

## 양식선별효과에 관한 연구<sup>†</sup>

어윤양\* · 송동호

부경대학교 경영학부

### A Study on the Sorting Effect in Aquafarm

Youn-Yang EH\* and Dong-Hyo Song

*Division of Business Administration, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea*

#### Abstract

Overstock in aquaculture is a matter of concern in aquaculture management. To sort fish based on fingerling size in case of overstocking is an important problem in aquaculture farm.

This study aims to determine the amount of fry overstock and sorting time in aquaculture farm. This study builds a mathematical model that finds the value of decision variables to optimize objective function summing up the fingerling purchasing cost, aquaculture farm operating cost and feeding cost under mortality and farming period constraints.

The proposed mathematical model involves following biological and economical variables and coefficients: (1) number of fingerlings, (2) sorting time, (3) fish growth rate and variation, (4) mortality, (5) price of a fry (6) feeding cost, and (7) possible sorting periods. Numerical simulation is presented herein. The objective of numerical simulation is to provide decision makers to analyse and comprehend the proposed model. When extensive biological data about growth function of fry becomes available, the proposed model can be widely applicable to real aquaculture farms.

Keywords : Aquaculture management, Overstocking, Sorting effect, Mortality, Growth function of fish

#### I. 연구의 배경

양식업의 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 생존율과 성장률이다. 생존율과 성장률은 양식경영에 있어 가장 중요한 문제이지만 이 변수의 성격은 관리적 관점에서는 서로 다르다. 양식기간에 동안에 양식대상의 성장이 소망하는 수준만큼 되지 않는 경우 즉, 성장률이 낮은 경우는 양식기간 증가 또는 출하제품의 가격 하락에 따른 비용(이익)의 증가(감소)로 나타난다. 그러나 생존율이 낮아지면 투

Received 28 August 2018 / Received in revised form 1 October 2018 / Accepted 2 October 2018

<sup>†</sup> 이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding author : +85-51-629-5723, ehyy@pknu.ac.kr

입된 비용은 매몰비용이 되고 이것은 이익기회의 상실로 나타난다. 그러므로 생존율은 양식어업에 가장 중요한 변수라고 할 수 있다. 양식업에서는 생존율과 성장률의 변동을 관리하기 위하여 대부분의 경우 양식초기에 양식장의 한정된 규모에서 양식할 수 있는 양식수준(마리 수)보다 많이 입식하여 양식하는 것이 일반적이다. 양식어업 현장에서 이러한 밀식양식을 하는 경우가 대부분임에도 불구하고 이러한 행위에 대한 의사결정 관점에서의 체계적 분석은 이루어지지 않고 밀식에 따른 경제적 성과 분석이 주로 이루어졌다(어윤양, 2011). 밀식양식에 대한 현장 실태는 다음과 같은 의문을 가지게 한다. 밀식양식이 과연 생물학적, 경제적으로 타당한 것인가? 만약 타당하다면 어느 정도 하는 것이 적정한가? 밀식 양식에 대한 적절한 관리 기준은 설정할 수 있을 것인가? 이와 같은 문제에 대하여 본 연구에서는 의사결정의 관점에서 밀식에 대한 행동방식을 분석적 방법으로 살펴보고 이에 대한 행동 비용방정식을 구축하여 밀식에 따른 합리적 의사결정 방법에 대한 분석을 하고자 한다.

기존 양식경영의 논문을 보면 밀식에 대한 논문은 다수 있었지만 대부분의 연구가 밀식의 효과에 대한 논문과 밀식에 따른 생존율에 대한 분석이 연구의 대부분이었으며 밀식양식에 대한 관리적 접근의 논문은 아직까지 연구되지 않았다(Bjórndal, T., Lane, D. E. & Weintraub, A. 2004). 이러한 이유는 다음과 같이 생각하여 볼 수 있다.

첫째, 양식어업의 경우 시설물의 이용률, 양식 환경, 생존율, 성장률, 의사결정자의 위험에 대한 선호, 밀식에 따른 경제성 문제를 동시에 고려하는 규범적 모형을 구축하기 어렵기 때문이다(I. Seginer, 2009). 이것은 관련 연구자들이 적음에도 그 이유가 있다고 생각된다.

