

양식업의 양식방법별 어종별 생산효율성 비교분석에 관한 연구

박 철 형*

The Study on the Comparative Analysis of the Aquaculture Production Efficiency Regarding Methods and Species

Cheol-Hyung Park*

Abstract

The purpose of this study is to investigate the production efficiencies of the Korean aquaculture fishery with respect to species and methods using a Data Envelopment Analysis. The study extracted the 8 fishes in each of the sea cage culture, aquarium basin, and enclosed aquaculture for the analytical purposes. First, the study estimated the technical, pure technical, and scale efficiencies of the total of 24 aquaculture fishes based on the traditional DEA under the assumptions of both CRS and VRS. 2 fishes were identified as the efficient DMUs under the CCR-model, and 6 fishes under the BCC-model.

Second, we tested to see if there was any difference in production efficiencies regarding those three different methods of aquaculture. we could not find any evidence of the differences in efficiency using a rank sum test based on the traditional DEA. However, we could do find that the pure technical efficiency in the sea cage culture was lower than others at 1% level of significance and the pure technical efficiency in enclosed aquaculture was also lower than others at 5% level of significance using Bilateral-DEA, which could explicitly consider the heterogeneity in the 3 production methods of aquaculture.

Finally, the study obtained the 95% confidence intervals of the efficiency scores for the 24 fishes under our study using the smoothed bootstrapping method in the process of the re-sampling in cooperation with both a kernel density estimation and a reflection method. At the same time, we could estimate the bias-corrected efficiency scores while the traditionally estimated efficiency scores suffered from the biases in the process of solving a linear programming with the deterministic nature of a production frontier. And hence, we could distinguish the differences in production efficiencies of the 8 fishes with respect to those 3 methods of aquaculture.

Key words : DEA, CCR, BCC, Bilateral-DEA, Bootstrap-DEA

접수 : 2012년 8월 2일 최종심사 : 2012년 9월 21일 게재확정 : 2012년 9월 24일

*부경대학교 자원경제학과 교수(Corresponding author : 051-629-5319, chpark@pknu.ac.kr)

I. 서론

우리나라의 천해양식업은 1970년대 중반 방어치어를 중간 육성하여 일본으로 수출하게 된 것을 계기로 발전하기 시작하여 1980년대에는 수산산업기반으로서의 모습을 갖추기 시작하였다. 1990년대 이후에는 양식어종이 다양화되고 어류양식기술이 본격적으로 보급되기 시작하면서 생산량이 증가하기 시작하였다. 2000년대에 들어서면서 『기르는 어업육성법』¹⁾이 제정되고 이에 따라 『기르는 어업발전 기본계획』²⁾이 수립된 이후 양식어장개발 사업에 정부의 역량이 집중되기 시작하면서 천해양식업의 생산량이 급격히 증대되었다. 마침내 2006년에는 양식업의 생산량이 일반해면어업의 생산량을 초과함으로써 양식업은 우리나라 수산업의 새로운 주축으로 자리잡게 되었고 국민식생활개선을 위한 수산물의 안정적인 공급에 중요한 역할을 담당해 오고 있다.

그러나 양식업의 빠른 성장은 양식어류가격의 지속적인 하락을 가져왔으며, 1997년에 시행된 수산물 수입 자유화조치에 따라 중국, 일본 등으로부터 값싼 양식어류의 수입이 크게 증가하였다. 이로 인해 국내의 어류양식업의 수익성이 크게 악화되었다. 또한, 산업화에 따른 연안수역의 오염과 양식수산물에 대한 수산식품의 공급의존도가 높아가면서 양식어장의 이용과 관리에 대한 어업권분쟁과 과잉투자에 따른 양식어장의 황폐화 등 여러 가지 문제점들도 나타나고 있다.

양식업을 둘러싸고 대두되고 있는 이런 다양한 문제점들을 극복하고 지속가능한 양식업으로, 또한 미래 먹거리산업의 주축으로 발전시키기 위해서는 양식업의 친환경적이며 효율적 생산이 선행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 우리나라 양식업 전반에 대한 경제학적인 생산효율

성의 평가가 과학적이며 체계적으로 이루어질 필요가 있다. 특히 어류양식의 경우에는 동일어종이 해상가두리, 육상수조식, 및 축제식 등의 서로 다른 방식으로 생산되고 있다. 따라서 서로 다른 양식어종들 사이에 발생하는 생산효율성의 차이에 대한 평가는 물론, 동일어종이 생산방법의 차이에 따라 어떻게 효율성에 차이를 보이는지를 파악하는 것은 양식업의 생산성제고를 위한 정책적 의사결정에 중요한 기초정보를 제공할 것이다.

그 동안 양식업과 관련하여 다양한 연구들이 진행되어 왔지만 양식업에 대한 생산효율성을 추정하고 평가한 연구는 미미한 형편이다. 서주남과 송정현(2009)이 DEA모형을 이용하여 부산기장지역에 있는 미역양식업종의 규모의 효율성을 추정한 것이 유일한 연구이지만, 이는 특정지역의 해조류 양식에 대한 효율성분석이었다. 최근에 박철형과 최치훈(2012)은 Bootstrap-DEA를 이용하여 33개 양식어종에 대한 신뢰구간을 추정하여 포괄적으로 생산효율성을 상호 비교하였다. 그러나 연구대상 어종의 비대칭성으로 인하여 양식방법에 따른 생산효율성을 비교하는 것에는 한계를 보여주었다. 따라서 본 연구에서는 연구대상어종의 선정에 대칭성을 확보하면서 자료포락분석(DEA=Data Envelopment Analysis)의 다양한 기법들을 이용하여 어류양식업 전반에 대한 기술적 생산효율성을 추정하고 양식방법에 따라, 또는 어종에 따라 발생하는 생산효율성의 차이를 체계적으로 분석하였다. 이를 위하여 전통적인 자료포락분석은 물론 쌍방자료포락분석(Bilateral-DEA)과 부트스트랩 자료포락분석(Bootstrap-DEA) 등을 이용하였다.

의사결정단위(DMU=Decision Making Unit)로 불리는 서로 다른 생산주체들의 생산성 혹은 효율성을 비교하는데 널리 쓰이는 자료포락분석은 최정윤 등(2003)이 수협중앙회의 50개 신

1) 법률 제11005호, 2011년 08월 04일 시행, 농림수산물부 및 보건복지부

2) 2004년 02월, 해양수산부

용사업 영업점의 효율성을 평가하는데 적용한 이후 우리 수산업의 연구에도 널리 사용되기 시작하였다. 그 후 김도훈(2006)은 대형선망어업의 어획능력을 추정하여 감축방향을 제시하는데 PTP(peak-to-peak)와 DEA를 이용하였다. 김재희(2009)는 교차효율분석을 이용하여 원양어업의 업종별 경쟁력의 우선순위를 도출하였다. 표희동과 김종천(2010)은 수산물 도매업을 평가 대상으로 패널자료를 이용하여 Malmquist 생산성지수를 도출하였다. 김도훈 등(2010)은 884개의 표본어선을 대상으로 SFA (Stochastic Frontier Analysis)와 DEA를 사용하여 연근해어업의 기술효율성을 분석하였다. 박철형(2010)은 38개국가지정어항을 대상으로 잔여기반초효율성모형(slack based super-efficiency)을 이용하여 효율성의 우선순위를 결정하였다. 이강우(2011)는 40개의 지역수협 영업점을 표본으로 선택하고 역시 잔여기반초효율성모형과 Malmquist모형을 이용하여 이들의 정적 및 동적 효율성을 분석하였다.

