

포트폴리오 기법을 이용한 복수어종의 최적 생산관리 전략

김도훈*

부경대학교 해양수산경영학과

A Strategy for Optimal Production Management of Multi-Species Fisheries using a Portfolio Approach

Do-Hoon Kim*

Department of Marine Business and Economics, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

Abstract

This study aimed to examine the applicability of a portfolio approach to the ecosystem-based fisheries management targeting the large purse seine fishery. Most fisheries are targeting multispecies and species are biologically and technically interacted each other. It enables a portfolio approach to be applied to find optimal production of each species through expected returns and risk analyses.

Under specific assumptions on the harvest quota by species, efficient risk-return frontiers were generated and they showed a combination of optimal production level. Comparisons between portfolio and actual production provided a useful information for targeting strategy and management. Results also showed the possibility of effective multispecies fisheries management by imposing constraints on each species such as total allowable catch quotas.

Keywords : Portfolio analysis, Ecosystem-based fisheries management, Optimal production, Multispecies, Total allowable catch

I. 서론

최근 전 세계적으로 생태계 기반 어업관리

(ecosystem-based fisheries management)에 대한 중요성이 크게 부각되고 있으며, 어업관리에 있어 실질적인 적용을 위한 다양한 기법들이 고려

접수 : 2014년 5월 26일 최종심사 : 2014년 6월 25일 게재확정 : 2014년 6월 27일

*이 논문은 2012학년도 후기 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK(PKS)-2012-C-D-2012-0987).

*Corresponding author : 051-629-5954, delaware310@pknu.ac.kr

되어 오고 있다(김우수 · 김도훈, 2011; FAO, 2003; Sanchirico et al., 2006; Zhang et al., 2009). 이는 전통적인 단일어종 중심의 어업관리가 실질적인 어업자원의 회복 및 관리에 많은 한계가 있었기 때문이다(Edward et al., 2004; Perruso et al., 2005; Pikitch et al., 2004). 특히 최근 들어 어업자원의 감소 현상이 더욱 심각해지면서 어종간의 생물학적 상호작용이나 어구어법에 의한 복수어종의 기술적 상호작용을 고려하지 않는 단일어종 중심의 어업관리로는 어업자원의 실질적 회복과 관리를 기대하기 어려운 실정이다.

생태계 기반 어업관리는 어업자원이 서식하는 해양생태계의 지속성과 생물다양성을 고려하면서 어업자원의 회복 및 관리를 도모하는 것(Arnason, 1998; Hanna, 1998)으로, 무엇보다 해양생태계속 어종간의 상호관계를 고려하는 것이 필수적이다. 생태계 기반 어업관리기법을 현실적으로 적용하기 위한 다양한 방법들이 모색되고 있는데, 그 중의 하나로 생태계 요소들의 현황 및 변화에 관한 지표(indicator)를 개발하고 이용하는 것에 대한 관심이 증대되고 있다(김우수 · 김도훈, 2011; FAO, 1999; Fulton et al., 2004; Jennings, 2005; Kruse et al., 2006; Link, 2005; Zhang et al., 2009). 이는 복잡한 생태계 변화를 조사하고 평가하기 위해서는 생태계를 이루는 요소들에 대한 지표 개발을 통해 그 변화를 관찰하고 예측하는 것이 보다 효과적이고, 또한 현실적으로도 용이하게 적용 가능할 수 있는 유용한 방법이기 때문이다.

대부분의 어업이 복수어종(multispecies)을 어획하고, 특정 어종의 경우도 복수어업(multifisheries)에 의해 어획되고 있다. 특정 어업이 복수어종을 어획할 경우, 어획율(harvest rate)은 어획대상 어종별간에 서로 연관되어 있고, 그 결과 어획된 어종별 수익도 서로 밀접하게 연관되어 있다. 즉 특정 어종에 대한 어획은 생태적 그리고 기술적으로 연관된 다른 어종의 자원 가치(stock value)에 영향을 끼친다. 이와 같이 상호

밀접하게 연관되어 있는 복수어종을 어획 대상으로 할 경우, 포트폴리오 기법을 적용하여 어종간 상호연관성에 따른 기대수익률과 위험 분석을 통해 최적의 생산전략을 수립할 수 있다.

어업에 있어 포트폴리오 기법 적용의 필요성과 유용성은 다양한 학자들에 의해 제기되었지만, 관련된 연구는 상당히 제한적인 실정이다. 지금까지 수행된 연구를 간단히 살펴보면, Baldursson and Magnusson(1997)은 포트폴리오 기법을 아이슬란드 대구어업을 대상으로 연급군(cohort)에 적용하여 최적 어획노력량 수준을 분석하였고, Edwards et al.(2004)은 어업에 있어 포트폴리오 기법 적용의 가능성과 유용성을 소개하고, 포트폴리오 기법 분석을 위한 기본개념을 소개하였다. Perruso et al.(2005)은 포트폴리오 기법을 미국 대서양 연승어업에 적용하여 목표 어종 변화에 따른 최적 생산 수준을 비교하고, 동시에 금어구역(area closure) 관리수단의 효과를 분석하였다. 그리고 Sanchirico et al.(2006)은 생태계 기반 어업관리의 수단으로 포트폴리오 기법을 소개하고, 미국 체사피크만(Chesapeake Bay) 어업에 적용하여 단일어종 중심의 관리 효과와 생태계 기반 어업관리의 효과를 비교하여 생태계 기반 어업관리의 필요성을 강조하였다.