둘째, 양식공학 분야에서 이루어진 밀식에 대한 연구는 양식밀도와 양식 환경과의 관계 즉 생물학적 문제에 초점을 맞추어 연구가 주로 진행되었기 때문이다. 이 분야의 기존 연구를 보면 생물환경변수와 생존율에 따른 생산량과의 관계에 대한 연구(Ruiz-Velazco, 2013), 양식밀도와 생존율에 관한 연구(Diaz-Martinez, J. P. et al., 2015) 등을 볼 수 있다. 그러나 이러한 논문은 생물적 연구에만 초점을 맞추고 있고 관리적 노력에 따른 분석은 하지 않고 있음을 볼 수 있다.

셋째, 밀식 문제의 중요성은 인식하고 있지만, 양식의 최종 목표가 생존율, 성장률 등의 생물적 변수가 양식수익성을 위한 매개적 변수임에도 불구하고 의사결정의 관점에서 수익성과 연계된 매개변수 분석을 하지 않았다는 접근상의 문제(어윤양, 2011)라고 생각할 수 있다.

본 연구는 양식업을 영위하는 양식어업인의 의사결정 선호와 관련된 밀식에 따른 경제적 요인과 생존율, 성장률과 같은 생물적 요인을 고려한 밀식양식에 대한 의사결정을 분석적으로 살펴보고 적절한 밀식수준에 대한 행동비용모형을 구축하여 보고자 한다. 제시된 이론적 모형의 수치 사례모형을 구축하고 수치분석을 통하여 제시된 모형의 현실 적용가능성을 살펴보고자 한다.

본 연구의 구체적 연구목표는 다음과 같다.

첫째, 밀식양식과 관련된 비용 요인과 생물적 요인을 분석하고 이 변수들의 관계를 분석적 방법으로 분석하고자 한다.

둘째, 이들 분석된 요인들의 관계를 이용하여 밀식양식을 하는 경우의 밀식 수준과 관련된 의사결정 모형을 구축하고자 한다.

셋째, 제시된 모형을 기초로 하여 사례 수치모형을 구축하고 수치모형의 시뮬레이션 결과를 통하여 제시된 모형의 의미와 그 특성을 분석하고자 한다.

이러한 연구의 결과는 밀식에 대한 분석적 틀을 제공할 수 있을 것으로 생각한다. 또한 양식 의사

결정에 유용하게 이용될 수 있을 뿐만 아니라 양식방법에 따른 양식결과를 예측하고자 하는 의사결정자에게 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. I 장에 이어 II 장에서는 밀식양식을 하는 경우 밀식수준에 따른 의사결정을 분석하여 이에 따른 개념적 모형을 구축하고 III 장에서는 앞에서 제시된 개념적 모형에 따른 수치모형을 구축하고 제시된 모형의 수치결과를 제시하였다. IV 장에서는 제시된 모형의 특성과 한계점 그리고 앞으로의 연구에 대하여 언급하였다.

## II. 모형의 설정

### 1. 의사결정 문제의 개념적 성격

의사결정자로서의 양식업자가 한정된 양식시설에서 양식을 할 때 목표는 수익성을 최대화 하는 것이다. 양식업자가 수익성을 최대화 하고자 할 때 수익성의 실현에 영향을 미치는 변수는 양식어종의 판매가격, 양식비용을 들 수 있다. 판매가격과 양식비용에 영향을 미치는 변수는 양식 어종의 크기와 사료비, 운영비, 치어비, 인건비, 약품비 등 과 같은 비용항목 등에 의하여 결정된다. 이러한 경제적 변수에 가장 직접적인 영향을 미치는 생물적 변수는 생존율과 성장률이라고 할 수 있다. 그러므로 생존율과 성장률은 가장 중요한 매개적 변수이다(어운양, 2014; 2015; 2016). 그러나 이 두 변수는 양식기간 동안에 일정하게 유지 관리할 수 있는 관리변수가 아니라 불확실성이 큰 변수이다. 생존율은 성장률보다 위험이 높고 관리의 실패가 발생할 경우 양식업의 수익성에 치명적이다. 때문에 양식업자는 이러한 위험과 불확실성을 줄이기 위한 방법으로 밀식 양식을 하게 된다. 밀식 양식은 의사결정자의 수익(비용), 성장률, 생존율에 대한 의사결정 중요도 선호에 따라 다음과 같은 3단계로 나누어 생각하여 볼 수 있다.

