('4', '1') * \text{Q0} * 2 + \text{P}('4', '2') * \text{Q1} * 2 + \text{P}('4', '3') * \text{Q2} * 2)) \\ &- \text{Y}(\text{K}) / (\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q0} + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q1} + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q2}) \\ &) \end{aligned}$$

$+(R(K,'1')*(-0.2)+R(K,'2')*0+R(K,'3')*0.2);$

SUMST1(J) .. SUM(T,P(J,T)) =E= 1;

SUMST2(K) .. SUM(T,Q(K,T)) =E= 1;

SUMST3(K) .. SUM(T,S(K,T)) =E= 1;

SUMST4(K)\$ (not klast(k)).. SUM(T,R(K,T)) =E= 1;

P.L(J,'1') = 0.33;

P.L(J,'2') = 0.33;

P.L(J,'3') = 0.34;

Q.L(K,'1') = 0.33;

Q.L(K,'2') = 0.33;

Q.L(K,'3') = 0.34;

R.L(K,'1') = 0.33;

R.L(K,'2') = 0.33;

R.L(K,'3') = 0.34;

S.L(K,'1') = 0.33;

S.L(K,'2') = 0.33;

S.L(K,'3') = 0.34;

MODEL ENTROPY /ALL/;

SOLVE ENTROPY USING NLP MAXIMIZING ENT;

DISPLAY P.L, Q.L, R.L, S.L;

2. 고등어의 GAMS 프로그램

\$title Maximum Entropy Model for Mackerel's Stock Assessment by jm3

\$offupper

```
SETS K YEAR25 /1*24/  
      T TRISECTION /1*3/  
      J ESTIMTED PARA1 /1*5/
```

klast(k) last period ;

klast(k) = yes\$(ord(k) eq card(k));

TABLE DATA(K,*) "CATCH AND EFFORT DATA"

	YIELD	EFFORT
1	62690	35625
2	108082	35938
3	99447	36161
4	122883	35813
5	101714	35301
6	68479	36632
7	101337	38221
8	101337	39944
9	162828	40486
10	163617	46016
11	97227	47227
12	91538	46669
13	116422	44651
14	174684	43454
15	210442	43494
16	200481	41649
17	415003	39348
18	160448	37047

19	172925	32481
20	177540	32060
21	145908	31376
22	203717	29546
23	141751	29511
24	122044	28463 ;

VARIABLES

ENT

P(J,T) PROBABILITY(PARA1&TRISECTION)

Q(K,T) PROBABILITY OF EPSILON(YEAR24&TRISECTION)

R(K,T) PROBABILITY OF MU(TEAR23&TRISECTION)

S(K,T) PROBABILITY OF STOCK(YEAR24&TRISECTION) ;

POSITIVE VARIABLES P(J,T):

POSITIVE VARIABLES Q(K,T):

POSITIVE VARIABLES R(K,T):

POSITIVE VARIABLES S(K,T):

PARAMETER Y(K) YIELD:

Y(K)=DATA(K,'YIELD');

PARAMETER E(K) EFFORT:

E(K)=DATA(K,'EFFORT');

FILE REPORT /C:\WMACKEREL\WMODEL1.OUT/;

PUT REPORT:

PUT "MAXIMUM ENTROPY MODEL 1"/;

SCALAR X0 % /0.000/

X1 % /0.5 /

X2 % /1 /

Q0 scale /0.000/

Q1 scale /2500000/

Q2 scale /5000000/;

EQUATIONS

OBJ

REY(K)

REX(K)

SUMST1(J)

SUMST2(K)

SUMST3(K)

SUMST4(K);

$$\begin{aligned} \text{OBJ} \dots \text{ENT} = & E = -(\text{SUM}(\text{J}, \text{SUM}(\text{T}, \text{P}(\text{J}, \text{T})) * \text{LOG}(\text{P}(\text{J}, \text{T})))) \\ & + \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{Q}(\text{K}, \text{T})) * \text{LOG}(\text{Q}(\text{K}, \text{T})))) \\ & + \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{R}(\text{K}, \text{T})) * \text{LOG}(\text{R}(\text{K}, \text{T})))) \\ & + \text{SUM}(\text{K}, \text{SUM}(\text{T}, \text{S}(\text{K}, \text{T})) * \text{LOG}(\text{S}(\text{K}, \text{T}))))); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{REY}(\text{K}) \dots \text{LOG}(\text{Y}(\text{K})) = & E = \text{LOG}(\text{P}('5', '1') * \text{X}_0 + \text{P}('5', '2') * \text{X}_1 + \text{P}('5', '3') * \text{X}_2) \\ & + (\text{P}('1', '1') * \text{X}_0 + \text{P}('1', '2') * \text{X}_1 + \text{P}('1', '3') * \text{X}_2) * \text{LOG}(\text{E}(\text{K})) \\ & + (\text{P}('2', '1') * \text{X}_0 + \text{P}('2', '2') * \text{X}_1 + \text{P}('2', '3') * \text{X}_2) * \\ & \text{LOG}(\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q}_0 + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q}_1 + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q}_2) \\ & + (\text{Q}(\text{K}, '1') * (-0.2) + \text{Q}(\text{K}, '2') * 0 + \text{Q}(\text{K}, '3') * 0.2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{REX}(\text{K}) \text{\$}(\text{not klast}(\text{k})) \dots \text{LOG}(\text{S}(\text{K}+1, '1') * \text{Q}_0 + \text{S}(\text{K}+1, '2') * \text{Q}_1 + \text{S}(\text{K}+1, '3') * \text{Q}_2) = & E = \\ & \text{LOG}(\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q}_0 + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q}_1 + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q}_2) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{LOG}(\\ & 1 + (\text{P}('3', '1') * 0 + \text{P}('3', '2') * 1 + \text{P}('3', '3') * 2) * \\ & (1 - (\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q}_0 + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q}_1 + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q}_2) \\ & / (\text{P}('4', '1') * \text{Q}_0 * 2 + \text{P}('4', '2') * \text{Q}_1 * 2 + \text{P}('4', '3') * \text{Q}_2 * 2)) \\ & - \text{Y}(\text{K}) / (\text{S}(\text{K}, '1') * \text{Q}_0 + \text{S}(\text{K}, '2') * \text{Q}_1 + \text{S}(\text{K}, '3') * \text{Q}_2) \\ &) \\ & + (\text{R}(\text{K}, '1') * (-0.2) + \text{R}(\text{K}, '2') * 0 + \text{R}(\text{K}, '3') * 0.2); \end{aligned}$$