그러나 이제까지 수산업에 적용되었던 DEA의 여러 선행연구들은 그 효율성점수의 추정에 있어서 선형계획법의 해를 통한 확정적인(deterministic) 추정치들이라는 한계점을 지니고 있다. 이는 서로 다른 DMU의 효율성점수를 비교함에 있어 표준오차에 대한 추정치의 결여로 기본적으로 통계적 유의성을 확보할 수 없다는 한계점을 갖는다는 것이다. 즉 추정치들에 대한 신뢰성을 아예 논할 수 없는 단점을 지닌다. 본 연구에서는 어종별 양식단위의 생산효율성을 추정함에 있어 이러한 한계점을 극복하기 위하여 표본자료의 재표집과정에 커널밀도추정법과 반사법을 적용한 부트스트랩 자료포락분석을 적용하였다. 또한 양식방법에 따라 발생할 수 있는 생산과정의 이질성을 효율성점수를 구하는 과정에 명시적으로 고려하기 위하여 쌍방자료포락분석을 적용하였다.

본 연구는 이러한 연구목적을 달성하기 위하

여 다음의 순서로 논의를 전개하였다. 다음 II장에서는 서로 다른 양식방법의 총체적인 생산효율성의 차이를 비교하기 위한 쌍방자료포락분석과 개별 양식어종들에 대해서 양식방법에 따라 생산효율성에 차이가 나는지를 비교하기 위한 Bootstrap-DEA의 이론적 배경을 살펴본다. III장의 실증분석에서는 먼저 전통적인 자료포락분석의 CCR 및 BCC모형을 이용하여 양식어종들의 기술적, 순수기술적, 그리고 규모의 효율성을 분석하였다. 그리고 이들 효율성점수에 양식방법에 따라 유의적인 차이가 있는지를 순위합검정을 이용하여 비교하여 보았다. 또한 순위합검정을 이용하여 쌍방자료포락분석모형으로는 효율성에 차이가 발생하는지를 검정하였다. 끝으로 Bootstrap-CCR 및 Bootstrap-BCC모형을 이용하여 개별어종들의 효율성점수에 대한 신뢰구간을 구축하여 어종별로 양식방법에 따라 유의미한 효율성의 차이를 보이는지도 검정하였다. IV장의 결론부분에서는 분석결과를 정리하고 그 한계점을 검토한 이후에 차후의 연구과제에 관하여 언급하였다.

II. 쌍방자료포락분석과 부트스트랩

1. 쌍방자료포락분석

본 연구의 목적 가운데 하나인 3가지의 서로 다른 양식방법, 즉 해상가두리와 육상수조식, 그리고 축제식의 생산효율성에 유의적인 차이가 존재하는지의 여부를 판단하는 것은 우리 수산양식업의 생산효율성제고에 중요한 시사점을 제공할 수 있다. 그러나 전통적인 자료포락분석 방법은 분석대상이 되는 DMU들의 효율성 생성 과정이 동질적인 것으로 보고 모든 DMU들을 이용하여 동일한 생산가능집합을 형성하고 효율성을 추정한다. 이는 양식방법에 따라 존재할 수 있는 이질성을 고려할 수 없다는 한계점이 있다. 쌍방자료포락분석(Bilateral-DEA)은 서로 다

른 두 집단의 효율성을 평가함에 있어서 상대방의 생산가능집합을 이용하여 효율성을 추정하는 방법이다. 이는 서로 다른 두 집단이 이질적인 집단인 경우 효율성의 생성과정이 동일하지 않을 것으로 판단할 수 있으며 따라서 이러한 이질성을 효율성의 추정과정에 명시적으로 고려하기 위한 방법이다.

이러한 쌍방자료포락분석의 이론적 배경은 다음과 같이 전개할 수 있다. 이제 서로 다른 2개의 이질적인 집단을 A와 B라고 하자. 그러면 집단 A에 속한 특정의 DMU a의 효율성은 식 (1)과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min \theta \\ \text{subject to } \sum_{j \in B} x_{ij} \leq \theta x_a \\ \sum_{j \in B} y_j \lambda_j \geq y_a \\ \lambda_j \geq 0 (\forall j \in B) \end{aligned} \quad (1)$$

단, 여기서 x 는 투입요소를 y 는 산출요소를 나타내며, λ 는 자료포락분석의 선형계획법상의 가중치를 나타낸다.

2개의 투입요소 (x_1, x_2)와 하나의 정규화한 산출요소 ($y=1$)의 경우에 <그림 1>은 DMU a의 효율성 추정과정을 보여준다. DMU a의 효율성 점수 θ^* 는 집단 B에 속한 DMU들을 생산가능집합으로 이용하여 식 (2)와 같이 구해질 수 있다.

$$\theta^* = \frac{OQ}{OP} < 1 \quad (2)$$

<그림 2>에서는 DMU a가 집단B에 속한 DMU들에 의해서 포락되지 않는 경우로, 이 경우에는 원점에서 출발한 방사선을 확장하여 Q에서 포락할 수 있다. 이 경우에 효율성 점수 θ^* 는 식 (3)과 같이 주어진다.

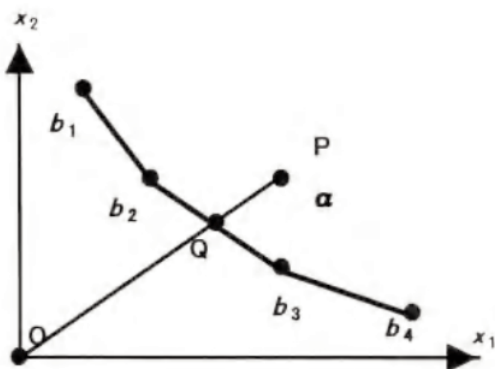
$$\theta^* = \frac{OQ}{OP} > 1 \quad (3)$$

따라서 이 경우에는 효율성 점수 θ^* 가 더 이상 1의 값보다 적어야 한다는 제약은 받지 않는다.

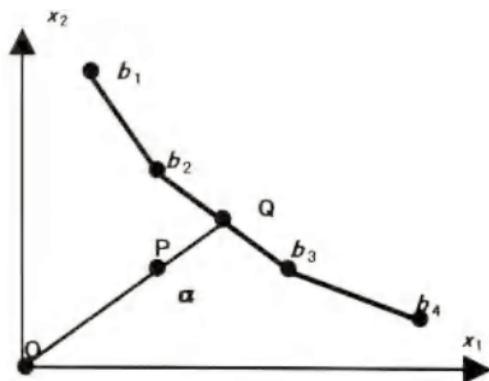
집단B에 속한 DMU b에 대해서도 동일한 논리로 효율성점수를 추정할 수 있다. 자료포락분석의 효율성점수가 갖는 비모수적인 특성 때문에 두 집단 A와 B의 효율성의 차이를 검정하기 위해서는 순위합검정을 이용하여야 한다. 쌍방자료포락분석을 이용하는 경우에는 서로 다른 두 집단이 동일한 효율성점수의 생성과정을 갖든 그렇지 않든, 즉 집단간의 생산과정의 동질성과 이질성에 상관없이 효율성의 차이를 평가할 수 있게 된다.