첫 단계는 입식단계밀식이다. 이 입식단계밀식은 양식어종을 판매한다는 가정할 때 양식비용과 판매수익이 같게 되는 손익분기점까지 양식기간이다. 이 시기에 포함되는 중요 비용은 치어비용, 양식기간에 따른 운영비용(인건비, 전력비 등과 같은 기간에 따른 변동비용), 선별에 따른 비용(선별비용은 선별 횟수에 따라서 나타나는 고정비용) 그리고 사료비용 등을 들 수 있다. 양식업자의 관점에서는 이 기간을 지나 양식을 하면 비용보다 수익이 더 빠르게 증가하므로 이점은 양식기간 손익분기점이라고 할 수 있다(이하에서는 ‘양식기간 손익분기점’이라고 표기함). 치어를 구입하는 단계에서는 추정된 성장률과 생존율만으로 의사 결정을 하므로 손익기간 분기점 마리수를 고려하여 의사결정을 하여야 하고 성장률과 생존율의 위험을 줄이기 위한 방법으로 선별을 이용하는 것이다. 그러므로 입식단계밀식 의사결정문제는 어느 정도 치어를 구입하고 어느 시기에 선별하여 양식할 것인가이다. 이 단계에서 양식기간 단축을 위하여 선별이 이루어지므로 입식밀식단계에서 의사결정자의 관리 관심은 성장률과 비용통제라고 할 수 있다.

두 번째 단계는 성장단계밀식이다. 이 성장단계밀식은 양식기간 손익분기점에서 양식장의 임계양식한계(critical standing corp : CSC)가 될 때까지의 기간이다. 양식기간 손익분기점에서 양식업자가 고려하는 것은 이후의 양식을 어느 정도 양식 어류의 크기와 수를 가져가야 할 것인가를 결정하는 것이다. 이 결정은 이 시점 이후의 생존율과 양식시설의 한계 그리고 중간 육성단계에서 선별을 통한 판매량을 고려하여 결정하게 된다. 이 단계의 양식수량은 생존율과 최종 판매 성어기준의 임계양식한계

(CSC)만을 고려한 순수 양식전략을 시행할 때의 양식수량보다는 당연히 크다. 이 성장단계밀식에서 의사결정자의 관리 관심은 성장률과 생존율 이익실현시기 등이라고 할 수 있다.

세 번째 단계는 판매단계 밀식이다. 이 단계는 양식 어류가 성장하여 양식장의 양식한계를 즉 임계 양식 총량(critical standing corp: CSC)을 초과하였음에도 불구하고 추가이익을 얻기 위하여 밀식을 하는 경우이다. 이 경우는 위험이 매우 크지만, 생존율을 유지할 경우 한정된 자원을 이용하여 초과 이익을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이 판매단계밀식에서 의사결정자의 관리 관심은 이익실현시기 생존율 등이라고 할 수 있다.

첫 단계와 두 번째 단계는 임계 양식 총량(CSC) 범위 안에서 양식하므로 엄밀한 의미에서 밀식양식이라고 할 수 없지만, 양식장의 양식능력보다 많은 치어를 입식하고 양식한다는 점에서 밀식의 한 유형이라고 생각할 수 있다. 현장에서는 대부분 입식단계밀식이 이루어지며, 양식어업인은 생존율과 성장률을 고려하여 성장률이 낮은 양식개체는 선별작업을 통하여 폐기하거나 별도 관리를 하게 된다. 이익을 최대화 하고자 하는 양식어업인은 밀식과정에서 어떠한 의사결정을 하게 되는가를 논리적으로 생각하여 보면 다음과 같은 의사결정행동을 유추하여 볼 수 있다.

첫째, 초기 입식 수량은 생존율과 성장률을 고려하여 판매 가능한 크기만큼 양식한다고 가정하였을 때 판매단계의 임계 양식 총량보다 많게 결정한다.

둘째, 입식단계 밀식 중 선별작업은 양식성장률이 낮은 개체를 구분하기 위하여 행하여지며, 이는 한정된 양식시설의 이용과 양식 성장률이 낮은 개체의 양식비용(사료비와 운영비)과 치어비용과의 trade off 관계에 의하여 이루어진다.