현재 우리나라의 경우도 단일어종 중심의 어업관리가 지속되고 있는 가운데 생태계 기반 어업관리의 필요성이 크게 제기되고 있다. 그리고 생태계 기반 어업관리의 실질적 적용을 위한 유용한 방안을 마련해 나가야 한다. 이러한 배경 하에서 본 연구는 생태계 기반 어업관리의 적용 기법 마련을 위한 기초적 연구로 포트폴리오 기법을 이용하여 복수어종의 최적 생산 수준을 실증적으로 분석해 보고자 한다. 실증분석에 있어서는 복수어종의 분석이 가장 용이한 대형선망어업을 대상으로 하였다. 본 연구의 구성으로 다음 제Ⅱ장에서는 포트폴리오 분석기법과 분석에서 사용된 자료를 설명하였다. 다음 제Ⅲ장에서는 포트폴리오 기법을 적용한 분석결과를 설

명하였고, 제 IV 장에서는 연구결과의 요약과 함께 시사점을 제시하였으며, 아울러 향후 연구 과제를 제안하였다.

II. 분석 방법 및 자료

1. 포트폴리오 기법

포트폴리오 이론은 개별자산들을 결합하여 포트폴리오를 구성하면 위험이 줄어든다는 것이다 (박정식 외, 2007; Baldursson and Magnusson, 1997; Perruso et al., 2005). 여기서, 포트폴리오(portfolio)는 여러 개의 자산이 결합된 자산군을 의미한다. 포트폴리오 이론에 근거한 포트폴리오 기법은 마코위츠(Markowitz, 1952)에 의해 개발되었는데, 이는 투자를 위한 포트폴리오에 있어 최적개별자산의 선택을 결정하기 위한 수학적 분석도구이다.

최적 포트폴리오는 주어진 위험 수준 하에서 가장 큰 기대수익을 달성할 수 있는 최적개별자산의 조합을 의미한다. 포트폴리오 이론은 몇 가지 가정을 전제로 하고 있는데, 첫째, 투자자의 효용은 기대수익과 위험에 의해서 결정된다(평균-분산 기준). 여기서 평균은 기대수익이고 분산은 위험을 의미한다. 둘째, 포트폴리오 투자자들은 위험 회피적(risk-averse)으로, 기대효용 극대화를 목표로 한다(합리성). 셋째, 투자자들은 동질적 예측을 한다(동질적 예측). 그리고 넷째, 투자자들이 고려하고 있는 투자기간은 단일기간이다 등이다(박정식 외, 2007; Edwards et al., 2004; Sanchirico et al., 2006).

이 외 포트폴리오 수익의 평균과 분산을 결정하는 개별자산은 평균 기대수익(mean expected return), 개별자산 수익의 분산(variance), 그리고 포트폴리오 내 각 개별자산의 수익과 다른 개별자산들 수익 사이의 공분산(covariance) 등의 3가지 특징을 가지고 있다. 여기서, 기대 수익은 수익 결과치와 결과치의 확률을 곱함으로써 계산

할 수 있다. 예를 들어, N 개의 자산을 가진 포트폴리오의 경우, 수익은 다음의 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{R}_p = x_1 \tilde{r}_1 + x_2 \tilde{r}_2 + \dots + x_N \tilde{r}_N = \sum_{i=1}^N x_i \tilde{r}_i \quad (1)$$

여기서, \tilde{r}_i 는 개별자산 i 의 수익 그리고 x_i 는 개별자산 i 의 해당비율을 의미한다. 그리고 수익의 분산은 다음의 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{var}(\tilde{r}) = E[(\tilde{r} - \bar{r})^2] = \sigma(\tilde{r})^2 \quad (2)$$

여기서, \tilde{r} 은 투자수익, \bar{r} 은 투자의 기대수익 그리고 $\sigma(\tilde{r})$ 은 투자수익(\tilde{r})의 표준편차를 의미한다.

공분산은 개별 투자자산들 사이의 관련성 정도를 의미하는데, 두 개의 자산 수익 사이의 공분산을 계산하기 위한 일반적인 공식은 다음의 식 (3)과 같다.

$$\sigma_{12} = E[(\tilde{r}_1 - \bar{r}_1)(\tilde{r}_2 - \bar{r}_2)] \quad (3)$$

식 (1)~(3)을 바탕으로, 포트폴리오 수익의 분산을 계산할 수 있는데, 개의 자산으로 구성된 포트폴리오의 분산 공식은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij} \quad (4)$$

여기서, σ_{ij} 는 자산 i 와 j 수익 사이의 공분산을 의미한다.

독립적인 개별자산은 공분산이 영(0)이 되고, 만약 개별자산들의 수익이 동일하게 움직인다면, 이들 자산들은 양(+)의 공분산을 가지면서 양(+)의 상관관계에 있음을 의미한다. 이런 경우, 이들 자산의 결합은 기대 총수익을 증가시킬 수 있다. 하지만 위험(risk)은 줄일 수 없을 것이고, 대신에 양(+)의 공분산은 포트폴리오 분산을 증가시킬 것이다. 이와 반대로, 자산들의 수익이 각기 다른 방향으로 움직인다면 이들 자산들은 음(-)의 공분산을 가지면서 음(-)의 상관관계에 있음을 의미한다. 여기서 포트폴리오 분산은 감소하게 되는데, 개별자산들 분산의 합보다 작게 된다.

