

넙치양식장 밀식에 따른 생산성에 관한 연구[†]

어윤양*

Productivity of the Flounder Stocking Density on the Flounder Culture Farms

Youn-Yang Eh*

Abstract

Oliver flounder population density affect Oliver flounder growth and mortality rate. In laboratory pilot experiment, Oliver flounder growth rate is inversely proportional to stocking density. But previous study has not proved external validity.

This study is aimed to analyze the effect of stocking density on the Oliver flounder culture farms in Jeju Island. In order to do this, I selected 13 farms in Jeju island as a sample.

In the study, various analytical methods including productivity analysis, regression analysis, statistical analysis were conducted for 13 Oliver flounder culture farms.

The result of analysis can be summarized as follows.

First, in case of the Oliver flounder culture farms, Bertalanffy equation is not applicable to the Oliver flounder growth.

Second, the Oliver flounder stocking density, defined as the surface area of Oliver flounder per m² of water surface area, is preferred to density definition defined as the weight of Oliver flounder per m² of water surface area on the Oliver Flounder Culture Farms case.

Third, growth rate and production weight on the Oliver flounder culture farms are inversely proportional to stocking density on spearman rank correlation test. When extensive comparable biological and culture condition data become available, analysis model can be easily modified to yield more accurate results.

Key words : Productivity of Oliver flounder culture farm, Stocking density function, Growth rate of Oliver flounder, Stocking density rate, Productivity analysis

접수 : 2011년 9월 5일 최종심사 : 2011년 9월 23일 게재확정 : 2011년 9월 26일

[†]이 논문은 2006학년도 부경대학교 연구년 지원사업에 의해 연구되었음.

이 논문은 수산과학원의 "2005년 양식품종별(넙치, 조피볼락) 경제성분석" 자료의 일부분을 이용하였음을 밝히
둔다.

*부경대학교 경영학부 교수(Corresponding author : 051-629-5723, ehyy@pknu.ac.kr)

I. 서 론

어업생산량 중에서 천해양식어업의 비중은 2000년 26%에서 2009년에 1,313,304M/T을 생산하여 41.2%로 계속 높아지고 있다. 양식어류 생산량에서 가장 큰 비중을 차지하는 넙치양식의 생산량은 1999년 21,368M/T에서 2004년 32,141M/T 그리고 2009년에 54,674M/T로 급격하게 증가하고 있고, 지역으로 보면 제주도가 2009년 기준으로 30,899M/T을 생산하여 약 56.5%를 생산하고 있다. 넙치는 우리나라의 대표적 양식어종이면서 가장 경쟁력이 있는 중요한 어종이라고 할 수 있다. 그러므로 넙치양식어업의 지속적인 경쟁력 확보는 산업적인 측면에서 뿐만 아니라 개별 어가의 측면에서도 중요하다고 할 수 있다. 넙치양식업의 경쟁력 확보는 여러 가지 변수 예를 들면 양식에 적합한 자연조건, 사료의 효율성이 높으면서 질병에 강한 품종의 육종, 사료개발, 양식장의 효율적 운영 등 다양한 요소에 의하여 확보된다고 할 수 있다. 이러한 요소 중에서 관리적으로 중요한 요소 중 하나는 양식장의 이용과 관련된 밀식이다. 밀식은 이미 이론적으로 질병, 성장속도 등에 영향을 미치므로 바람직하지 않다고 지적되고 있으나 현실적으로는 양식장 시설 고정비의 영향을 줄이기 위하여 많은 양식장에서는 밀식으로 양식하는 경우가 많다. 넙치의 경우 밀식에 대한 연구는 실험실 수준에서 이루어져 왔지만, 양식장 현장에서의 밀식에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 밀식에 대한 연구는 내적 타당성은 어느 정도 확보되었으나 외적 타당성은 거의 확보되지 않은 상태이다. 이와 같이 밀식에 대한 현장에서의 연구가 이루어지지 않은 이유는 다음과 같이 유추할 수 있다. 첫째는 실제 양식장에서 밀식효과에 대한 설명력을 높이기 위해서는 현장에서의 적절한 자료가 얻어져야 하는데, 이러한 자료를 확보하기가 경제적인 이유 또는 현실적인 어려움이 있기 때문이다. 두번째는 밀식효과에 대한 타당한

연구방법론이 설정되지 않음으로 인하여 연구방법에 적합한 자료수집의 어려움에 기인한다.

본 연구는 양식어업 중 넙치양식어업의 육상수조식 양식장의 밀식에 따른 양식장의 생산성을 분석하였다. 본 연구에서는 우리나라 넙치 육상양식장 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 제주도의 13개 넙치양식장을 대상으로 넙치양식장의 밀식을 추정하여 밀식에 따른 생산성을 살펴보고자 하였다. 제주도는 넙치의 생산지 중에서 완도나 다른 지역과는 달리 청정 지하해수를 이용하여 연중 생산이 가능하므로 넙치 양식환경 측면에서 최적의 입지조건을 가지고 있다.

본 연구에서는 밀식에 따른 생산성 분석을 위하여 독립변수로 설정한 밀식에 대한 정의를 하고 종속변수로 선정된 생산성에 대한 개념적 검토를 한 후, 이러한 개념을 기반으로 하여 연구에서 설정한 가정이 실제 자료에서 타당한가를 검토하고 실증적 검증을 하였다. 이러한 연구의 결과는 밀식에 대한 이해력을 높일 뿐 아니라, 앞으로 밀식연구에 대한 새로운 관점을 제시함으로써 향후 이러한 연구에 대한 촉진제가 될 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 밀식양식에 따른 양식장의 생산성을 분석하는데 사용된 조작적 개념을 제시하고, 그 이론적 근거에 대하여 살펴보았다. III 장에서는 기존의 자료를 중심으로 실증적 분석을 하여 그 결과를 기술하였으며, 마지막으로 IV 장에서는 연구결과를 요약하면서 모형의 한계점과 앞으로의 연구에 대하여 언급하였다.