2. Bootstrap-DEA

전통적인 자료포락분석이 갖는 한계점중의 하나는 효율성 점수의 추정이 선형계획법의 해



<그림 1>



<그림 2>

를 통하여 결정적(deterministic)으로 이루어지므로 추정치에 대한 통계적 유의성을 평가할 수 없다는 것이다. 본 연구의 또 다른 목적 중의 하나는 동일 양식어종에 대해서 양식방법이 해상가두리와 육상수조식, 그리고 축제식으로 다를 때 생산효율성에 유의적인 차이를 보이는지를 분석하고자 하는 것이다. 따라서 이러한 연구목적은 전통적인 자료포락분석으로 해결할 수 없으며 Bootstrap-DEA를 통하여 자료를 재표집함으로써 가능해진다.

전통적인 자료포락분석은 효율성의 점수가 1에 근접하는 값들을 주로 산출하기 때문에 원표본자료를 직접 재표집하는 경우 추정치에 편이가 발생할 수밖에 없다. 이를 극복할 수 있는 가장 일반적인 방법은 커널평활법(kernel smoothing method)을 이용하여 효율성점수가 갖는 원래의 밀도를 추정하는 것이다. 그러나 Bootstrap의 재표집과정에서 효율성점수가 1 이상의 경계를 벗어나게 되면 여전히 확률이 존재하지 않는다. Silverman(1986)은 반사법이라는 수정절차를 통하여 이러한 문제를 해결하였다. 이처럼 커널평활법과 반사법을 재표집과정에서 모두 응용한 Bootstrap 추정방법을 평활부트스트랩(smoothed bootstrap)이라 부르며 자료포락분석의 효율성점수가 갖는 표집분포의 특성을 그대로 반영할 수 있다.

자료포락분석에 이용되는 평활부트스트랩의 적용과정은 다음과 같이 5단계³⁾로 요약할 수 있다.

- 1단계: 전통적인 선형계획모형의 해를 구하여 각 양식 단위에 대한 효율성점수 $\hat{\theta}_k (k=1, \dots, L)$ 를 구한다.
- 2단계: $\{\hat{\theta}_k; k=1, \dots, L\}$ 로부터 크기 L 의 무작위표본을 생성하여 $\{\theta_{1b}^*, \dots, \theta_{Lb}^*\}$ 를 제공하기 위해 커널밀도추정과 반사법을 동시에 사용한다.
- 3단계: 참조부트스트랩 기술(reference

bootstrap technology)을 생성하기 위해 의사자료집합(pseudo data set) $\{(x_{kb}^*, y_k), k=1, \dots, 1\}$ 을 계산한다.

4단계: 위의 의사자료에 대해 전통적인 선형계획모형의 부트스트랩 대응모형의 해를 구함으로써 각 양식단위에 대해 $\hat{\theta}_k$ 의 부트스트랩 효율성 추정치 $\hat{\theta}_{kb}^*$ 를 계산한다.

5단계: 부트스트랩 효율성 추정치 $\{\hat{\theta}_{kb}^*; b=1, \dots, B\}$ 를 얻기 위하여 매우 큰 수인 B 번을 반복한다. Simar & Wilson(2000)은 적절한 신뢰구간의 범위를 확보하기 위해 B 를 1000회, 또는 2000회를 반복할 것을 제안하였다.

위의 5단계 과정을 거쳐 추정된 평활부트스트랩추정량은 다음의 식 (4)로 구해진다.

$$\bar{\theta}_k^* = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{kb}^* \quad (4)$$

Simar & Wilson(1999)은 $b=1, \dots, B$ 에 대하여 $(\hat{\theta}_{kb}^* - \hat{\theta}_k)$ 값들을 증가하는 순서로 배열하고 배열된 값들의 양끝에서 각기 $(\alpha/2 \times 100)\%$ 의 값들을 제거할 것을 제안하였다. 그러면 남아있는 배열의 양 끝에 해당하는 값들은 $-\hat{b}_\alpha^*$ 와 $-\hat{a}_\alpha^*$ 가 된다. 결과적으로 효율성점수의 추정치에 대한 $(1-\alpha) \times 100\%$ 의 신뢰구간을 식 (5)와 같이 설정할 수 있다.

$$\hat{\theta}_k + \hat{a}_\alpha^* \leq \theta_k \leq \hat{\theta}_k + \hat{b}_\alpha^* \quad (5)$$

동시에 효율성의 추정치 $\hat{\theta}_k$ 의 편이는 부트스트랩표본을 이용하여 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$\widehat{bias}_k(\hat{\theta}_k) = \bar{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k \quad (6)$$

또한, 효율성점수의 추정치 $\hat{\theta}_k$ 에 대한 편이조정추정량(bias-corrected estimator) $\tilde{\theta}_k$ 는 식 (7)과 같이 얻을 수 있다.

3) 유금록(2008), pp.300-302

$$\tilde{\theta}_k = \hat{\theta}_k - \widehat{bias}_k(\hat{\theta}_k) = \hat{\theta}_k - \bar{\theta}_k^* + \hat{\theta}_k = 2\hat{\theta}_k - \bar{\theta}_k^* \quad (7)$$

마지막으로 $\tilde{\theta}_k$ 의 표준편차를 식 (8)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\tilde{\sigma}_k = \sqrt{\frac{1}{B} \sum_{b=1}^B (\hat{\theta}_{kb}^* - \bar{\theta}_k^*)^2} \quad (8)$$

Ⅲ. 실증분석 결과

1. 분석자료의 개요

본 연구의 분석대상 양식단위는 통계청 사회통계국 농어업통계과에서 작성한 2006년부터 2010년 사이의 연도별 시도·시군구별 양식방법별 어종별 양식현황의 자료에서 추출하였다. 분석대상 양식어종으로는 해상가두리, 육상조식, 그리고 축제식에서 동일어종인 8개 어종씩을 선택하여 총 24개의 양식업을 선정하였다⁴⁾. 투입요소로는 입식량과 사료투입량⁵⁾의 2개의 변수를 선택하였으며, 산출요소로는 생산량과

생산금액의 2개의 변수를 선정하였다⁶⁾. 변수들은 각 양식단위 별로 5개년의 평균치를 이용하였다. <표 1>은 이들 변수들에 대한 통계적 특성을 요약한 것이다.

2. CCR 및 BCC모형의 분석결과

<표 2>는 전통적인 DEA분석기법인 투입지향의 CCR 및 BCC모형하에서 분석대상 양식업의 생산효율성의 추정결과를 보여준다. 먼저 규모에 대한 수확불변을 가정한 CCR모형의 분석 결과는 해상가두리의 넙치류 양식과 축제식의 쥐치류 양식업의 기술적 효율성의 점수가 효율변경을 구성하는 1로 추정되었다. CCR모형의 기술적 효율성 추정점수가 가장 낮은 양식업은 육상수조식의 농어로 2.1%에 불과한 것으로 분석되었다. 기술적 효율성 점수의 평균은 47.9%로 계산되었으며, 표준편차는 29.7%인 것으로 나타났다. 따라서 기술적 효율성의 경우 전체적으로 절반에 가까운 52% 정도의 개선의 여지가 있는 것으로 분석되었다.