복수어종에 대한 어업의 경우 개별어종은 개별자산으로 볼 수 있으며, 이들 개별자산들에 대한 어획결정은 포트폴리오에 있어 최적개별자산을 선택하는 것과 동일하다. 출어 이전 대상어종에 대한 결정은 상당히 불확실한데, 이는 예측 불가능한 기후와 자원량 변동 등이 불확실한 어획과 수익을 초래할 수 있기 때문이다. 포트폴리오 이론에서 가정하는 바와 같이, 위험 회피형 어업인들은 가장 효율적인 어업생산전략을 선택함으로써 기대효용을 극대화하고자 하므로 이들은 개별어종에 대한 기대수익(E)과 수익분산(V) 사이의 관계를 바탕으로 어획노력량을 배분하게 된다.

개별어종의 순수익(E)이 정규분포를 띠는 것으로 가정하면, 기대수익(E)과 분산(V)은 다음의 식 (5) 및 (6)과 같이 각각 계산된다(Perruso et al., 2005).

$$E = \sum_{i=1}^N q_i e_i \quad (5)$$

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} q_i q_j = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j q_i q_j \quad (6)$$

여기서, q_i 는 개별어종 i 의 어획량, e_i 는 개별어종 i 의 순수익을 어획량(q_i)으로 나눈 값, 그리고 σ_i 와 σ_{ij} 는 e_i 와 연관된 표준편차를 각각 의미한다. 또한 σ_{ij} 와 ρ_{ij} 는 개별어종 i 와 j 순수익 사이의 공분산과 상관계수를 각각 의미한다.

주어진 총수익 수준(β), 개별어종 어획량의 비음수, 그리고 개별어종 i 의 할당어획량(Q_i) 하에서 수익의 분산(V)을 최소화하는 이차계획모형(quadratic programming) 함수는 다음의 식 (7)의 목적함수와 식 (8)~(10)의 제약조건식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Minimize } V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} q_i q_j \quad (7)$$

subject to:

$$E = \sum_{i=1}^N q_i e_i \geq \beta \quad (8)$$

$$q_i \geq 0 \quad (9)$$

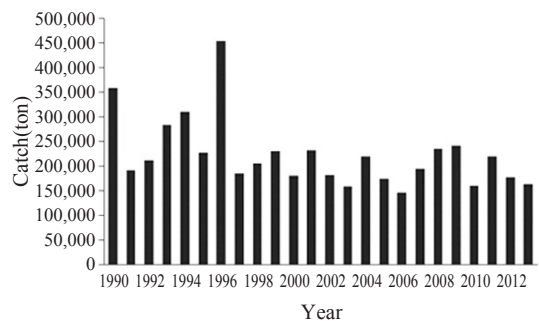
$$q_i \leq Q_i \quad (10)$$

여기서, E 는 순수익을 의미하고, β 는 효율적인 어업생산전략의 프론티어 곡선을 도출하기 위한 목표 순수익 수준을 의미한다. 즉 $E-V$ 프론티어 곡선은 주어진 목표 수익 수준(β) 하에서 순수익(E)의 분산을 최소화하는 점들의 집합이다. 그리고 식 (10)의 제약조건과 같이, 개별어종별로 설정된 어획할당량 이하로 어업생산이 이루어지도록 함으로써 복수어종간의 생물적·기술적 관계를 고려한 생태계 기반 어업관리의 적용이 가능할 수 있게 된다(Arnason, 1998; Hanna, 1998; Pikitch et al., 2004; Sanchirica et al., 2006).

2. 분석자료

1) 대형선망어업

대형선망어업은 근해어업 중 가장 큰 업종 중의 하나로, 1990년 이후 연간 어획량은 평균 약 22만 톤 수준으로 한국 전체 연근해 해면어업 어획량의 약 18% 정도를 차지하고 있다. 대형선망어업의 어획량 변화를 보다 구체적으로 살펴보면, Fig. 1에서 보는 바와 같이, 1990년 약 36만 톤에서 1996년 45만 톤으로 증가하였다. 하지만 1997년 이후 어획량은 19만 톤 수준으로 급감하였으며, 연간 증감을 반복해 오고 있다. 2013년 어획량은 16만 톤 수준으로, 2011년 약 22만 톤을 기록한 이후 지속적인 감소추세에 있다.



Source : MOF, Fisheries Production Statistics (www.fips.go.kr).

Fig. 1. Changes in Annual Catch of Large Purse Seine Fishery.

대형선망어업의 어획물은 고등어, 전갱이, 갈치, 삼치, 방어 등 다양한데, 이는 밀집된 어군을 그물(두릿그물)로 둘러싼 후 그 범위를 조금씩 좁혀 가면서 어획하는 어구어법의 특성 때문이다(국립수산과학원, 2008). 지난 5년간 대형선망어업에 의해 어획된 어종을 살펴보면, 고등어가 약 70% 정도로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 다음으로 전갱이 8.6%, 갈치 5.3%, 삼치 4.6% 그리고 방어 4.3% 등이다. 대형선망어업의 어선들은 본선 1척, 등선 2척, 그리고 운반선 3척 등 총 6척으로 구성된 하나의 선단을 이루어 조업한다. 특히 본선에서는 어군탐색기를 이용해 고등어, 전갱이, 삼치, 갈치 등 목표어종을 선택할 수 있다.