II. 양식밀도와 생산성에 대한 이론적 검토

1. 양식밀도

어류양식에서 양식밀도는 일반적으로 단위 양식장 부피(면적)당 양식개체의 수 또는 양식중량(no, weight/m³, m²)으로 정의된다. 일반적으

로 모형을 이용하여 분석하는 경우에 변수의 타당성은 변수가 이론적 구조에서 타당성이 있는가 하는 것과 조작적 정의에 의하여 설정된 변수가 문제의 설명력을 어느 정도 높이는가 하는 데 있다. 이러한 점에서 양식밀도에 대한 정의가 넙치 양식장에서 그대로 적용되는 경우 발생하는 적용상의 한계점을 검토해 볼 필요가 있다.

양식밀도는 양식을 할 때 단위 공간에서 개체의 밀집정도를 나타내는 변수이고, 이러한 개념은 밀집정도가 생산성에 영향을 준다는 점에서 이론적 타당성을 확보하는 것이라고 할 수 있다. 기존의 연구에서 보면 Jaw-Kai Wang과 Jungghans Leiman(2000)은 새우의 밀집정도를 수표면적당 개체수로 정의하고 이를 이용하여 모형 분석을 하고 있는데, 이것은 새우의 생태적 특성을 고려하여 설명력을 높이기 위한 목적과 측정상의 편의를 위한 것이라고 생각할 수 있다. 그러므로 양식밀도는 대상인 어류의 생태적 특성을 고려하여 밀도를 정의하여야 타당할 것으로 생각된다.

양식어류 중에서 넙치의 경우, 넙치는 저착성 어종이므로 성어가 되면 바닥에서 붙어서 성장을 한다. 이러한 넙치의 성장 특성을 고려하면 양식밀도의 정도를 유영어종인 조피볼락 등과 같은 어종의 양식밀도를 이용하는 것 즉, 단위 양식어장 부피당 개체 수 또는 무게로 표현하는 것은 설명력에서 한계가 있을 것으로 생각된다. 넙치의 생태특성을 고려할 때 넙치의 양식밀도는 바닥면적당 체면적 또는 체중으로 밀식의 정도를 표현하는 것이 타당성이 있다고 생각된다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 넙치의 양식밀도를 양식장 바닥 면적당 넙치의 체면적 비율로 정의하고 그 타당성 여부를 실증적 분석을 통하여 살펴보고자 한다.

양식밀도와 연관되는 개념으로 적정 양식밀도라는 개념을 생각할 수 있다. 여기서 적정 양식밀도라는 것은 양식장에서 가장 생산성이 높게 나타나는 양식밀도를 의미하는 개념이다. 어류양식장의 적정 양식밀도는 양식장에서 양식

어종의 생태 특성과 양식환경에 따라 달라질 수 있다. 즉 같은 양식어종이라고 하더라도 자연 상태에서 해상가두리 양식장을 하는 경우와 육상에서 수조를 만들어 양식을 하는 경우, 적정 양식 밀도는 달라질 수밖에 없다. 즉 육상 양식장에서는 적절한 양식장 온도에 필요한 용존산소와 수질의 오염문제를 적절하게 통제한다는 가정 아래서 양식밀도를 분석하는 것이므로 해상가두리 양식을 하는 경우와 양식밀도를 비교하는 것은 어렵다. 그러므로 적정 양식밀도라는 것은 특정 양식장 환경 조건하에서 그 조건에 적합한 양식장 밀도로 정의하는 것이 타당한 개념이라는 것을 알 수 있다. 이는 곧 양식장 환경이 양식장에서의 적정 양식밀도에 영향을 준다는 것을 의미한다. 그러므로 적정 양식밀도는 양식장을 어떠한 조건으로 통제하느냐 하는 것이 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

양식장의 적정 양식밀도에 영향을 가장 크게 주는 양식조건은 양식장의 양식수온과 수질, 양식사료 그리고 양식어류의 생태적 특성이 될 것이다. 왜냐하면 양식어류의 밀도에 가장 큰 영향을 미치는 생태 환경적 요소는 수질과 수온이고, 이러한 환경적 요소에서 생존하는 것은 어류의 생태적 특성과 밀접한 관계가 있기 때문이다. 양식장에서 양식장의 수온이 적정온도를 넘는 경우 사료를 적게 투여하거나 절식을 함으로써 생존율을 높이는 것은 이러한 요인과 밀접한 관계가 있다고 할 것이다.

따라서 다른 조건에 영향을 받지 않고 양식밀도의 효과를 분석하기 위해서는 대상 양식장의 밀식정도를 제외한 다른 변수 즉, 양식조건(수온, 수질 등)과 생물적 효율(예를 들어 성장률, 생존율, 사료효율 등)이 차이가 없다는 것이 가정되어야 한다.

2. 넙치의 성장률

넙치의 성장률은 넙치의 밀식의 정도에 영향을 미치는 변수중의 하나라고 할 수 있다. 왜냐

하면 한정된 양식장의 공간에서 넙치가 성장하게 되면 개체수 증가에 따른 밀도는 증가하지 않지만 단위공간당 무게 또는 단위면적당 넓이에 따른 넙치의 양식 밀도는 증가하기 때문이다.