셋째, 생존율에 대한 기대는 양식업자에 따라 다르며, 양식업자의 생존율 기대수준에 따라 선별의 수준(폐기 또는 별도 관리되는 양)은 달라진다.

넷째, 입식단계 선별은 비용의 관점에서 이루어진다. 그러나 양식어종의 성장 크기가 시장에서 원가를 상회할 수준만큼 자란 이후에는 선별에 따른 물량의 판매 수익과 계속적 양식을 하는 경우의 생존율과 성장률을 고려하였을 경우 수익과의 가능성의 정도에 따라 이루어진다.

다섯째, 양식업자는 주어진 양식 환경에서 생존율과 성장률을 최대화하기 위한 양식을 하며 양식비용은 최소화하기 위하여 의사결정한다.

양식업자가 이익최대화를 위하여 이상과 같은 의사결정을 한다면 양식업자의 선별 의사결정은 양식어종이 성장하여 양식비용에 상당하는 크기가 되기 전과 된 후 간에는 의사결정에서 고려하는 내용이 뚜렷하게 구분된다. 즉, 양식어종의 크기가 양식비용을 초과하는 경우 선별은 이익을 획득하는 방법에 대한 의사결정 즉, 향후 생존율과 성장률을 고려하였을 때 이익을 최대화하기 위한 의사결정이다. 양식비용에 도달하지 못한 경우의 선별은 성장률과 생존율을 고려하였을 때 관련 비용을 최소화 하고자 하는 관점에서 이루어진다. 본 연구에서는 양식어종의 크기가 양식비용을 초과하기 전에 이루어지는 의사결정의 성격을 분석하고 의사결정을 위한 모형을 구축하여 보고자 한다.

## 2. 개념적 모형의 구축

### 1) 모형의 가정

어느 정도 치어를 구입하여 어느 시기에 선별하여 양식하느냐에 따른 의사결정에 기준 점은 앞에서

살펴본 바와 같이 양식어종의 크기가 어느 정도가 될 때 양식기간 손익분기가 되는 가에 있다. 양식기간 손익분기점에서 양식업자의 미래 기대수준을 고려한 양식 마리 수를 ‘손익분기점 마리 수’라고 하면 이 값은 양식손익분기점 이전의 선별작업 기준 값이 된다. 치어를 구입하는 단계에서는 추정된 성장률과 생존율만으로 의사 결정을 하므로 선별 후의 양식기간 손익분기점 마리수를 고려하여 의사 결정을 하여야 하고 성장률과 생존율의 위험을 줄이기 위한 방법으로 선별을 이용하는 것이다. 입식 단계 밀식에서의 선별 의사결정에 영향을 미치는 것은 선별을 통한 성장률의 변화와 선별과 연관되어 발생하는 비용 문제이다. 본 연구에서는 앞 절에서 논의한 의사결정자의 합리적 의사결정에 따른 조건을 고려하여 이론적 모형을 구축하여 보고자 한다. 이것은 양식 환경과 생물변수 의사결정자 그리고 비용요소 사이에 존재하는 관계를 단순화하기 위한 모형설정에서의 가정이라고 할 수 있다.

양식장에서 최대한 생존율을 높이는 것으로 양식을 한다고 가정하면 생존율은 시간에 따른 함수로 나타난다. 이 경우 시간에 따른 생존율의 확률밀도함수(p.d.f.)는 다음 식 (1)과 같은 지수분포의 일반적인 확률분포함수로 볼 수 있는 와이블 분포로 나타난다(Wee and Law, 1999).

$$\alpha\beta t^{\beta-1}e^{-\alpha t(\beta)} : \text{two-parameter Weibull distribution} \tag{1}$$

$\alpha$  : scale parameter  $\alpha > 0$

$\beta$  : shape parameter

시간에 따른 생존율 변화에 적용되는 와이블 분포는 기존 연구(Ruiz-Velazco et al., 2013)에서 다음과 같은 부의 지수분포 형태로 이용되었다.