대형선망어업이 어획하는 고등어와 전갱이는 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC) 제도에 의해 관리되고 있다. TAC 제도는 하나의 어

업자원(종)에 대한 연간 어획량허용치를 설정하여 어획량이 목표치에 이르면 어업을 종료시키는 어획량 통제 관리제도이다. 고등어와 전갱이의 TAC 물량 변화를 각각 살펴보면, Table. 1에서 보는 바와 같이, 우선 고등어의 TAC 물량은 2005년 160,000톤에서 2006년 이후 155,000톤 수준으로 감소하였다. 이후 2010년 169,000톤으로 증가하였지만, 2011년 160,000톤으로 감소하였고, 2012년에는 135,000톤으로 더욱 감소한 실정이다. 전갱이 TAC 물량은 2005년 12,000톤에서 2008년 21,000톤으로 꾸준히 증가하였다. 2009년 18,000톤으로 다소 감소하였지만, 2011년 21,000톤으로 증가하였고 이후 2013년 현재 14,700톤으로 물량이 크게 감소하였다.

2) 분석 자료

포트폴리오 기법을 이용한 대형선망어업의 최적 생산 수준을 분석하기 위해서는 식 (7)~(10)을 이용하기 위한 자료들이 각각 필요하다. 우선 분석에 있어 대형선망어업의 어획대상종은 전체 어획량 중 거의 90%에 해당되는 어종인 고등어, 전갱이, 갈치, 삼치 등 4개 어종을 선정하였다. 이들 어종에 대한 지난 5년간 어획량 변화를 살펴보면, Table. 2에서 나타낸 바와 같다. 고등어의 어획량은 2008년 164,375톤 이후 2010년 87,796톤으로 크게 감소하였지만, 2012년 현재 117,486톤 수준이다. 전갱이의 어획량은 2011년 37,320톤으로 크게 증가하였지만, 2012년 현재는 25,819톤 수준이다. 삼치의 어획량은 대체적으로 감소추세에 있는데, 2008년 10,455톤에

Table 1. Changes in TAC Quotas of Chub Mackerel and Jack Mackerel

(Unit : Ton)

Year	Chub Mackerel	Jack Mackerel
2005	160,000	12,000
2006	155,000	19,000
2007	154,000	19,000
2008	159,000	21,000
2009	159,000	18,000
2010	169,000	20,000
2011	160,000	21,000
2012	135,000	21,000

Source : MOF, Fisheries Production Statistics (www.fips.go.kr).

Table 2. Changes in Annual Catch of Species

(Unit : Ton)

Year	Chub Mackerel	Jack Mackerel	Spanish Mackerel	Hairtail
2008	164,375	11,533	10,455	12,652
2009	109,459	11,395	6,919	27,780
2010	87,796	10,422	7,639	12,624
2011	126,301	37,320	7,163	4,522
2012	117,486	25,819	7,096	2,831

Source : MOF, Fisheries Production Statistics (www.fips.go.kr).

서 2012년 7,096톤으로 감소하였다. 갈치 어획량은 2008년 12,652톤에서 2009년 27,780톤으로 증가하였지만, 2011년 이후 어획량이 5,000톤 이하 수준으로 급감하였다.

대형선망어업의 개별어종별 단위당 순수익(e)을 구하기 위한 연간 수익과 비용자료는 수협중앙회 어업경영조사보고서(수산업협동조합중앙회, 2013)로부터 활용하였다. 동 보고서에서는 근해업종별 표본어선에 대한 조업상황(어선현황, 조업일수, 종사자수, 어획량 등), 수지상황(어업수입, 출어비, 임금 및 관리비, 어업이익 등), 그리고 재무상황(자산, 부채, 자기자본 등) 등의 자료를 연간 조사하여 발표하고 있다.

대형선망어업 표본어선의 어종별 연간 평균 단위(톤)당 가격은 연간 총수익(어획금액)을 총 어획량으로 나누어 구할 수 있다. 그리고 어종별 연간 평균 단위(톤)당 비용은 연간 총비용을 어획금액을 기준으로 한 어종별 원가배부율을 곱하고, 어종별 어획량을 나누어 구할 수 있다. 따라서 어종별 연간 평균 단위(톤)당 가격에서 어종별 연간 평균 단위(톤)당 비용을 차감하여 대형선망어업의 개별어종별 단위(톤)당 순수익(e)을 계산하였다. 어종별 단위당 가격과 비용 그리고 순수익은 2008~2012년 5개년 자료를 계산하여 분석에 이용하였다.

포트폴리오 기법을 이용한 대형선망어업의 $E-V$ 프론티어 곡선을 도출하기 위해서는 우선 기대 수익(E)은 식 (5)에서와 같이, 어종별 단위(톤)당 순수익(e)에 어종별 어획량(q)을 곱해 전체 어종별 값을 합하면 된다. 그리고 분산(V)은 2008~2012년 기간 동안의 어종별 단위(톤)당

순수익(e) 자료를 이용하여 어종 사이의 공분산을 계산하고, 이를 식 (6)에서와 같이 어종별 어획량에 곱한 값들을 합해서 구할 수 있다.

제약조건 식 (10)을 위한 어종별 어획할당량의 경우, 현재 대형선망어업에 있어서는 고등어와 전갱이가 TAC 대상종이므로 연간 어획할당량이 설정되어 있다. 분석에 있어서는 2012년도 할당량을 기준으로 하였다. 제약조건 식 (8)에서 β 는 효율적인 어업생산전략의 프론티어 곡선을 도출하기 위한 목표 순수익 수준을 의미한다. 따라서 β 가 영(0)이면 기대 순수익이 영(0)이 되어 손익분기점(break-even point) 수준을 의미하고, β 가 증가할수록 목표 순수익 수준에 따른 개별 어종별 최적 생산 수준은 달라진다.