자연 생태 환경에서 어류의 성장률에 대한 연구는 1934년 Von Bertalanffy의 아래와 같은 어류 성장함수가 효시가 되었다. Von Bertalanffy 연구 이후 여러 가지 조건에서 어류성장을 측정할 수 있는 다양한 형태의 연구가 이루어져 왔다¹⁾.

$$L(t) = L_{\infty} * [1 - \exp(-K*(t - t_0))] \quad (1)$$

L_{∞} : The mean length of old fish

K : curvature parameter

Von Bertalanffy 이후의 생물학적 연구는 어류의 성장에 따른 성격을 이해하게 하였으며, 생태계에서 어류의 나이에 따른 분포와 크기에 따른 자료를 분석함으로써 성장곡선을 추정할 수 있게 한 점에서 매우 중요한 연구라고 할 수 있을 것이다. 그러나 이들의 연구는 자연 생태적 환경에서 생물의 성장에 대한 분석과 예측이었다는 것을 특징으로 들 수 있다. 그러므로 기존의 어류 성장에 대한 모형들은 양식장의 환경이 자연 상태와 유사한 경우에는 모형 적용의 타당성이 있으며 의미가 있다고 할 수 있다. 그러나 어류의 생존기간에 대비하여 비교적 짧은 기간에 인위적인 양식 환경을 조성하여 사료를 투입하여 양식하는 경우에 기존연구의 결과를 적용하는 경우 타당성 문제가 발생한다. 넙치의 경우에 실제로 바다에서 어획한 수명이 2~3년이 된 넙치 경우에도 그 중량이 양식장에서 1년 동안 키운 넙치보다 작은 것은 주지의 사실이다. 이것은 넙치가 바다에서 수년에 걸쳐 생존하여도 양식장에서의 먹이 환경과 수온과 같은 성장환경이 조성되지 못하기 때문이다. 그러므로 자연생태계에서의 어류의 성장함수는 양식장의 어류 성장에 적용될 때 성장곡선의 형태를 파악하는 정

도의 유용성만 있을 뿐이다. 넙치양식장의 인공적인 양식조건하에서 양식기간 동안 어떠한 성장곡선의 형태가 나타나는가에 대한 것은 인공적으로 주어지는 양식조건에 달려있다. 자연 상태의 조건에서 나타나는 성장곡선과 통제된 양식조건에서 나타나는 양식장에서의 성장곡선이 서로 어떠한 차이가 있는가 하는 것은 아직까지 연구된 바가 없다. 하지만 단순한 측정구간의 차이에 따른 변화만 고려해서 성장곡선의 형태를 얻을 수는 없을 것으로 생각한다. 왜냐하면 짧은 기간 동안에 양식환경을 통제하고 집중적으로 사료를 먹여 성장하는 경우와 장기간에 걸쳐 자연에서 성장하는 경우 성장에 영향을 미치는 조건들의 변화와 생체적인 변화에 따른 복잡한 관계는 추정하기가 어려울 것으로 생각되기 때문이다. 이상의 이유로 양식장에서의 어류성장함수에 대한 추정 문제는 자료추정의 타당성 문제가 발생할 수밖에 없으므로 이에 대한 검토가 필요하다. 넙치의 경우 대부분 1년 정도의 단기간에 통제된 양식환경에서 양식되므로 육상양식장에서의 넙치의 성장은 기존의 Von Bertalanffy 성장함수로부터 시작된 이론적 성장함수에서 얻어진 함수보다는 양식장 양식환경이 반영된 자료에서 성장함수를 추정하는 것이 변수의 설명력을 높일 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 이러한 측면에서 성장함수에 대한 것을 실증분석하였다.

3. 넙치 양식장 양식밀도와 생산성

밀식의 정도가 양식에 어떤 영향을 미치는가 하는 문제에 대한 연구는 다양한 관점에서 이루어져 왔다. 밀식효과에 대한 주 대상어종은 새우를 대표적으로 들 수 있는데, 실제 양식장 수준에서 연구가 진행된 것도 새우라고 할 수 있다. 밀식의 효과에 대한 기존의 연구는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) <http://www.fao.org/docrep/w5449e/w5449e05.htm>에 성장률 측정에 대한 연구가 잘 정리되어 있음.

Brock(1992)와 LeaMaster(1992)는 고밀도 양식은 질병의 발병률을 높이고, 적절한 양식밀도는 질병 발병률을 낮추므로 양식밀도가 질병발병률의 척도가 될 수 있다고 하였다. Fulks와 Main(1992)는 고밀도 양식이 치명적 질병의 원인이 되는 것은 아니라는 것을 주장하면서 양식장 구조의 크기, 유수 속도 등과 같은 수관리시스템과 같은 양식환경을 통제함으로써 어느 정도 발병률을 낮출 수 있다고 주장하였다. 그러나 이 주장은 적절한 밀식의 범위구간에서 타당하다. 일반적으로 주어진 양식수준 한계를 넘겨 양식을 하게 되면 수질은 나빠지게 되고 양식중량이 늘어날수록 질병의 발병률이 높아지고 성장률은 낮아지게 된다. 즉 주어진 양식장 환경에서 양식어종의 무게총량(biomass)의 한계를 넘겨 양식을 하게 되면 발병률이 높아지고 성장률이 낮아지게 된다. 이와 같이 주어진 양식환경에서 양식어종의 생체무게총량의 한계를 임계양식총량(critical standing crop: CSC)이라고 하는데, 생물학적으로 양식임계총량에 가까우면 양식할수록 성장률이 낮아지므로 이론적으로 밀식은 바람직하지 못하다. Wang과 Leiman(2000)은 새우양식에서 밀식하지 않고 적절하게 양식밀도를 통제함으로써 양식재고통제와 질병처리, 양식사료낭비의 감소, 생존율 모니터링에서의 어려움의 감소, 양식장의 효율적 이용, 잠재적인 생산성의 증가 등이 발생한다고 주장하고 있다. 이러한 기존의 연구들을 정리하여 보면, 양식밀도의 적정구간을 벗어나는 나는 경우 성장률과 생존률이 낮아지고, 어류의 성장률은 양식장의 임계양식총량에 가까워질수록 낮아진다는 것이다.