<표 1> 분석자료의 통계적 특성

	투입요소		산출요소	
	입식량 (천마리)	사료투입량 (M/T)	생산량 (M/T)	생산금액 (백만원)
평균	13,747.253	27,476.509	3,404.100	31,391.858
표준편차	37,838.752	81,073.921	10,716.444	102,272.681
변동계수	2.752	2.951	3.148	3.258
최소값	44.333	10.500	0.667	4.667
최대값	150,635.400	310,966.900	44,910.800	467,664.000

- 4) 원자료(통계청 양식현황자료)에는 22개의 해상가두리 양식어종과 15개의 육상수조식 양식어종, 그리고 16개 어종의 축제식 양식어종에 대한 자료가 수록되어 있다. 그러나 원자료에는 어종에 따라 연도별로 자료가 수집되지 않은 어종이 많았다. 따라서 최소한 3개년 이상의 자료가 수집되어 있는 양식어종을 선택하여 분석대상을 선정하였다.
- 5) 사료투입량의 경우 생사료와 배합사료 투입량에 대한 자료가 존재하지만 자료포락분석의 효율성추정량의 식별성을 높이기 위하여 배합사료와 생사료의 투입량을 합산하여 하나의 변수로 통합하였다. 배합사료의 경우 양식장에 투입되었을 경우 수분을 흡수하게 되므로 생사료의 경우와 구분하여 3.5의 계수를 곱하여 생사료의 투입량에 합산하였다.
- 6) 통계청 양식현황자료에는 53개 어종들에 대하여 입식량, 생산량, 생산금액, 폐사량, 현사육량, 체중에 따른 개체의 숫자, 생사료, 배합사료의 8개의 변수가 수록되어 있다. 본 연구에서는 이들 8개 변수 가운데 사용가능한 모든 변수를 분석에 이용하여 2개의 투입변수와 2개의 산출변수를 선정하였다.

〈 표 2 〉 CCR-BCC모형의 분석결과

DMU		CCR	BCC	Scale	RTS	참조횟수
A1	가자미류(해)	0.274	0.353	0.778	IRS	0
A2	넙치류(해)	1.000	1.000	1.000	CRS	7
A3	농어(해)	0.603	0.830	0.727	DRS	0
A4	감성돔(해)	0.286	0.465	0.615	DRS	0
A5	돌돔(해)	0.297	0.469	0.633	DRS	0
A6	기타돔류(해)	0.372	0.578	0.644	DRS	0
A7	조피블락(해)	0.415	0.775	0.535	DRS	0
A8	쥐치류(해)	0.409	0.696	0.587	DRS	0
B1	가자미류(육)	0.484	0.546	0.886	DRS	0
B2	넙치류(육)	0.766	1.000	0.766	DRS	7
B3	농어(육)	0.021	0.328	0.065	IRS	0
B4	감성돔(육)	0.778	1.000	0.778	IRS	7
B5	돌돔(육)	0.356	0.493	0.723	DRS	0
B6	기타돔류(육)	0.401	0.515	0.779	DRS	0
B7	조피블락(육)	0.269	0.386	0.697	IRS	0
B8	쥐치류(육)	0.538	0.639	0.842	IRS	0
C1	가자미류(축)	0.987	1.000	0.987	IRS	3
C2	넙치류(축)	0.937	1.000	0.937	DRS	9
C3	농어(축)	0.309	0.333	0.927	IRS	0
C4	감성돔(축)	0.054	0.065	0.828	IRS	0
C5	돌돔(축)	0.114	0.154	0.739	DRS	0
C6	기타돔류(축)	0.220	0.243	0.905	IRS	0
C7	조피블락(축)	0.596	0.691	0.863	DRS	0
C8	쥐치류(축)	1.000	1.000	1.000	CRS	8
평균		0.479	0.607	0.760		
표준편차		0.297	0.294	0.199		
최소값		0.021	0.065	0.065		
최대값		1.000	1.000	1.000		

규모에 대한 수확가변을 가정한 BCC모형의 추정결과로 나타나는 순수기술적 효율성의 경우에는 해상가두리의 넙치류 양식을 비롯한 6개 양식업이 효율변경을 구성하면서 효율성점수가 1로 나타났다. BCC모형하에서는 효율성의 점수가 가장 낮은 양식업은 축제식의 강성돔으로 순수기술적 효율성의 점수가 6.5%에 불과한 것으로 나타나 양식방법의 개선이 규모 및 투입량의 기술적 조합 모두에서 시급한 것으로 분석되었다. 순수기술효율성의 평균은 60.7%로 나타나 약 40% 정도의 개선의 여지가 있는 것을 보여주고

있으며, 표준편차는 29.4%인 것으로 나타났다.

BCC모형의 순수기술적 효율성의 추정치에 대한 CCR모형의 기술적 효율성추정치에의 비율인 규모의 효율성의 추정치를 〈표 2〉의 제5열에 보고하였다. CCR모형의 기술적 효율성 점수가 1이었던 2개 양식업이 모두 규모의 효율성도 100%로 달성되어 이들 양식업은 규모에 대한 수확불변의 구간에서 양식업이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 규모의 효율성이 가장 낮은 양식업은 기술적 효율성도 가장 낮게 나타났었던 육상수조식의 농어로 6.5%에 불과한 것으로

나타났다. 규모의 효율성의 평균은 76.0%로 추정되었으며 표준편차는 19.9%로 계산되었다.

〈표 2〉의 제6열은 전통적인 DEA모형을 통하여 구할 수 있는 규모에 대한 수확의 상황을 보여준다. 앞서 지적되었던 해상가두리양식의 넙치를 비롯한 2개의 양식업이 기술적, 순수기술적, 그리고 규모의 효율성을 모두 100% 달성하고 있는 것으로 분석되어 이들은 규모에 대한 수확불변의 영역에서 양식업이 이루어지고 있다는 사실을 알 수 있다. 그 밖에 해상가두리의 가지미류, 육상수조식의 농어를 비롯한 9개의 양식업은 규모에 대한 수확체증의 영역에서 생산활동이 이루어지고 있으므로 규모를 확대하여 생산효율성을 제고할 필요가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 그 이외의 양식업들에서는 모두 규모에 대한 수확체감의 영역에서 생산활동이 이루어지고 있으므로 생산규모를 축소하는 동시에 참조집합을 이용하여 투입량의 조합을 변경하는 순수기술적 효율성을 높이는 방안으로 생산효율성을 제고하여야 할 것이다.

〈표 2〉의 마지막 열에는 규모에 대한 수확가 변화의 BCC 모형에서 비효율적으로 생산활동이 이루어지고 있는 양식업종이 그들의 순수기술적 효율성 제고를 위하여 투입량을 조절함에 있어 벤치마킹대상이 되는 효율변경상의 양식업종의 참조횟수를 기록하였다. 참조횟수가 가장 많이 나타난 양식어종은 축제식의 넙치류로

9회, 그 다음이 역시 축제식의 쥐치류로 각기 8회씩 참조되는 것으로 나타났다. 특히 넙치류 양식의 경우는 축제식에서 가장 많은 횟수인 9회, 해상가두리 양식과 육상수조식에서 공히 7회씩을 기록하는 것으로 나타나 양식방법을 불구하고 어종의 측면에서 보았을 때 넙치류의 양식이 우리나라 수산업의 생산효율성 제고를 위한 중요한 벤치마킹 대상이 됨을 알 수 있다. 양식방법으로 보면 축제식의 어종들이 20회, 육상수조식의 어종들이 14회, 그리고 해상가두리의 어종이 7회로 나타났다. 이는 어종에 따라 다를 수 있겠지만 양식방법만을 따진다면 축제식, 육상수조식, 그리고 해상가두리양식의 순으로 생산효율성의 우선순위가 결정된다는 것을 시사하는 분석결과가 된다.