III. 분석 결과

1. 대상어종 사이의 상관관계 및 공분산 분석 결과

대형선망어업의 어획대상어종의 최적 생산량 산출을 위한 포트폴리오 기법 적용에 앞서 우선 2008~2012년 기간 동안 대상어종별 순수익(e)의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다. 분석 결과, 고등어의 경우 전갱이와는 음(-)의 관계를 가지고 있는 반면, 삼치와 갈치와는 높은 양(+)의 관계인 것으로 분석되었다. 그리고 삼치와 갈치의 경우도 모두 공통적으로 전갱이와는 음(-)의 관계인 반면, 다른 어종과는 양(+)의 관계인 것으로 나타나 대상어종 중 유일하게 전갱이만이 다른 어종과 음(-)의 관계인 것으로 분석되었다. 특히 전갱이와 갈치의 경우 아주 낮은 음(-)의 관계로 나타났고, 삼

Table 3. Net Revenue Correlations

	Chub Mackerel	Jack Mackerel	Spanish Mackerel	Hairtail
Chub Mackerel	1.00			
Jack Mackerel	-0.39	1.00		
Spanish Mackerel	0.99	-0.46	1.00	
Hairtail	0.84	-0.04	0.76	1.00

Table 4. Net Revenue Covariance

	Chub Mackerel	Jack Mackerel	Spanish Mackerel	Hairtail
Chub Mackerel	34,215			
Jack Mackerel	-5,137	4,983		
Spanish Mackerel	59,473	-10,416	105,049	
Hairtail	47,725	-970	76,126	94,516

치와 갈치 사이에는 비교적 높은 양(+)의 관계로 분석되었다.

어종별 수익간의 상관관계는 영양단계의 상호관계, 해양환경 및 어업자원의 변화, 대상어종과 어획율을 결정하는 어구의 선택과 어업의 강도, 그리고 시장가격에 영향을 주는 시장에서의 상호관계(대체재 혹은 보완재) 등에 따라 양(+)과 음(-)의 관계를 가질 수 있다(Sanchirico et al., 2008). 대상어종별 어획량 변화를 분석해 보면, 고등어, 삼치, 갈치의 경우 유사한 어획량 변화를 나타내는 반면, 전갱이의 경우 다른 어종들과 다른 어획량 변화를 나타내고 있다. 이에 따라 전갱이의 순수익이 다른 어종들과 음(-)의 상관관계를 나타내는 것은 어종별 어업자원의 변화와 어종별 어획강도의 차이에 따른 것으로 판단된다.

다음으로 대형선망어업의 대상어종별 순수익의 공분산 분석 결과는 상관관계 분석 결과와 마찬가지로, 고등어와 전갱이의 순수익의 공분산은 음(-)의 값을 그리고 삼치와 갈치도 전갱이의 순수익과 음(-)의 공분산 값을 각각 가지는 것으로 분석되었다. 이에 반해 고등어와 삼치, 고등어와 갈치, 그리고 삼치와 갈치는 양(+)의 공분산 값을 가지는 것으로 분석되었다. 이에 따라 포트폴리오 분석에 있어서 전갱이에 대한 어획 비율을 높이는 것이 투자에 대한 위험(분산)을 줄이는데 효과적임을 예상할 수 있다.

2. 포트폴리오 분석 결과(1) : 고등어, 전갱이에 대한 TAC 설정

현재 대형선망어업의 고등어와 전갱이는 TAC 대상종이므로, 이들 두 어종에 대한 어획할당량

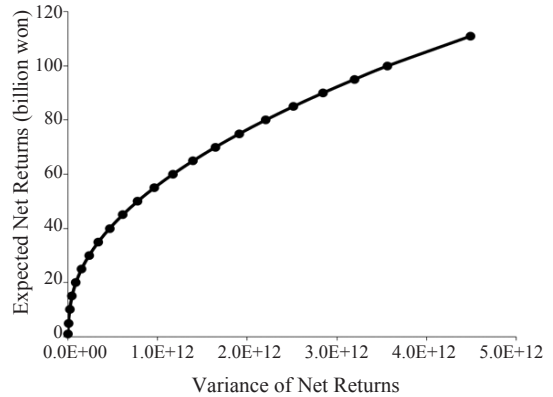


Fig. 2. E-V Frontier Curve.

제약식을 포함해 목표 순수익(β) 변화에 따른 E-V 프론티어 곡선을 도출하면 Fig. 2와 같다. 구체적으로 고등어와 전갱이에 대한 2012년도 TAC 물량(고등어 135천 톤, 전갱이 21천 톤) 설정 제약조건 하에서 목표 순수익(β)이 증가할수록 기대 순수익(E)과 순수익의 분산(V)은 점차 증가하게 된다.