밀식이 양식장의 어류에 어떠한 영향을 미치는가 하는 문제와 밀식이 양식장의 생산성에 어떤 영향을 미치는가 하는 문제는 엄밀한 의미에서 서로 다르다. 넙치 육상양식장의 효율적 이용에 대한 척도, 즉 양식장의 생산성은 생물적 성장에 관련된 척도와 경제적인 관점에서의 척도로 나누어 생각할 수 있다. 산출/투입의 생산성

에 대한 정의에 따르면 양식장의 생물적 관점의 생산성은 단위기간 동안의 크기 또는 성장률로 생각할 수 있으며, 경제적 관점에서의 생산성은 투입자원의 비용에 따른 매출액이라고 할 수 있을 것이다.

생물적 관점에서의 생산성과 경제적인 관점에서의 생산성의 척도는 서로 다르지만 그 본원적 성격은 어떻게 효율적으로 키워서 높은 가격을 받고 판매할 것인가라고 할 수 있다. 즉 넙치 육상양식장의 생산성은 양식장을 효율적으로 이용하여 양식한 후 최고의 수익을 올리는 것으로 연결되어진다. 수익은 가격과 비용의 차이에 의하여 발생하므로 양식장의 효율적 이용은 투입비용의 감소와 산출물의 가치 향상의 관리적 문제로 바뀌어진다.

넙치 육상양식장의 수익성에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 매출을 결정하는 넙치의 출하가격, 양식넙치의 크기, 단위면적당 출하량이다. 넙치양식장의 출하량은 넙치의 출하평균 중량(크기)과 평당 양식마리수의 곱으로 나타나므로 넙치양식장의 생산성은 양식기간에 따른 평당 양식마리수와 양식에 따른 크기에 의하여 나타나게 된다. 그러므로 양식장의 시설에 따른 자본비용(지대+시설비 등)을 제외한 양식장의 매출이익은 다음의 비용 구조방정식의 형태로 표현할 수 있다.

$$\text{양식장 매출이익/단위면적} = (\text{양식장 매출액} - \text{양식비용}) / \text{양식장 수조면적}$$

$$\text{양식장 매출액/단위면적} = \text{넙치 판매 평균크기} \times \text{양식장 단위면적당 출하량}$$

$$\text{단위면적당 출하량} = \text{넙치 판매 평균크기} \times \text{마리수/단위면적}$$

$$\text{단위면적당 마리수} = \text{단위면적당 치어수} \times \text{출하시의 생존율}$$

$$\text{양식비용} = \text{치어대} + \text{사료비} + \text{인건비} + \text{연료비} + \text{판매비} + \text{기타 잡비}$$

만약 넙치양식장이 동일한 양식조건(온도, 수질, 산소 주입 등)과 생물적 효율(예를 들어 성장

률, 생존율, 사료효율과 출하평균중량)이 일정하다고 가정하여 보자. 넙치양식장의 연간 생산비용은 근사적으로 생산되는 넙치양식장의 생산량의 함수로 나타날 것이다. 왜냐하면 생산량은 사료효율과 사료비 등의 비용과 연관성이 높기 때문이다. 위의 비용방정식에서 주요 비용인 인건비와 연료비는 준변동비적인 성격을 가지고 있고 사료비는 생산량에 따라 변동하는 변동비적인 성격의 비용이라고 할 수 있다.

이러한 매출의 성격과 비용의 성격으로 보아 넙치 양식장의 이용률을 높이는 가장 중요한 요인은 사료효율을 높이고 생존율을 높이는 것이라고 할 수 있다. 왜냐하면 생존율과 사료효율을 높게 되면 사료비용은 줄어들고 성장률이 높아지게 되며, 생존율 증가에 따라 단위 면적당 출하량이 증가하기 때문이다. 이러한 이용률에 대한 제 요소를 고려할 때 이용률에 조작적 변수로 가장 유용한 변수는 출하량/면적, 성장률이라고 할 수 있다.

Ⅲ. 양식밀도와 생산성의 관계에 대한 실증분석

1. 자료의 수집과 분석방법

본 연구에서 분석하고자 하는 넙치의 양식밀도와 생산성에 대한 연구를 연구방법론적으로 타당성 있게 연구를 하고자 할 경우, 양식밀도 외에 양식생산성에 영향을 크게 주는 수온, 사료 등의 변수에 대하여 통제를 하고, 이에 따른 생산성을 측정하여야 한다. 이러한 엄밀한 연구는 실험실수준으로 연구를 한다고 하더라도 특성치인 생산성에 영향을 미치는 인자를 수온, 사료, 밀식정도의 3개로 하는 경우, 삼원배치법으로 실험설계를 하여야 하므로 반복이 없는 경우라고 하더라도 각 인자별 수준의 곱의 숫자만큼의 실험이 필요하기 때문에 이것은 현실적으로 대단히 어려운 문제이다. 실험실 수준에서도 어

려운 문제를 실제 양식장을 대상으로 이러한 연구설계를 한다는 것은 현실적으로나 비용 면에서 불가능한 일이다.

본 연구에서는 국립수산물대학원에서 제주지역의 넙치양식장을 대상으로 하여 2005년에 실태조사한 결과를 이용하여 실증분석을 하고자 한다. 자료가 본 연구를 위하여 수집된 것이 아닌 실태조사 자료이기 때문에 연구의 목적에 맞는 적합한 형태의 자료는 아니지만 분석하고자 하는 목적에는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

연구의 대상인 넙치양식장은 실태조사의 대상 중에서 제주지역의 13개 넙치 양식장이 선정되었다. 이것은 지역적으로 인접한 지역의 양식장을 선정함으로써 양식환경의 차이에 따른 노이즈를 통제하기 위해서이다. 양식장의 생산량은 출하량을 기준으로 하였으며, 출하시기의 성어 크기분포를 이용하여 양식기간에 따른 평균중량에 대한 자료를 추정하였다. 밀식의 정도는 구매한 치어의 수와 생존율 그리고 출하 시기의 성어 평균크기로 추정하였다. 양식장의 수온과 사료에 관한 요인은 현장에서 적절한 자료를 구하기가 어려워 일단은 통제변수로 보고 자료를 분석하였다.