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-z t} \tag{2}$$

여기서

$N(0)$  : 초기 개체 수

$$z(\text{순간 사망률, instantaneous mortality rate}) : \frac{\ln(n_t/n_0)}{t}$$

$n_t$  : 기간  $t$ 에서의 생존 개체 수

생존율은 성장률과는 임계 양식 총량에 도달하기 전에는 서로 독립적인 관계로 볼 수 있으므로 양식기간 손익분기점 전 기간에는 서로 독립적인 관계라고 할 수 있다.

기존연구 황진욱·김도훈(2009), 어윤양(2011)에서 보면 성장률은 양식조건, 사료효율, 품종의 특성, 밀식의 정도 등에 의하여 영향을 받는다. 양식장에서 가정한 바와 같이 최대한 성장률을 높이는 것으로 양식하였다는 것을 가정하는 경우 성장률은 시간에 따른 함수로 식 (3)과 같은 표현이 가능하다.

$$w(t) = f(t) \tag{3}$$

어류의 성장함수는 체장이나 체중 등을 이용하는데 이들은 대부분의 경우 시간에 따른, s형태의 비선형함수로 나타난다. 그런데 선별을 하는 경우 선별 전과 선별 후의 성장함수는 변하게 된다. 왜냐하면 개별 양식대상의 성장률은 변하지 않으나 성장에 따른 변수를 평균값을 대용하여 사용하므로 선별을 하는 경우 성장이 늦은 대상은 분리되고 이에 따라 선별 후에는 평균값이 커지게 된다. 즉, 선별의 영향은 대상어종의 무게분포가 있다고 하면, 선별에 따른 비율만큼 분포의 왼쪽 면적이 줄어들게 되고 이 면적만큼 평균값도 이동하게 된다. 문제는 선별의 정확성에 관한 문제이다. 대부분 선별 작업을 하는 경우 너무 어릴 때하면 정확도가 낮아지고 어느 정도 큰 후에 정확도는 높아지지만, 이 경우에는 양식기간이 증가함에 따라 비용이 더 발생하게 된다. 그러므로 선별시기의 선택은 선별 정확도와 관련된 문제라고 할 수 있다. 성장률과 사료효율은 밀접한 관계가 있으므로 선별 시기는 사료비용과 관계를 가진다. 사료효율의 지표는 사료중량 전환비율(feed conversion ratio:FCR)이 이용되는 데 사료비용은 양식개체의 시간에 따른 무게에 비례한다.

이상과 같은 성장률과 생존율에 대한 가정에 의사결정모형을 단순화하기 위하여 다음과 같은 가정을 하고자 한다.

첫째, 치어주문 및 치어선별과 관련된 양식장 비용요소는 사료비용, 치어비용, 양식장 운용비용, 주문비용, 선별비용 등을 들 수 있다. 사료비용은 생존율과 성장률의 변동에 의하여 변한다.

둘째, 사료효율은 사료중량 전환비율에 의하여 생체중량의 함수로 표현이 된다.

셋째, 치어생체중량의 분포는 임의의 분포가 있으며 무게평균은 분포의 기댓값과 같다.

이상과 같은 가정아래 모형구축에 사용되는 변수와 첨자는 다음과 같이 정의한다.

$N(t)$  : 양식기간  $t$ 에서 수조면적내의 양식어류 개체 수

$N_s(t)$  : 선별을 고려하여 추가 구입하는 개체 수

$N_o(t)$  : 선별을 하지 않을 경우 구입하는 개체 수

$w(t)$  : 양식기간  $t$ 에서 양식 어류 개체 무게의 평균(g(time)/single fish)

$\mu(t)$  : 양식기간  $t$ 에서 양식 어류 개체 무게 분포에 따른 평균

$\sigma(t)$  : 양식기간  $t$ 에서 양식 어류 개체 무게의 표준편차

$W(t)$  : 양식기간  $t$ 에서 양식수조면적 내 양식어류 전체의 무게(g/fish[pool])

$W_{csc}$  : 개별 수조(면적)의 임계 양식 총량(CSC)