기대 순수익을 2012년도 수준($\beta=1,100$ 억 원)으로 설정할 경우 어종별 최적 생산량은 Table 5에서 보는 바와 같이, 고등어 60,833톤, 전갱이 21,000톤, 삼치 34,430톤 그리고 갈치 12,214톤이다. 이를 2012년도 실제 어종별 생산량과 비교해보면, 고등어 생산은 크게 줄어들어야 하고, 삼치와 갈치의 생산은 크게 증가하여야 한다. 전갱이의 경우 21,000톤이 TAC 할당량이고, 할당량을 최대한 활용하고 있으므로 큰 차이가 없다. 여기서 특이한 점은 고등어 최적 생산 수준이 약 6만 톤 수준으로, TAC 할당량에 크게 밀도는 수준이다. 이는 포트폴리오 최적 생산을 위해서는

Table 5. Result of Portfolio Analysis (1)

	Actual Production		Portfolio Optimal Production(TAC for 2 Species)	
	ton	%	ton	%
Chub Mackerel	117,486	76.7	60,833	47.3
Jack Mackerel	25,819	16.8	21,000	16.3
Spanish Mackerel	7,096	4.6	34,430	26.8
Hairtail	2,831	1.8	12,214	9.5
Total	153,232	100.0	128,477	100.0

수익 가치가 상대적으로 낮은 고등어보다는 수익 가치가 상대적으로 높은 삼치와 갈치에 대한 생산 비중이 보다 증가되기 때문이다.

이와 같이, 기대 수익이 높고 위험성이 적은 어획대상종이 있을 경우 최적 생산을 위해서는 그 어종에 대한 생산이 증가하게 되는데, 그 만큼의 어업자원에 대한 압력이 증가하게 된다. 따라서 대상어종에 대한 특별한 관리조치가 이루어지지 않은 한 해당 어업자원의 감소 현상이 더욱 심해질 우려가 있다.

3. 포트폴리오 분석 결과(2) : 모든 어종에 대한 TAC 설정

포트폴리오 분석 결과(1)를 확장하고, 생태계 기반 어업관리의 중요성을 더욱 분석하기 위해 모든 어종에 대한 어획할당량이 설정된 경우를 가정하여 포트폴리오 최적 생산 분석을 실시해 보았다. 대형선망어업의 고등어와 전갱이는 이미 TAC 대상종이지만, 삼치와 갈치는 현재 TAC 대상종이 아니기 때문에 어획할당량을 설정할 수 있는 근거자료가 부족한 실정이다. 이에 따라 과거 어획량을 기준으로 삼치와 갈치에 대한 어획할당량을 가정하였다. 우선 삼치의 경우, Table 2에서와 같이, 2009년 이후 생산량이 크게 감소하여 약 7,000톤 수준을 유지하고 있다. 이에 따라 삼치의 어획할당량은 7,000톤으로 설정하였다. 갈치의 생산량은 2010년 약 13,000톤에서 2011년 4,522톤으로 크게 감소하였고, 2012년도에는 2,831톤으로 더욱 감소하였다. 따라서 최

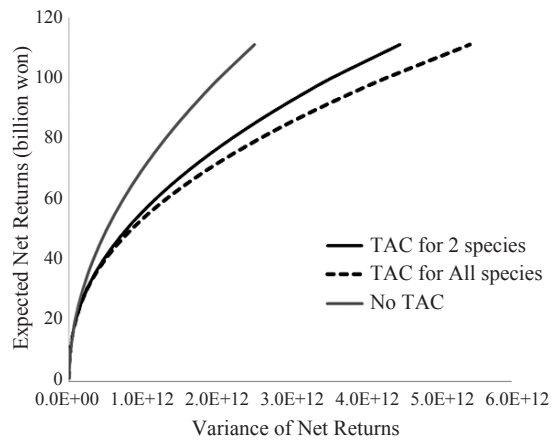


Fig. 3. Comparison of E-V Frontier Curves by Different TAC Cases.

근 감소한 생산량 수준을 감안하여 갈치의 어획할당량은 2011~2013년 평균인 4,000톤으로 가정하였다.

모든 어종에 대한 어획할당량 제약식을 포함해 목표 순수익(β) 변화에 따른 E-V 프론티어 곡선을 도출하면 Fig. 3과와 같다. 구체적으로 고등어와 전갱이에 대한 2012년도 TAC 물량(고등어 135천 톤, 전갱이 21천 톤) 외에 삼치와 갈치에 대한 어획할당량 설정 제약조건 하에서도 목표 순수익(β)이 증가할수록 기대 순수익(E)과 순수익의 분산(V)은 점차 증가하게 된다.

기대 순수익을 2012년도 수준($\beta=1,100$ 억 원)으로 설정할 경우 어종별 최적 생산량은 Table 6에서 보는 바와 같이, 고등어 117,873톤, 전갱이 21,000톤, 삼치 7,000톤 그리고 갈치 4,000톤이다.

Table 6. Result of Portfolio Analysis (2)

	Actual Production		Portfolio Optimal Production(TAC for 4 Species)	
	ton	%	ton	%
Chub Mackerel	117,486	76.7	117,873	78.6
Jack Mackerel	25,819	16.8	21,000	14.0
Spanish Mackerel	7,096	4.6	7,000	4.7
Hairtail	2,831	1.8	4,000	2.7
Total	153,232	100.0	149,873	100.0

Table 7. Result of Portfolio Analysis (3)

	Actual Production		Portfolio Optimal Production(Non-TAC for 4 Species)	
	ton	%	ton	%
Chub Mackerel	117,486	76.7	40,927	17.5
Jack Mackerel	25,819	16.8	165,291	70.8
Spanish Mackerel	7,096	4.6	24,973	10.7
Hairtail	2,831	1.8	2,417	1.0
Total	153,232	100.0	233,608	100.0

즉 고등어의 경우 TAC 할당량을 밑도는 것으로 나타난 반면, 다른 어종들의 경우 모두 어획할당량만큼을 생산해야 한다. 이를 2012년도 실제 어종별 생산량과 비교해 보면, 고등어, 전갱이, 삼치 등의 생산은 거의 유사한 수준인 반면, 갈치의 경우 할당량만큼 생산량이 다소 증가되어야 한다. 고등어와 전갱이에 대한 TAC 설정만을 가정한 분석 결과와 비교해서, 어획할당량이 없는 어종에 대한 어획압력을 줄일 수 있고, 모든 어종이 할당량 이내에서 생산되므로 생태계 기반 어업관리를 통한 효과적인 복수 어업자원 관리가 가능해질 수 있다.