2. 분석결과

1) 성장률의 측정

넙치양식장에서 양식기간이 대부분이 1년 내외인 것을 고려하면 양식기간에 따른 Von Bertalanffy 성장함수 이용은 의미가 없다. 왜냐하면 대부분 양식장이 일년을 주기로 양식하는 것을 고려할 때, 수년을 주기로 양식하는 경우에 적용될 수 있는 성장함수를 사용하는 것은 한계가 있을 수밖에 없기 때문이다. 그러나 이론적 성장함수의 설명력을 검증하기 위하여 이용 자료의 성격에 가장 적용하기 쉬운 Gulland와 Holt(1983)가 제시한 식 (2)의 성장함수를 이용하여 성장함수를 추정하였다.

$$\Delta L/\Delta t = K^*L_{\infty} - K^*L(t) \quad (2)$$

L_{∞}^* : The mean length of old fish

K : curvature parameter

자료의 한계로 인하여 주기를 4개월과 6개월로 가정하고, Gulland and Holt식을 적용한 경우의 결과는 아래와 같다.

- 4개월 주기의 경우

모형		비표준화 계수		표준화 계수		t	유의 확률
		B	표준오차	베타			
1	(상수)	.919	.125			7.372	.001
	기간4	-.014	.003	-.888		-4.321	.008

종속변수 : 성장률

- 6개월 주기인 경우

모형		비표준화 계수		표준화 계수		t	유의 확률
		B	표준오차	베타			
1	(상수)	.931	.181			5.146	.014
	기간6	-.015	.005	-.880		-3.210	.049

종속변수 : 성장률

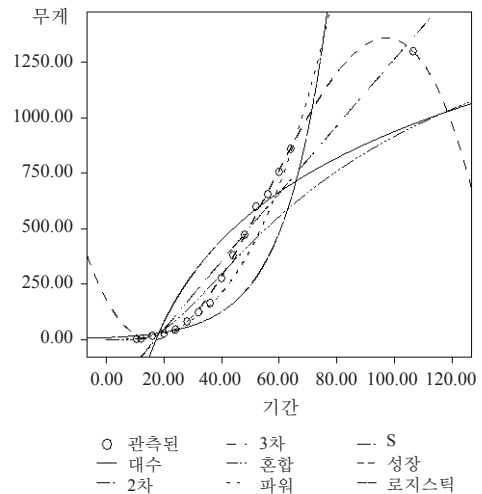
짧은 기간의 양식장의 자료를 이용하여 넙치의 성장률을 추정하는 것은 위의 결과에서 보는 것과 같이 표준화 계수의 값이 0.88 정도의 값을 가지는 것으로 나타났다. 같은 자료를 이용하여 일반적으로 성장률 추정에 가장 많이 이용되고 있는 성장함수와 선형인 경우의 회귀식 그리고 비선형함수로서 가장 R² 값이 높은 함수를 LSM 방법으로 SPSS를 이용하여 찾아보면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1>의 결과를 보면 치어기간을 포함한 2년 동안의 좁은 양식기간 구간에서 넙치의 무게와

양식기간의 관계에 가장 적합한 것은 R² 값이 0.995로 나타난 비선형 함수일 경우의 3차방정 식임을 볼 수 있고, 그 관계식은 다음과 같다.

$$\text{무게}(\text{weight}) = -6.4728 + 1.1576x - .0077x^2 + 1.8E-05x^3$$

<표 1>에서 보면 독립변수인 기간에 따르는 넙치의 성장은 양식기간 범위내에서는 3차함수가 높은 R² 값을 가져 유용한 성장함수 근사식으로 이용이 가능한 것으로 나타났다. 3차함수인 경우의 결과는 Gulland and Holt식을 적용한 결과보다도 높은 R²값을 가지고 유의수준도 높은 것으로 나타나지만, 다음 <그림 1> 그래프 형태로 보면 자료의 범위구간을 벗어나는 경우, 이 함수의 타당성은 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 것으로 미루어 보아 단기간의 범위에서 성장함수를 대상자료의 성격에 맞추어 추정하는 것은 그 타당성이 한정적 범위 구간 안에



<그림 1> 양식기간과 개체 넙치무게와의 관계

<표 1> 성장함수에 적용된 대표적 함수의 결과

무게	적용함수	Rsq	d.f.	F	Sigf	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
기간	선형	.803	16	65.17	.000	11.703	.3403		
기간	3차	.995	14	918.54	.000	-6.4728	1.1576	-.0077	1.8E-05
기간	성장	.604	16	24.39	.000	2.5354	.0129		

서만 인정된다는 것을 의미하며, 또한 이론적 성장함수는 단기간의 자료에 적용하는 경우 그 설명력이 낮다는 것을 의미한다.

2) 양식밀도와 성장률

양식밀도에 따른 성장률을 측정하는 것은 양식밀도를 어떻게 정의하느냐에 따라 결과가 다르게 나타난다는 것은 자명한 일이다. 넙치의 양식밀도를 측정할 때, 단위면적당 무게를 변수로 이용하느냐 넓이를 변수(덮는울=성어 체표면적 넓이/수조면적)로 하느냐 하는 것은 어떠한 변수가 설명력이 높아서 유용한가 하는 문제이다. 두 변수중에 어떠한 변수가 설명변수로서 더 유용한 것인가 하는 것을 알기 위하여 설명변수에 대한 설명력을 분석하였다. 먼저 단위면적당 양식넙치의 무게와 성장률의 관계를 회귀분석한 결과는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2>의 결과를 보면, 설명력을 나타내는 R²의 값이 .00134로 너무 낮을 뿐 아니라 유의수준도 낮아서 성장률에 영향을 미치는 변수가 밀식 이외에 사료나 온도와 같은 변수가 있다는 것을 감안하더라도 설명변수로서 적당하지 않음을 알 수 있다.