$$\text{SUMST1}(\text{J}) \dots \text{SUM}(\text{T}, \text{P}(\text{J}, \text{T})) = E = 1;$$

SUMST2(K) .. SUM(T,Q(K,T)) =E= 1;
SUMST3(K) .. SUM(T,S(K,T)) =E= 1;
SUMST4(K)\$ (not klast(k)).. SUM(T,R(K,T)) =E= 1;

P.L(J,'1') = 0.33;
P.L(J,'2') = 0.33;
P.L(J,'3') = 0.34;
Q.L(K,'1') = 0.33;
Q.L(K,'2') = 0.33;
Q.L(K,'3') = 0.34;
R.L(K,'1') = 0.33;
R.L(K,'2') = 0.33;
R.L(K,'3') = 0.34;
S.L(K,'1') = 0.33;
S.L(K,'2') = 0.33;
S.L(K,'3') = 0.34;

MODEL ENTROPY /ALL/;
SOLVE ENTROPY USING NLP MAXIMIZING ENT;
DISPLAY P.L, Q.L, R.L, S.L;

<감사의 글>

2년의 시간을 정리하려고 하는 지금, 후련하기만 할 것 같던 세월들에 섭섭함과 후회가 앞서는 것은 제가 걸어온 길들에 대한 아쉬움 때문이 아닌가 생각됩니다. 하지만 제 주위에 계신 많은 분들을 만났기에 부족하나마 오늘의 작은 결실을 거둘 수 있었다고 생각합니다.

성경에는 3명의 서로 다른 달란트를 받은 종들에 관한 이야기가 나옵니다. 주인은 종들에게 각각 5달란트, 3달란트, 1달란트를 주지만, 시간이 지난 후 두 명의 종은 자신들이 받은 달란트를 이용하여 2배의 결실을 거두었으나 나머지 한명의 종은 자신의 달란트를 땅에 묻어 결실을 얻지 못하고 결국 쫓김을 당하게 됩니다. 이제 와서 생각해보면, 땅에 묻어 지나쳐버렸을 저의 달란트를 지금의 지도교수님이신 표희동 교수님께서 이끌어 주셨기에 2년 전보다 더 나은 달란트를 제가 지금 받을 수 있다는 생각이 듭니다. 2년의 시간동안 때로는 부모님처럼 보살펴 주시고, 때로는 잘못된 부분을 깨우쳐 주셨던 제 인생의 가장 큰 스승이신 표희동 교수님께 너무나 감사드린다는 마음을 전하고 싶습니다. 제가 받은 이 은혜와 사랑을, 앞으로 살면서 모두 갚을 수는 없겠지만 항상 마음속에 새기며 잊지 않고 살아가겠습니다.

또한 바쁘신 와중에도 논문심사에 심혈을 기울여 주시고 연구자로서 열정을 보여주신 이상고 교수님, 논문심사 뿐 아니라 인생의 조언자로서 언제나 좋은 말씀을 주시던 박성래 교수님, 아버지 같이 넓은 마음으로 늘 지켜봐 주시던 최종화 교수님, 이번 논문에 많은 조언을 아끼지 않으셨던 김병호 교수님, 작은 것 하나까지도 항상 배려해 주시고 챙겨주시던 장영수 교수님, '난 항상 네 편이야' 하시며 언제나 든든한 힘이 되어 주시는 송정현 교수님, 어떠한 말로도 감사한 마음을 다 표현할 수는 없을 것 같습니다. 이렇게 좋은 교수님들을 만나게 된 것 또한 항상 감사하며 살겠습니다.

논문을 준비하는 과정에서 많은 도움을 주고, 조언을 아끼지 않았던 상철이 선배와 창수선배, 경숙이 언니에게 정말 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 또한 부족한 시간을 내어주시면서까지 논문에 많은 도움을 주셨던 도훈선배에게도 고마운 마음을 전합니다. 이제 대학원을 이끌어 가야 할 유미, 수욱이,

유경이에게도 고맙다는 말과 함께 제가 하지 못한 몫까지 더 열심히 해주기를 바라며 기대합니다.

말이 필요 없는, 나에게 늘 힘이 되는, 내가 너무 사랑하는 우리 98 동기들, 특히 오영이와 정내에게 정말 고맙다는 말을 꼭 전하고 싶습니다. 또한 혜선이, 연주, 미화, 그리고 멀리 있는 연경이에게도 고맙고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다. 또한 나의 분신과도 같은 쌍둥이 언니와 든든한 남동생에게도 고마움을 전합니다.

언제나 나의 등불이 되시는 주님께 감사드리며, 마지막으로 이 논문을 세상에서 가장 사랑하는 나의 어머니께 드립니다.