4. 포트폴리오 분석 결과(3) : 모든 어종에 대한 TAC 미설정

TAC 관리수단에 대한 효과분석 등 포트폴리오 분석 결과를 보다 다양하게 고려하기 위해 다음으로 모든 어종에 대한 어획할당량이 미설정된 경우를 가정하여 포트폴리오 최적 생산 분석을 행해 보았다. 모든 어종에 대한 어획할당량

제약식을 제외하고 목표 순수익(β) 변화에 따른 $E-V$ 프론티어 곡선을 도출하면 Fig. 3에서 보는 바와 같다(No TAC). 앞의 분석에서와 마찬가지로 기대하는 목표 순수익(β)이 증가할수록 기대 순수익(E)과 순수익의 분산(V)은 점차 증가하게 된다.

기대 순수익을 2012년도 수준($\beta=1,100$ 억 원)으로 설정할 경우 어종별 최적 생산량은 Table. 7에서 보는 바와 같이, 고등어 40,927톤, 전갱이 165,291톤, 삼치 24,973톤 그리고 갈치 2,417톤이다. 이를 2012년도 실제 어종별 생산량과 비교해 보면, 고등어의 생산은 크게 감소하여야 하고, 갈치는 거의 비슷한 생산 수준을 유지해야 한다. 하지만 전갱이 생산은 아주 크게 증가하여야 하는데, 이는 앞의 대상어종별 공분산 분석 결과에서와 같이, 전갱이는 다른 어종들과 음(-)의 공분산 값을 가지는 것으로 분석되어 포트폴리오 분석에 있어서 전갱이에 대한 어획 비율을 높이는 것이 투자에 대한 위험(분산)을 줄이는데 효과적이기 때문이다. 그 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같

이, 앞의 다른 TAC 설정 가정 하에서보다 동일한 기대 수익 수준에 대한 분산이 가장 적은 것으로 분석되었다. 그러나 이 경우 개별어종에 대한 관리가 효과적으로 이루어지지 않을 시 특정 어업 자원에 대한 어획압력이 증가하여 해당 어업자원의 남획 현상이 아주 심각하게 발생할 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 생태계 기반 어업관리의 실질적인 적용을 위한 하나의 분석도구로 포트폴리오 기법을 대형선망어업에 적용하여 복수어종(고등어, 전갱이, 삼치, 갈치)의 최적 생산과 관리 방안을 모색해 보고자 하였다. 대부분의 어업은 복수어종을 어획대상으로 하고 있고, 복수어종 어획에 있어 특정 어종에 대한 어획은 생태적 혹은 기술적으로 연관된 다른 어종의 어획과 경제적 가치(수익)에 영향을 미치게 된다. 이에 따라 포트폴리오 기법을 적용하여 어종간 생물학적 그리고 기술적 상호연관성에 따른 기대수익률과 위험 분석을 통해 복수어종 내 개별어종들의 최적 생산계획을 수립할 수 있다.

현재 상황의 분석을 위해 고등어와 전갱이에 대한 TAC를 제약조건으로 설정하여 개별어종별 최적 생산 수준을 분석한 결과, 고등어 생산은 크게 줄고 상대적으로 수익 가치가 높은 삼치와 갈치의 생산 비중이 증가되어야 하는 것으로 나타났다. 이에 따라 삼치와 갈치에 대한 관리조치가 효과적으로 취해지지 않을 경우 어획압력 증대에 따른 어업자원의 남획현상이 초래될 위험성이 크다. 다음으로 모든 4개 어종에 대한 어획할당량을 제약조건으로 설정하여 개별어종별 최적 생산 수준을 분석한 결과, 어획할당량 이내에서 모두 생산 가능한 것으로 나타나 개별어종별 자원관리를 도모하면서 전체적인 생태계 기반 어업관리가 가능한 것으로 평가되었다. 또한 모든 4개 어종에 대한 어획할당량 제약조건을 제거하여 개별어종별 최적 생산 수준을 분석한

결과, 주어진 동일한 기대 수익 하에서 분산이 가장 적은 것으로 분석되었다. 하지만 수익 가치가 상대적으로 높거나, 음(-)의 공분산을 가지는 어종에 대한 어획비중이 크게 증가하는 것으로 나타나 효과적인 자원관리에는 한계가 있는 것으로 평가되었다.