덮는울을 설명변수로 채택하기 위해서는 양식장에서 얻은 무게의 자료로는 직접 이용하기

어려우므로 적절한 자료의 변형이 필요하다. 실태조사의 자료 결과(수과원, 2006)에 따르면 넙치성어의 전장과 성어크기 그리고 체표면적과의 관계는 아래와 같이 나타났다.

넙치전장과 체중과의 관계 :

$$Y=0.0121X^{2.9964} (R^2=0.997)$$

Y : 체중 X : 넙치전장

넙치전장과 체표면적과의 관계 :

$$Y=0.2473X^{2.0247} (R^2=0.998)$$

Y : 체표면적 X : 넙치전장

이러한 결과를 이용하여 넙치의 체중을 체표면적으로 환산하여 양식넙치의 체표면적과 성장률의 관계를 선형으로 회귀분석한 결과는 다음과 같다.

<표 3>을 보면 덮는울을 설명변수로 사용하는 것이 체중을 사용하는 것보다 훨씬 높은 설명력을 보인다는 것을 알 수 있다. 하지만 체표면적만으로 성장률을 설명하기에는 R²=.04520로 너무 낮은 것을 알 수 있다. 체표면적과 성장률의 관계가 가장 높은 경우는 선형의 관계가 아니고 <표 4>에서와 같이 이차적관계인 경우로 분석되었다.

<표 4> 자료로 보면 이차관계함수의 경우가

<표 2> 단위면적당 무게에 따른 성장률

성장률/기간	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	.011607	.002442		4.752	.0006
무게/단위면적	.003839	.031557	.036654	.122	.9054

R=.03665 R²=.00134 Adj R²= -.08944 F=.01480 Signif F=.9054

<표 3> 단위면적당 체표면적(덮는울)에 따른 성장률

성장률/기간	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	.013548	.012767		5.857	.0001
무게/단위면적	-.002352	.003259	-.212610	-.722	.4856

R=.21261 R²=.04520 Adj R²= -.04160 F=.52077 Signif F=.4856

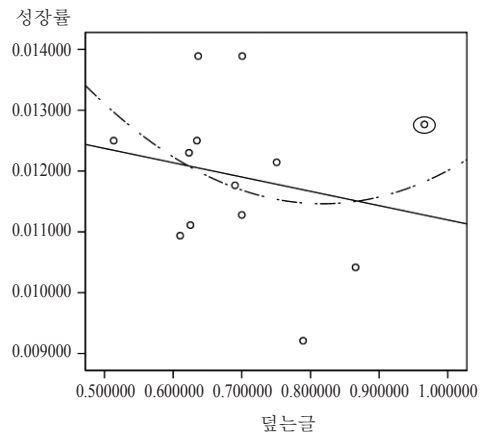
더 설명력이 높은 것으로 나타났지만 이를 그대로 나온 것으로 채택하기에는 문제가 있다. 왜냐하면 회귀분석에서 내부 타당성을 생각해보면, 선형의 경우는 일정범위구간 내에서 덮는올에 따른 성장률의 선형적 감소는 덮는올에 따라 성장률이 낮아진다는 이론적 구조에 따른 내용적 타당성이 있는 것으로 생각될 수 있지만, 체표면적과 성장률의 관계가 이차적 관계로 나타난다는 것은 아래 <그림 2>에서와 같이 덮는올이 일정구간을 벗어나면 성장률이 높아진다는 것을 의미하므로 내용적 타당성이 낮다고 판단된다.

이상의 분석결과로 보아 양식밀도가 높은 경우에 양식넙치는 생물적인 스트레스를 받게 되어 성장률이 낮아진다는 이론적 가정에서 보면, 넙치의 생태적 특성이 저작성 어종인 것을 고려할 때, 단위면적당 넓이가 설명변수로서 더욱 적절할 것으로 생각되어 진다.

변수들 간의 관계에 대한 설명력을 높이기 위하여 <그림 2>에서 제일 오른쪽에 0로 표시한 자료를 극단적 값의 오류로 생각하고 해당 자료를 제외한 후 변수들 간의 관계를 분석한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5>의 결과를 보면 덮는올에 따른 성장률에 대한 설명력 즉 R²값이 선형인 경우 0.459로 매우 높게 나타남을 볼 수 있다. 이러한 자료의

성격에서 보면 성장률이 덮는올 외에 수온이나 사료의 영향을 받는다고 할 경우 이 자료만으로 판단이 불가능하다. 하지만 수온의 경우에는 적정기준범위 구간에서 온도가 높으면 성장률이 높고 온도가 낮으면 성장률이 낮아지는 것이 가능하므로 온도를 고려하지 않은 경우의 종속변수는 산포가 위 아래로 나뉘어져 나올 수 있다. 이러한 성격은 <그림 2>의 자료 플로팅에서 나타나고 있음을 살펴볼 수 있다. 그러나 주어진 자료만으로는 <그림 2>에서 0한 자료가 다른 변수(예를 들면 수온, 사료)에 따른 의미 있는 값일 가능성이 있으므로 제외하기가 어렵다. 원자료



<그림 2> 덮는올과 성장률과의 관계

<표 4> 단위면적당 체표면적에 따른 성장률(QUADRATIC Fn)

성장률/기간	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	.022366	.012767		1.752	.1103
체표면적/단위면적	.016326	.023226	2.209786	.703	.4981
(체표면적/단위면적) ²	-.026684	.034776	-2.412201	-.767	.4606

R=.30026 R²=.09016 Adj R²=-.09181 F=.49546 Signif F=.6235

<표 5> 덮는올에 따른 성장률

성장률	적용함수	Rsqr	d.f	F	sigf	b ₀	b ₁	b ₂
덮는올	선형	.459	10	8.48	.015	1.0291	-.3466	
덮는올	이차	.460	9	3.83	.063	.9338	-.0907	-.1668
덮는올	성장	.475	10	9.05	.013	.0700	-.4475	