3. 양식방법에 따른 생산효율성의 차이

〈표 3〉은 〈표 2〉에 나타난 전통적인 DEA모형의 추정결과를 기반으로 해상가두리, 육상수조식, 그리고 축제식의 양식방법에 따른 생산효율성의 차이를 비교한 것이다. 먼저 CCR모형으로 추정된 기술적효율성을 양식방법에 따라 비교하여 보면 각기 8개 어종의 양식업 가운데 축제식의 평균이 52.7%로 가장 높았으며, 해상가두리의 평균이 45.7%로 그 뒤를 이었고, 육상수조식의 평균이 45.2%인 것으로 나타났다. BCC모형을 통하여 추정된 순수기술적 효율성의 경

〈표 3〉 양식방법에 따른 생산효율성의 비교

		평균	표준편차	최소값	최대값
CCR모형 기술적효율성	해상가두리	0.457	0.244	0.274	1.000
	육상수조식	0.452	0.252	0.021	0.778
	축제식	0.527	0.404	0.054	1.000
BCC모형 순수기술적 효율성	해상가두리	0.646	0.218	0.353	1.000
	육상수조식	0.613	0.257	0.328	1.000
	축제식	0.561	0.407	0.065	1.000
Scale 규모의 효율성	해상가두리	0.690	0.147	0.535	1.000
	육상수조식	0.692	0.260	0.065	0.886
	축제식	0.898	0.086	0.739	1.000

〈표 4〉 CCR모형의 순위합 검정결과

	해상가두리와 그 이외		육상수조식과 그 이외		축제식과 그 이외	
	A	B&C	B	A&C	C	A&B
DMU숫자	8	16	8	16	8	16
평균	0.457	0.489	0.452	0.492	0.527	0.454
표준편차	0.244	0.328	0.252	0.325	0.404	0.239
최대값	0.274	0.021	0.021	0.054	0.054	0.021
최소값	1.000	1.000	0.778	1.000	1.000	1.000
Rank Sum	100.50	199.50	98.00	202.00	101.50	198.50
검정통계량	-0.031		-0.123		-0.092	
유의확률	0.976(0.488)		0.903(0.451)		0.927(0.464)	

주 : 영문대문자 A, B, 그리고 C는 각기 해상가두리, 육상수조식, 및 축제식의 양식형태를 나타낸다. 괄호안의 값은 단측 검정의 유의확률을 나타낸다.

우는 해상가두리의 평균이 64.6%로 가장 높게 나타났으며, 육상수조식의 평균이 61.3%로 그 뒤를 이었고, 마지막으로 축제식의 평균이 56.1%인 것으로 추정되었다. 규모의 효율성의 경우에는 역시 축제식의 평균이 89.8%로 가장 높게 나타났으며, 육상수조식과 해상가두리의 평균은 각기 69.2%와 69.0%로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

표준편차를 통해 나타난 산포경향을 보면 축제식의 8개 어종에 대한 기술적효율성과 순수기술적 효율성이 각기 40.4%와 40.7%로 나타나 상대적으로 가장 편차가 크게 나타났다. 산포경향이 가장 낮은 경우 역시 축제식의 8개 어종에 대한 규모의 효율성의 추정치가 8.6%로 가장 적게 나타난 것도 알 수 있다.

그러나 양식방법에 따른 생산효율성을 차이를 서로 비교하기 위하여 〈표 3〉에 나타난 추정치들의 평균에 대하여 전통적인 모수통계기법인 t-검정을 적용하여 단순 비교하는 것은 이들 추정치들이 선형계획법의 해를 통하여 구해진 확정적인 성격의 비모수적인 추정치라는 점에서 한계점이 있다. 즉 자료포락분석을 이용하여 추정된 효율성점수들은 선형계획법의 해에 따른 0과 1 사이의 값들로 그 확률분포가 알려져 있지 않으며 정규분포와는 거리가 멀다. 결과적

으로 양식방법에 따른 생산효율성의 차이를 엄격하게 비교하기 위해서는 비모수적인 통계접근법을 이용하여야한다.

〈표 4〉는 CCR모형의 기술적 효율성의 차이를 양식방법에 따라 비교하기 위하여 비모수적 통계기법인 Mann-Whitney-Wilcoxon의 순위합검정을 이용하여 구한 결과이다. 순위합검정을 이용하기 위해서는 관측치의 숫자가 20개 이상이어야 한다는 엄격한 전제조건이 있다. 본 연구에서는 각 양식방법에 따라 8개 어종에 대한 자료만이 취득가능하였으므로 서로 다른 2개의 양식방법에 대하여 순위합검정을 실시하면 16개 관측치만을 이용할 수 있으므로 순위합검정을 사용할 수 없게 된다. 따라서 부득이 하나의 양식방법과 다른 2개의 양식방법을 묶어서 8개와 16개, 즉 24개의 관측치를 확보하는 방법을 이용하여 Mann-Whitney-Wilcoxon의 순위합검정을 실시하였다.

〈표 4〉에 CCR모형의 기술적 효율성에 대한 순위합검정의 결과는 유의확률이 양측검정이나 단측검정의 모든 경우에서 10%를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 어느 하나의 양식방법이 다른 양식방법에 대하여 기술적 생산효율성에 차이가 있다는 통계학적 증거를 확인할 수 없었다. 〈표 5〉에 나타난 BCC모형하의 순수기술적

〈 표 5 〉 BCC모형의 순위합 검정결과

	해상가두리와 그 이외		육상수조식식과 그 이외		축제식과 그 이외	
	A	B&C	B	A&C	C	A&B
DMU숫자	8	16	8	16	8	16
평균	0.646	0.587	0.613	0.603	0.561	0.629
표준편차	0.218	0.330	0.257	0.318	0.407	0.231
최대값	0.353	0.065	0.328	0.065	0.065	0.328
최소값	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Rank Sum	108.50	191.50	101.00	199.00	90.50	209.50
검정통계량	-0.525		-0.062		-0.586	
유의확률	0.600(0.300)		0.951(0.476)		0.558(0.279)	

주 : 영문대문자 A, B, 그리고 C는 각기 해상가두리, 육상수조식, 및 축제식의 양식형태를 나타낸다. 괄호안의 값은 단측검정의 유의확률을 나타낸다.

〈 표 6 〉 Bilateral-CCR모형의 순위합 검정결과

	해상가두리와 그 이외			육상수조식식과 그 이외			축제식과 그 이외		
	합계	A	B&C	합계	A	B&C	합계	A	B&C
DMU숫자	24	8	16	24	8	16	24	8	16
평균	0.678	0.578	0.729	0.723	0.452	0.859	0.648	0.862	0.541
표준편차	0.715	0.411	0.822	0.682	0.236	0.783	0.658	0.987	0.358
최대값	3.666	1.568	3.666	3.321	0.778	3.321	3.321	3.321	1.568
최소값	0.025	0.286	0.025	0.021	0.021	0.072	0.025	0.066	0.025
Rank Sum		104	196		121	179		95	205
검정통계량	0.2449			1.2860			-0.3062		
유의확률	0.8064(0.4032)			0.1984(0.0992)			0.7594(0.3797)		

주 : 영문대문자 A, B, 그리고 C는 각기 해상가두리, 육상수조식, 및 축제식의 양식형태를 나타낸다. 괄호안의 값은 단측검정의 유의확률을 나타낸다.

〈 표 7 〉 Bilateral-BCC모형의 순위합 검정결과

	해상가두리와 그 이외			육상수조식식과 그 이외			축제식과 그 이외		
	합계	A	B&C	합계	A	B&C	합계	A	B&C
DMU숫자	24	8	16	24	8	16	24	8	16
평균	3.397	0.726	4.732	0.944	0.809	1.012	70.187	0.938	104.811
표준편차	7.352	0.362	8.699	0.795	0.390	0.926	157.513	1.034	183.354
최대값	35.048	1.590	35.048	4.095	1.729	4.095	516.379	3.451	516.379
최소값	0.375	0.375	0.409	0.079	0.515	0.079	0.066	0.066	0.451
Rank Sum		142	158		100	200		127	173
검정통계량	2.5720			0			1.6534		
유의확률	0.0102(0.0051)			1.000(0.5)			0.0982(0.0491)		

주 : 영문대문자 A, B, 그리고 C는 각기 해상가두리, 육상수조식, 및 축제식의 양식형태를 나타낸다. 괄호안의 값은 단측검정의 유의확률을 나타낸다.