이러한 분석 결과는 단일어종 중심의 어업관리가 취해질 경우 어종간의 생물학적 상호작용이나 어구어법에 의한 복수어종의 기술적 상호작용을 고려하지 않음으로써 효과적인 관리를 도모하기 어렵다는 것을 증명해 준다. 이에 반해 어종간의 생물학적·기술적 상호작용을 효과적으로 고려함으로써 생태계 어업자원 전체의 통합적인 관리가 도모될 수 있음을 보여준다. 따라서 개별어종별로 어획할당량을 포함한 다양한 관리수단 적용을 통해 통합적으로 관리해 나간다면 보다 실질적이고 효과적인 어업(자원)관리가 가능할 것이다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 포트폴리오 기법은 다양한 제약조건 하에서 최적의 생산 수준을 파악할 수 있는 장점이 있고, 이러한 장점은 생태계 기반 어업관리 적용을 위한 유용한 도구가 될 수 있음을 시사한다. 최근까지 생태계 기반 어업관리 적용기법으로는 생태계를 둘러싼 속성별(예를 들어, 지속성, 생물다양성, 사회경제성 등)로 다양한 지표(indicators)를 이용하여 분석하는 방법이 활용되어져 왔다. 하지만 이러한 다양한 속성들을 포트폴리오 기법 내 제약조건식 등에 포함하여 통합 분석함으로써 보다 유용한 결과 도출을 통한 효과적인 생태계 기반 어업관리가 가능해질 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 생태계 기반 어업관리에 대한 포트폴리오 기법 적용을 위한 기초적 연구로 연구의 한계점이 다수 존재한다. 우선, 대형선망어업의 4개 주요 어종만을 대상으로 하였고, 개별어종에 대한 어획할당량 변화만을 고려하여 개별어종별 최적 생산 수준을 분석하고 비교하였다. 특히 TAC 대상종이 아닌 어종(삼치와 갈치)의 경

우 자원평가 결과를 바탕으로 한 어획할당량 설정이 불가능하여 과거 어획량을 기준으로 임의로 어획할당량을 가정하여 분석에 이용하였다. 다음으로 과거 5년 기간 동안의 대상어종간 순수익 자료를 이용함으로써 공분산과 상관계수 분석에 있어 통계적 추정치의 한계성이 존재한다. 이에 따라 본 연구의 분석 결과를 일반화하기에는 많은 한계점이 있을 것이다. 추후에는 보다 많은 어종을 대상으로 한 분석이 도모되고, 생태계 기반 어업관리를 위한 다양한 어업관리수단의 효과가 분석되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Arnason, R. (1998), "Ecological Fisheries Management Using Individual Transferable Share Quotas," *Ecological Applications*, 8, 151 – 159.
- Baldursson, F. and Magnusson, G. (1997), "Portfolio Fishing," *Scand. J. of Economics*, 99, 389 – 403.
- Edwards, S., Link, J., and Rountree, B. (2004), "Portfolio management of wild fish stocks," *Ecological Economics*, 49, 317 – 329.
- FAO. (2003), *Fisheries management: The ecosystem approach to fisheries*, FAO technical guidelines for Responsible Fisheries, 4, Suppl.2, p.112.
- FAO. (1999), *Indicators for sustainable development of marine capture fisheries*, FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries, 8, p.68.
- Fulton, E. A., Smith, A., and Punt, A. (2004), "Which ecological indicators can robustly detect effects of fishing?," *ICES Journal of Marine Science*, 62, 540 – 551.
- Jennings, S. (2005), "Indicators to support an ecosystem approach to fisheries," *Fish and Fisheries*, 6, 212 – 232.
- Hanna, S. (1998), "Institutions for Marine Ecosystems: Economic Incentives and Fishery Management," *Ecological Applications*, 8, 170 – 174.
- Kim, W. S. and Kim, D. H. (2011), "Development and Application of Socioeconomic Assessment Indicators for an Ecosystem-Based Fisheries Management: An Application of Traffic Light System Method," *The Journal of Fisheries Business Administration*, 42, 71 – 83.
- Kruse, G., Livingston, P., Overland, J., McKinnell, S., and Perry, R. (2006), *Report of the PICES/NPRB workshop on integration of ecological indicators of the North Pacific with emphasis on the Bering Sea*. PICES Scientific Report No. 33, p.109.
- Link, J. (2005), "Translating ecosystem indicators into decision criteria," *ICES Journal of Marine Science*, 62, 569 – 576.
- Markowitz, H. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, VII (1), 77 – 91.
- MOF. (2014), *Fisheries Production Statistics*, Ministry of Oceans and Fisheries.
- NFFC. (2013), *Report of Fishing Business Survey*, National Federation of Fisheries Cooperatives.
- NFRDI. (2008), *Fishing Gear of Korea*, ED-2008-FE-001, National Fisheries Research & Development Institute.
- Park, J. S., Park, J. W., Cho, J. H., (2007), *Modern Finance Management*, 7th ed., Dasan Books.
- Perruso, L., Weldon, R., and Larkin, S. (2005), "Predicting Optimal Targeting Strategies in Multispecies Fisheries: A Portfolio Approach," *Marine Resource Economics*, 20, 25 – 45.
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E. D., Link, J., Livingston, P. A., Mangel, M., McAllister, M. K., Pope, J., Sainsbury, K. J. (2004), "Ecology: Ecosystem-Based Fishery Management," *Science*, 305, 346 – 347.
- Sanchirico, J., Smith, M., and Lipton, D. (2006), *An Approach to Ecosystem-Based Fishery Management*, Discussion Paper DP 06 – 40, Resources for the Future.
- Zhang, C. I., Kim, S., Gunderson, D., Marasco, R., Lee, J. B., Park, H. W., and Lee J. H. (2009), "An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries," *Fisheries Research*, 100, 26 – 41.