만으로 분석할 경우 <표 3>의 자료에서 나타난 결과로는 유의성이 $F=0.4856$ 으로 너무 낮아 통계적으로 밀식이 성장률에 영향을 미친다고 결정할 수는 없다. 원자료가 가진 한계를 고려하고 유의한 결과를 얻기 위하여 각 양식장의 자료를 밀식에 따른 기대되는 성장률을 크기순으로 하여 spearman rank corr. coeff. test를 실시하였다.

spearman rank corr. coeff. : rs

$$rs = (A + B - \sum d^2) / 2(AB)^{1/2}$$

$$A = 1/12((N^3 - N) - \sum(t^3 - t))$$

t=첫 변수에서 같은 값의 수

B=두 번째 변수에 같은 식이 적용되는 경우

d=첫 번째 변수와 두 번째 변수와의 차이

순위검정에 따른 덮는율에 따른 성장률의 spearman rank corr. coeff. 값은 $0.6476(p=0.05)$ 으로 나타났다. 이 결과는 덮는율과 성장률은 관계가 상당히 높다는 것을 보여 주며 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. <그림 2>와 <표 3> 및 <표 4>의 자료를 종합하여 분석하여 보면, 자료의 분포를 가정하지 않는 경우, 2σ 위에 전체자료의 75% 자료가 포함되므로 이 범위를 관리구간으로 설정할 경우 생산성 변동률은 0.0105에서

0.0130으로 나타난다²⁾. 즉 밀식에 따른 성장률의 감소는 덮는율 0.5에서 0.9 구간 범위에서 다른 양식조건과 연결되어 영향력이 커지게 되면 대략 30% 정도까지도 나타날 수 있을 것으로 잠정적인 결론을 내릴 수 있다.

넙치 양식장에서 밀식을 하는 이유 중에 가장 큰 이유로 생각할 수 있는 것은 양식장의 생산성을 높이기 위한 것이다. 양식장의 생산성은 밀식과 관련하여 생각해 볼 때, 같은 노력과 비용이 든다면 평당 출하량이 높은 경우가 생산성이 높다고 생각할 수 있기 때문에 밀식을 하는 것이다. 만약 시설 자본 생산성을 높이기 위해 밀식을 하는 경우에는 자본비용의 증가분과 성장률에 따른 산출액의 증가분이 비교되어야 할 것이다. 여기서 이 부분에 대한 것은 자료의 한계로 말미암아 분석이 불가능하다. 다만 이에 대한 분석 중 가장 중요한 전제인 밀식에 따른 평당 출하량의 증가가 과연 있는가 하는 점이다. 이는 밀식에 따른 평당 출하량을 분석하여 살펴볼 수 있다.

<표 6>과 <표 7>은 덮는율에 따른 평당 출하량을 선형관계와 이차적 관계로 분석한 것이다. 덮는율에 따른 평당 출하량은 선형인 경우, R^2

<표 6> 단위면적당 체표면적(덮는율)에 따른 평당 출하량(Lin Fn)

출하량/면적	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	.083850	.022490		3.728	.0033
체표면적/단위면적	-.010579	.031687	-.100160	-.334	.7448

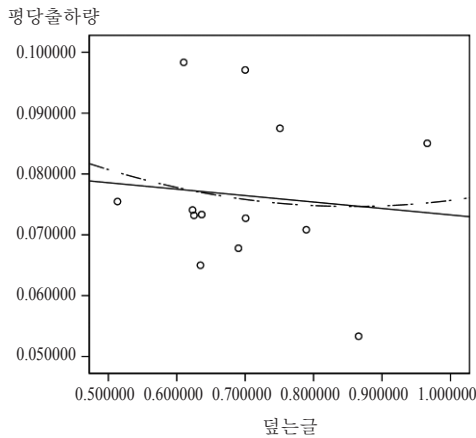
$R=.10016$ $R^2=.01003$ $Adj R^2=-.07997$ $F=.11147$ $Signif F=.7448$

<표 7> 단위면적당 체표면적(덮는율)에 따른 평당 출하량(QUADRATIC Fn)

출하량/면적	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	.109773	.126878		.865	.4072
체표면적/단위면적	.047994	.230823	.680363	.208	.8395
(체표면적/단위면적) ²	-.082110	.345616	-.777384	-.238	.8170

$R=.11956$ $R^2=.01429$ $Adj R^2=-.18285$ $F=.07250$ $Signif F=.9305$

2) 이 값은 chebyshev 정리에 의한 값이다. 일반적으로 관리도에서 관리의 범위를 2σ 하는 것이 일반적이다.



〈그림 3〉 덮는율과 평당 출하량과의 관계

= .01003으로, 이차함수인 경우 $R^2 = .01429$ 로 이차함수인 경우가 조금 더 설명력이 높은 것으로 나왔지만, 그 값의 차이는 너무 작고 그 값도 유의적이지 못한 것으로 나타나고 있다. 이러한 자료에 따르면 밀식과 평당 출하량의 관계는 극히 작은 부(-)의 관계이고 그 값은 통계적으로 유의하지 못하다. 그러나 이것을 앞에서와 마찬가지로 비모수 통계 spearman rank corr. coeff. test를 하여 보면 spearman rank corr. coeff. 값은 $rs = 0.8091(p = 0.01)$ 로 나타나 매우 높은 값을 보이고 있다. 이러한 결과를 보면 범위 구간 내에서 밀식의 정도가 낮은 경우가 평당 출하량이 더 크다고 결론을 내릴 수 있다.

이러한 결과는 비율척도로는 통계적으로 검정이 되지 아니하지만 서열척도로는 밀식이 성장률에도 부정적인 영향을 미치고 평당 출하량에도 부(-)의 효과가 있다는 것으로 해석할 수 있다.

IV. 결론 및 연구한계

본 연구는 양식어업 중 넙치양식어업의 육상수조식 양식장의 밀식에 따른 생산성을 분석하였다. 특히 본 연구에서는 우리나라 넙치 육상양식장 중에서 가장 생산량이 많은 제주도의 넙치

양식장을 대상으로 넙치양식장의 밀식양식을 추정하여 밀식 양식에 따른 생산성을 살펴보았다.