생산효율성의 추정치에 대하여 같은 방법으로 순위합검정을 통하여 차이를 분석한 경우에서도 유의확률은 양측 혹은 단측검정 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 결과적으로 전통적인 자료포락분석에 따른 효율성의 추정치에 대하여서는 통계적으로 어느 양식방법의 생산효율성이 우월한 지를 식별할 수 없었다.

한편, <표 6>과 <표 7>은 쌍방자료포락분석(Bilateral-DEA)에 따른 양식방법의 효율성 차이를 검정한 결과이다. 이는 집단간에 생산가능집합을 상호 교차하여 효율성을 평가하는 방법으로 해상가두리, 육상수조식, 그리고 축제식의 효율성 생성과정, 즉 생산방법의 시스템 자체가 서로 다를 수 있다는 점을 염두에 두고 효율성의 차이가 존재하는지의 여부를 검정하는 방법이다. 먼저의 순위합 검정방법은 이들 3가지 양식방법의 효율성 생성과정이 동일한 것으로 보고 하나의 생산가능집합을 통하여 효율성을 추정하는 것에 대한 검정이므로 생산방법의 차이를 고려하지 않은 분석방법이다.

<표 6>에 나타난 CCR모형하 기술적효율성의 쌍방자료포락분석의 순위합검정결과를 보여준다. 쌍방자료포락분석에서 해상가두리의 기술적효율성의 평균은 57.8%, 육상수조식의 평균이 45.2%, 그리고 축제식의 평균이 86.2%로 계산되었다. 하지만 이들 효율성에 대하여 순위합검정을 실시한 결과를 보면 단측 및 양측의 모든 경우에서 유의적인 차이가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 다만, 육상수조식과 그 이외의 양식방법, 즉 해상가두리와 축제식의 양식방법을 합하여 효율변경을 구성한 경우의 쌍방자료포락분석에서는 단측검정의 유의확률이 9.92%인 것으로 보고되었다. 결과적으로 10%의 유의수준에서도 육상수조식 보다는 그 이외의 양식방법의 기술적 효율성이 높다는 대립가설만이 간신히 기각되는 것으로 분석되었다.

<표 7>은 BCC모형의 순수기술적 생산효율

성을 쌍방자료포락분석을 이용하여 순위합검정을 실시한 결과이다. 먼저, 해상가두리양식의 순수기술적효율성의 평균은 72.6%, 육상수조식의 평균은 80.9%, 그리고 축제식의 평균이 93.8%로 계산되었다. 먼저 육상수조식과 그 이외의 양식방법을 비교한 경우에는 양측 및 단측 검정 모두에서 유의적인 효율성의 차이점을 발견할 수 없었던 것을 확인할 수 있다.

그러나 해상가두리양식과 그 이외의 양식방법을 비교한 경우에는 양측 및 단측 모두에서 해상가두리의 양식방법이 그 이외의 양식방법인 육상수조식과 축제식에 대하여 동시에 비교하였을 때 순수기술적 효율성이 낮다는 것을 보여준다. 특히 단측검정의 유의확률은 0.51%로 나타나 1%의 유의수준에서도 해상가두리의 효율성이 떨어진다는 것을 확인할 수 있다.

이 뿐만 아니라 축제식과 그 이외의 양식방법을 쌍방자료포락분석을 이용하여 비교한 경우에도 단측검정의 유의확률이 4.91%인 것으로 나타났다. 이 역시 5%의 유의수준에서 축제식의 순수기술적 효율성이 그 이외의 양식방법인 해상가두리와 육상수조식과 동시에 비교할 때 효율성이 낮다는 증거를 순위합검정의 결과를 통하여 보여준다.

4. Bootstrap-DEA를 이용한 효율성의 신뢰구간 추정

앞에서 제시한 CCR 및 BCC모형의 효율성분석결과는 전통적인 자료포락분석의 방법으로 효율성점수가 결정적인(deterministic)인 추정치들이라는 한계를 갖는다. 이는 추정결과에 대한 통계적 유의성에 대한 평가 불가능하다는 것으로 특히 효율성점수의 상호비교에 절대적인 문제점을 노출한다. 본 절에서는 이러한 표준적인 자료포락분석의 한계점을 극복하여 효율성의 추정치에 대한 신뢰구간을 설정할 수 있는 Bootstrap-DEA를 이용하여 규모에 대한 수확불변의 기술적 효율성과 규모에 대한 수확가변의 순수기술적 효율성점수의 95% 신뢰구간을 추

〈 표 8 〉 Bootstrap-DEA를 이용한 편이조정 생산효율성의 추정결과

DMU		CCR모형			BCC모형		
		기술적 효율성	편이조정 효율성	편의	순수기술적 효율성	편이조정 효율성	편의
A1	가자미류(해)	0.274	0.218	0.056	0.353	0.280	0.073
A2	넙치류(해)	1.000	0.712	0.288	1.000	0.709	0.291
A3	농어(해)	0.603	0.453	0.150	0.830	0.622	0.208
A4	감성돔(해)	0.286	0.223	0.063	0.465	0.356	0.109
A5	돌돔(해)	0.297	0.250	0.047	0.469	0.386	0.084
A6	기타돔류(해)	0.372	0.311	0.061	0.578	0.472	0.106
A7	조피볼락(해)	0.415	0.318	0.097	0.775	0.578	0.196
A8	취치류(해)	0.409	0.335	0.074	0.696	0.574	0.122
B1	가자미류(육)	0.484	0.401	0.083	0.546	0.432	0.114
B2	넙치류(육)	0.766	0.578	0.187	1.000	0.678	0.322
B3	농어(육)	0.021	0.017	0.004	0.328	0.257	0.071
B4	감성돔(육)	0.778	0.610	0.169	1.000	0.734	0.266
B5	돌돔(육)	0.356	0.300	0.056	0.493	0.398	0.095
B6	기타돔류(육)	0.401	0.338	0.063	0.515	0.424	0.090
B7	조피볼락(육)	0.269	0.210	0.058	0.386	0.311	0.075
B8	취치류(육)	0.537	0.453	0.084	0.639	0.503	0.136
C1	가자미류(축)	0.987	0.761	0.226	1.000	0.746	0.254
C2	넙치류(축)	0.937	0.737	0.201	1.000	0.737	0.263
C3	농어(축)	0.309	0.239	0.070	0.333	0.256	0.077
C4	감성돔(축)	0.054	0.043	0.010	0.065	0.050	0.015
C5	돌돔(축)	0.114	0.091	0.023	0.154	0.126	0.028
C6	기타돔류(축)	0.220	0.172	0.048	0.243	0.189	0.054
C7	조피볼락(축)	0.596	0.486	0.110	0.691	0.534	0.157
C8	취치류(축)	1.000	0.649	0.351	1.000	0.683	0.317
평균		0.479	0.371	0.108	0.607	0.460	0.147
표준편차		0.297	0.216	0.088	0.294	0.205	0.094
최소값		0.021	0.017	0.004	0.065	0.050	0.015
최대값		1.000	0.761	0.351	1.000	0.746	0.322

정하였다. Bootstrap-DEA의 반복추정횟수는 2000회를 이용하여 신뢰성을 확보하는데 주력하였다.

〈 표 8 〉은 Bootstrap-DEA모형을 이용하여 CCR모형의 기술적 효율성과 BCC모형의 순수 기술적 효율성의 추정치를 편의를 제거하고 재추정한 결과이다. 먼저 CCR모형의 경우 모든 기술적 효율성의 추정치에 정의 편의가 발생한 것을 알 수 있다. 이는 분석대상인 24개 전 어종의 양식업의 기술적 효율성이 전통적인 자료포락

분석방법에서는 과대추정되었다는 것을 의미한다. 편의의 평균은 10.8%였으며, 편의를 조정한 이후에 기술적 효율성의 추정치의 평균은 37.1%로 축소되었다. 편의를 조정한 이후의 효율성 추정치를 이용하면 전통적인 DEA추정방법에서는 식별할 수 없었던 효율변경상의 양식업들의 효율성의 우선순위를 식별할 수 있게 된다. 편이조정 이후 기술적 효율성이 가장 높은 양식업은 축제식의 가자미류 양식업이 76.1%로 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음이 73.7%의

〈 표 9 〉 CCR모형의 95% 신뢰구간 추정결과

	해상가두리		육상수조식		축제식	
	하한	상한	하한	상한	하한	상한
가자미류	0.183	0.263	0.339	0.469	0.640	0.940
넙치류	0.611	0.925	0.484	0.736	0.619	0.907
농어	0.378	0.581	0.015	0.020	0.206	0.294
감성돔	0.188	0.275	0.522	0.753	0.037	0.052
돌돔	0.212	0.290	0.254	0.347	0.077	0.109
기타돔류	0.265	0.360	0.287	0.391	0.150	0.207
조피볼락	0.266	0.400	0.176	0.260	0.412	0.578
쥐치류	0.284	0.392	0.384	0.523	0.570	0.936

〈 표 10 〉 BCC모형의 95% 신뢰구간 추정결과

	해상가두리		육상수조식		축제식	
	하한	상한	하한	상한	하한	상한
가자미류	0.239	0.340	0.370	0.533	0.638	0.975
넙치류	0.601	0.958	0.517	0.961	0.634	0.959
농어	0.505	0.802	0.214	0.321	0.219	0.321
감성돔	0.293	0.451	0.622	0.962	0.042	0.062
돌돔	0.325	0.455	0.341	0.476	0.110	0.150
기타돔류	0.401	0.554	0.362	0.504	0.164	0.233
조피볼락	0.452	0.756	0.266	0.373	0.448	0.674
쥐치류	0.485	0.680	0.430	0.610	0.554	0.960

축제식의 넙치류 양식업이며, 71.2%의 해상가두리의 넙치류와 64.9%의 축제식의 쥐치류가 그 뒤를 이었다. 기술적 효율성이 가장 낮은 양식업은 편의를 조정한 이후에도 여전히 육상수조식의 농어가 1.7%인 것으로 확인되었다.

BCC모형의 순수기술적 효율성의 추정치에도 전반적으로 정의 편의가 발생한 것을 알 수 있다. 편의의 평균은 14.7%로 순수기술적 효율성의 평균도 따라서 46.0%로 축소되었다. 순수기술적 효율성이 가장 높은 양식은 CCR모형하의 기술적 효율성의 경우와 마찬가지로 축제식의 가자미류 양식이 74.6%를 기록하였다. 그 다음도 기술적 효율성의 경우와 마찬가지로 제2순위는 축제식의 넙치류 양식이 73.7%를 기록한 것으로 나타났다. 그 다음은 육상수조식의 감성돔이 73.4%, 해상가두리의 넙치류 양식이 70.9%로 그 뒤를 이었다. 순수기술적 효율성이 가장 낮은 양

식업은 역시 편의를 보정한 이후에도 축제식의 감성돔으로 5.0%에 불과한 것으로 나타났다.

〈 표 9 〉는 8개 어종별로 양식방법에 따라 CCR모형의 기술적 효율성에 차이가 있는지를 통계적으로 확인하기 위하여 Bootstrap-DEA의 95% 신뢰구간을 추정한 결과를 나타낸다. 표에 나타난 95% 신뢰구간이 서로 중복되지 않으면 5%의 유의수준에서 양식방법에 따른 기술적 효율성의 차이를 동일 어종에서 확인할 수 있다. 먼저 가자미류의 경우, 축제식, 육상수조식, 그리고 해상가두리의 순으로 양식방법에 따른 기술적 효율성의 우선순위가 확연하게 구분되었다. 넙치류의 경우는 신뢰구간이 서로 중복되어 양식방법에 따른 기술적 효율성의 차이를 확인할 수 없었다. 농어의 경우에는 해상가두리, 축제식, 육상수조식의 순으로 역시 확연하게 효율성의 우선순위를 확인할 수 있었다. 감성돔의 경우

에도 육상수조식, 해상가두리, 축제식의 순으로 우선순위를 분명히 확인할 수 있었다. 돌돔과 기타돔류의 경우에는 해상가두리와 육상수조식에서는 우선순위를 확인할 수 없으나 두 양식방법 모두 축제식보다는 기술적 효율성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 조피볼락의 양식업은 축제식, 해상가두리, 육상수조식의 순서로 효율성의 우선순위가 확인되었다. 쥐치류의 경우에는 육상수조식의 하한값과 해상가두리의 상한값의 극히 일부분이 중복되어 5%의 유의수준에서 통계적으로는 엄격하게 구분할 수 없으나 육상수조식의 방법이 해상가두리에 비해서 대체적으로 효율성이 높은 것을 확인할 수 있으며, 이들 두 양식방법보다는 축제식의 효율성이 확연하게 높은 것을 알 수 있다.