대상 자료에 대하여 분석한 것에 따르면, 넙치양식장의 덮는율은 0.5에서 1 정도인 것으로 나타났다. 대상양식장의 대부분이 0.6에서 0.9 정도의 덮는율로 양식하고 있음을 알 수 있었다. 실제의 넙치양식장에서 보면 넙치가 부분적으로 두층 내지 세층으로도 있는 것을 보면 넙치양식밀도의 범위는 상당히 넓은 구간인 것으로 생각할 수 있다.

넙치양식의 경우 밀식의 정도는 단위면적당 개체수나 무게보다는 덮는율이 더 설명력이 높은 변수로 분석되었다. 이는 밀식의 정도가 정도 이상으로 높아질 때 성장에 영향을 준다는 기존 이론적 배경에서 볼 때 저착성 어종인 넙치는 덮는율이 더 의미가 있다는 것을 의미한다.

넙치의 성장에 대한 분석은 자연 생태계의 성장함수보다는 성장환경이 통제된 양식장의 경우에는 적절한 성장함수를 도출하여 분석하는 것이 더 의미가 있는 것으로 분석되었다. 이것의 의미는 자연생태계의 환경이 양식장의 환경과 사료와 수온 등의 양식환경 측면에서 매우 다르다는 것을 고려할 때 매우 타당한 것으로 생각되어진다.

생산성은 성장률/기간과 출하량/단위면적 두 개의 값을 분석하였다. 비율척도로 회귀분석한 결과를 보면 두 변수가 다 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 아니하였다. 그러나 순위검정에서는 두 변수가 다 매우 의미있는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 넙치 육상양식에서 밀식이 양식생산에 부(-)의 영향을 미치지만 그 정도에 대해서는 결론을 내리기가 어렵다는 것을 의미한다. 대상 양식장의 자료에 대하여 이러한 분석의 결과는 양식에서 중요한 변수인 사료와 수온에 대한 분석이 같이 이루어지지 않은 이유라고 생각된다.

본 연구는 밀식이 성장에 영향을 미치고 종국적으로는 양식장의 생산성에 영향을 미친다는

기존의 주장에 대하여 어느 정도 타당성이 있는가 하는 검토의 관점에서 이루어졌다. 기존의 밀식에 대한 연구는 대부분 실험실 수준에서 이루어진 연구였기 때문에 연구의 내적 타당성은 확보되었지만 외부적 타당성은 부족하였다. 그러나 본 연구는 실제 양식장의 자료를 가지고 분석하였다는 점에서 즉 외부적 타당성을 가진다는 점에서 큰 의미가 있다. 하지만 본 연구도 자료의 한계로 인하여 연구의 결론 도출에 한계가 있었다. 이것은 대상 양식장에 대한 자료 수집의 한계와 모형구성에서의 한계라고 생각할 수 있다. 향후 온도와 사료 그리고 양식방법에 대한 변수를 측정하고 모형에서 분석하는 방법을 개발한다면 이러한 연구는 문제에 대한 이해와 설명력을 높이는 데 유익할 것으로 생각한다.

참고문헌

- 국립수산과학원, 넙치양식 표준지침서, 2006. 4.
- 박성현, 통계적 품질관리, 대영사, 1985. 3.
- 박영병 · 어윤양, 넙치양식의 경제성 분석, 국립수산과학원, 2005. 12.
- 어윤양 · 박영병, “우리나라 넙치양식 기술형태별 분석”, 수산경영론집, 제28권 제2호, 2007. 6, pp.106 – 119.
- 황진욱 · 김도훈, “넙치 배합사료 및 생사료의 경제성 비교분석”, 수산경영론집, 제40권 제3호, 2009. 12, pp.189 – 205.
- 황진욱 · 이승우 · 류정곤, “넙치양식업의 경영실태와 경쟁력 제고방안 연구”, 국립수산진흥원 연구보고, 제53호, 1997. 6, pp.171 – 191.
- 어류양식현황조사(<http://fsfips.go.kr/fc/main.jsp>)
- Brock, J. A. “Current Diagnostic Methods for Agent and Diseases of Farmed Marine Shrimp” In: Fulks, W. & K. L. Main(Eds), *Diseases of cultured Penaeid Shrimp In asia and the United States*. The Oceanic Institute, HI, 1992, pp.209 – 232.
- Cerrato, R. M. “Interpretable Statistical Tests for Growth Comparisons Using Parameters in Von Bertalanffy Equation,” *J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 47, 1990, pp.1416 – 1426.
- Daniel, W. W., *Applied Nonparametric Statistics*, Houghton Mifflin Co., Boston, 1978.
- Fulks, W. & K. L. Main(Eds), *Diseases of cultured Penaeid Shrimp In asia and the United States*. The Oceanic Institute, HI, 1992, pp.209 – 232.
- Jaw-Kai Wang & Junghans Leiman, “Optimizing Multi-stage Shrimp Production Systems,” *Aquacultural Engineering*, Vol. 22, 2000, pp.243 – 254.
- Kirkwood, G. P. “Estimation of Von Bertalanffy Growth Curve Parameters Using Both Length Increment and Age-length Data,” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 40, 1983, pp.1405 – 1411.
- Kleinbaum, D. G., Kupper L. L. and K. E. Muller, *Applied Regression Analysis and other Multivariable Methods*, PWS-KENT, Boston, 1988.
- Main(Eds), *Diseases of cultured Penaeid Shrimp In asia and the United States*. The Oceanic Institute, HI, 1992, pp.345 – 356.
- Schnute, J. T. & L. J. Richards, “A Unified Approach to the Analysis of Fish Growth, Maturity, and Survivorship Data,” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 47, 1990, pp.24 – 40.
- <http://www.fao.org/docrep/w5449e/w5449e05.htm>