〈표 10〉은 BCC모형의 순수기술적 효율성을 Bootstrap-DEA를 이용하여 추정한 후 95% 신뢰구간을 설정한 결과를 나타낸다. 먼저 가자미류의 경우 CCR모형하의 기술적 효율성의 경우와 마찬가지로 축제식, 육상수조식, 그리고 해상가두리의 순서로 순수기술적 효율성의 확연한 우선순위를 확인할 수 있었다. 넙치류 양식은 3가지 양식방법에 따라 순수기술적 효율성에는 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 농어의 경우, 육상수조식과 축제식에서는 차이가 발생하지 않았으나 해상가두리의 양식방법이 전자의 두 경우보다 효율성이 확연하게 높은 것을 알 수 있었다. 감성돔의 경우는 육상수조식, 해상가두리, 그리고 축제식의 순서로 효율성의 우선순위가 구별되었다. 돌돔과 기타돔류의 경우에는 해상가두리와 육상수조식에서는 차이가 없었으나 양자 모두 축제식에 비해서는 순수기술적 효율성이 높았다. 조피볼락은 해상가두리와 축제식에서는 차이가 없었으나 양자 모두 육상수조식보다는 높은 것으로 나타났다. 마지막으로 쥐치류의 순수기술적 효율성은 3가지 양식방법 모두에서 우선순위를 확인할 수 없었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 우리나라 양식업의 대표어종들에 대한 생산효율성을 분석하였다. 분석대상 어종으로는 해상가두리, 육상수조식, 그리고 축제식에서 상호비교를 위해서 8개씩의 동일어종들이 선택되었다. 먼저 전통적인 자료포락분석에 따라 규모에 대한 수확불변가정하 투입지향의 CCR모형과 규모에 대한 수확가변가정하 투입지향의 BCC모형을 이용하여 기술적 효율성, 순수 기술효율성, 그리고 규모의 효율성을 추정하였다. 그 결과 총 24개 분석대상 어종의 기술적 효율성의 평균은 47.9%, 순수기술적 효율성의 평균은 60.7%, 그리고 규모의 효율성의 평균이 76.0%인 것으로 추정되었다. 이는 우리나라 양식업의 생산효율성을 제고할 수 있는 여지가 규모를 조정하는 측면에서 약 24%, 투입과 산출의 기술적 조합을 변경하는 순수기술적 효율성의 제고 측면에서 약 40%, 결과적으로 기술적으로 총 약 52% 정도의 제고 가능성이 존재한다는 것을 의미한다. CCR모형하에서 해상가두리의 넙치류와 축제식의 쥐치류 2개의 어종이 기술적으로 효율적인 생산이 이루어지고 있으며, BCC모형에서는 6개 어종이 순수기술적인 측면에서 효율적으로 생산이 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 육상수조식의 농어는 CCR 및 BCC모형에서 모두 가장 비효율적인 어종으로 나타나 생산효율성의 제고를 위한 개선이 시급한 것을 알 수 있었다. 순수기술적인 측면에서 비효율적인 양식어종들이 효율적인 생산을 하기 위해서 벤치마킹해야 할 양식업은 축제식의 넙치류로서 9회의 가장 많은 참조횟수를 기록하였다. 특히 넙치류의 경우에는 해상가두리와 육상수조식의 경우에서도 각기 7회의 참조횟수를 기록하여 여타 어종들의 순수기술적 효율성 제고를 위한 주요한 벤치마킹대상 어종이 되는 것으로 나타났다.

해상가두리, 육상수조식, 그리고 축제식의 양식방법에 따라 생산효율성의 차이가 발생하는

지를 순위합검정을 이용하여 분석하였다. 전통적인 자료포락분석으로는 CCR모형의 기술적 효율성이나 BCC모형의 순수기술적 효율성 가운데 어느 하나에서도 양식방법에 따른 효율성의 차이를 발견할 수 없었다. 양식방법의 차이에 따른 생산과정의 이질성을 고려하여 쌍방자료포락분석(Bilateral-DEA)을 이용하여 순위합검정을 재실시하였다. 분석결과, CCR모형에서는 유의적인 차이를 여전히 발견할 수 없었다. 그러나 BCC모형의 순수기술적 효율성의 경우는 해상가두리 양식방법보다는 그 이외의 양식방법들이, 그리고 축제식보다는 그 이외의 양식방법들이 효율성이 높다는 것을 순위합검정을 통하여 발견할 수 있었다.

커널밀도추정법과 반사법을 이용한 평활부트스트랩을 이용하여 재표집한 자료에 CCR 및 BCC모형을 적용하여 24개 분석대상 어종들에 대하여 95% 신뢰구간을 구축하였다. 이러한 신뢰구간을 이용하여 동일한 어종들에 대하여 양식방법에 따라 발생할 수 있는 생산효율성의 차이를 통계학적으로 검정할 수 있었다. 이 뿐만 아니라 전통적인 자료포락분석의 확정적인 효율성점수들에 발생하는 편의를 수정한 편이수정효율성점수의 추정치를 도출할 수 있었다. 편의를 수정한 효율성의 점수를 비교한 결과, 기술적효율성은 축제식의 가자미류가 76.1%로 가장 높았으며 순수기술효율성의 경우에도 축제식의 가자미류 양식이 74.6%로 가장 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 전통적인 자료포락분석은 물론 쌍방자료포락분석과 부트스트랩 자료포락분석을 이용하여 양식어종들에 대한 기술적 및 순수기술적 효율성, 그리고 규모의 효율성에 대한 전반적인 분석을 시도하였다. 그러나 이러한 분석결과는 어디까지나 제한된 자료를 이용한 다차원의 투입과 산출공간에서의 기술적인 분석이다. 개별 양식어종에 대한 생산효율성의 제고를 위하여 벤치마킹하여야 할 양식어종의 식별과 투

입변수들을 어떻게 조절하여야 하는지 등의 다양한 권고들도 기술적인 측면에 국한될 수밖에 없다는 한계점을 지닌다. 실제 이러한 권고들을 수용하여 적용하는 과정에는 양식어종의 특성과 양식방법의 특성에 따라 한계점이 많을 것은 자명한 사실이다. 개별 양식어종들의 실제적인 생산효율성 제고를 위해서는 본 연구의 분석결과를 기반으로 양식환경에 밀착된 양식장의 규모나 투입노동력과 같은 다양한 변수들을 이용하여 생물학적인 특성을 고려한 보다 심도 있고 포괄적인 연구가 향후에 진행되어야 할 것이라는 과제를 남긴다.

참고문헌

- 김도훈, “우리나라 근해어업의 어획능력 측정에 관한 연구”, 수산경영론집, 제37권 제1호, 2006, pp.1-24.
- 김도훈 · 서주남 · 이상고, “Technical efficiency of the coastal composite fishery in Korea : a comparison of data envelopment analysis and stochastic frontier analysis”, 수산경영론집, 제41권 제3호, 2010, pp.45-58.
- 김재희, “교차효율분석을 활용한 원양어업의 업종별 경쟁력 추정”, 해양정책연구, 제24권 제1호, 2009, pp.57-76.
- 박철형, “Super-SBM을 이용한 어항의 효율성분석에 관한 연구”, 수산경영론집, 제41권 제3호, 2010, pp.129-152.
- 박철형 · 최치훈, “DEA를 이용한 수산양식업 효율성의 비교분석에 관한 연구”, 한국도서연구, 제24권 제1호, 2012, pp.33-49.
- 서주남 · 송정현, “해조류 양식업 규모의 효율성 추정에 관한 연구-부산 기장지역 미역양식을 중심으로-”, 수산경영론집, 제40권 제1호, 2009, pp.1-26.
- 유금록, “부트스트랩 자료포락분석에 의한 공공부문의 효율성과 결정요인의 경험적 평가: 서울시 보건소를 중심으로”, 한국정책학회보, 제17권 제2호, 2008, pp.291-321.

- 이강우, “DEA모형에 의한 지역수협의 경영평가”, 수산경영론집, 제42권 제2호, 2011, pp.15-30.
- 최정윤 · 남수현 · 강석규, “한국수산업협동조합의 경영효율성 평가: 자료포락분석”, 수산경영론집, 제34권 제2호, 2003, pp.109-130.
- 표희동 · 김종천, “수산물 도매업의 생산 효율성 평가에 관한 연구”, 수산경영론집, 제41권 제3호, 2010, pp.21-44.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management Science*, 30, 1984, pp.1078-1092.
- Cooper W. W., Seiford L. M., and Tone K., *Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Efron, B. “Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife,” *Annals of Statistics*, 7, 1979, pp.1-26.
- Silverman, B. W., “Density Estimation for Statistics and Data Analysis,” London, Chapman and Hall, 1986.
- Simar, L. & Wilson, P. W., “Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models,” *Management Science*, 44, 1998, pp.49-61.
- _____, “Estimating and Bootstrapping Malmquist Indices,” *European Journal of Operational Research*, 115, 1999, pp.459-471.
- _____, “Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art,” *Journal of Productivity Analysis*, 13, 2000, pp.49-78.
- _____, “A General Methodology for Bootstrapping Nonparametric Frontier Models,” *Journal of Applied Statistics*, 27, 2000, pp.779-802.