$C_{op}$  : 양식기간에 따른 단위기간 당 비용

$C_{se}$  : 선별에 따른 비용

$C_{op}(t)$  : 양식기간  $t$ 에 따른 운영비용

$C_f$  : 치어 가격/마리

$C_f(t)$  : 시간  $t$ 에서의 치어 가격/마리

$C_F(t)$  : 시간  $t$ 에서의 치어구매 총비용

$Cf(t)$  : 양식기간  $t$ 에서의 개체 사료비용

$CF(t)$  : 양식기간  $t$ 에서의 양식 사료비용

$C_{f_{cr}}$  : 사료중량 전환비율(FCR)에 따른 양식개체 단위 무게 당 사료비용

$C_m$  : 단위 기간 수조유지비용

$C_M(t)$  : 시간  $t$ 까지의 수조 유지비용

$t$  : 선별 시간

$t_{sa}$  : 선별 작업 후의 시간

$t_s$  : 선별시작 가능 시간, 상수

$t_e$  : 초기선별 한계 시간, 상수

$s(t)$  ; 선별 정확도

$s_d$  ; 분포에 따른 선별 정확도 상수

$k(t)$  : 선별에 따른 개체 무게 평균의 변동

$t_{bep}$  : 양식기간 손익 분기점 시간

$t_{max}$  : CSC 기준의 양식장 양식 한계 시간

$t_{end}$  : 최종 목표 양식 시간

## 2) 모형의 구축

양식장의 선별과 관련된 양식장 비용요소는 사료비용, 치어비용, 양식장 운용비용, 주문비용 등을 들 수 있다. 이러한 각 비용요소들을 분석하여 선별과 관련된 비용방정식 모형으로 구축하면 다음과 같다. 이중 가장 큰 비용은 선별결과에 따라 폐기(또는 별도관리)에 따른 치어비용이다.

선별을 고려하는 경우, 양식시작 단계에서 발생하는 치어비용은 입식 치어 수에 개별치어 비용의 곱으로 나타난다.

$$C_F = N(t) \cdot C_f \quad (4)$$

시작부터 선별이 가능하다고 가정한다면 양식 초기의 치어 구입 수는  $t=0$ 일 때  $N(0) = N_s(t_0) + N_o(t_0)$  만큼 주문하게 되고, 이 값은 양식 손익분기점에서 기대하는 생존 치어 수에 선별 후 양식 손익분기점까지의 생존율로 인한 감소 치어수와 선별로 인한 치어 수를 합한 값이다.

생존율 함수가 부의 지수분포라면 시간  $t$ 에서의 필요주문량은 치어 구입 가능 시간( $t_s$ )을 기준으로 나타내면 다음과 같다.

$$N(t) = N(t_s) \cdot e^{zt} \quad (5)$$

만약 선별의 가능시점을 양식의 가능시점으로 한다면,  $N(t_0) = N(t_s)$ 가 되어 식 (5)는 식 (6)으로 표현이 가능하다.

$$N(t) = N(t_0) \cdot e^{zt} \quad (6)$$

그러므로 식 (6)은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$N(t) = (N_s(t_0) + N_o(t_0)) \cdot e^{zt} \quad (7)$$

양식개체 치어가격  $C_f(t)$ 는 치어크기(무게 또는 길이)에 따른 가격을 의미한다. 치어 크기의 함수는 시간  $t$ 의 함수로 나타낼 수 있는데, 이것은 치어입식 시작 시기  $t=0$ 에 치어가격은 상수 값으로 나타난다. 그러므로 시간 양식 시작 시기  $t=0$ 에 치어를 주문할 경우, 치어비용은 치어가격에 주문 마리수를 곱하여 다음 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_F(t) = N(t_0) \cdot e^{zt} \cdot C_f(t) \quad (8)$$

선별을 하는 경우 선별에 따른 치어비용은 식 (9)와 같다.

$$C_F(t) = N_s(t_0) \cdot e^{zt} \cdot C_f(t) \quad (9)$$

초기 선별은 성장이 늦은 개체를 구분하는 작업이므로 선별에 따른 양식기간 단축에 따른 효과는 다음과 같이 생각할 수 있다. 선별가능 시기  $t_s$ 에 선별을 하면 처음 구입하는 경우와 같으므로 선별이 이루어지지 않고 초기 선별 한계시간  $t_e$ 에 하면 선별효과를 완전하게 볼 수 있다. 그러므로 초기  $t_s$ 에 선별이 이루어지면 양식기간 단축은 이루어지지 않으며,  $t_e$ 에 이루어지면 평균크기의 상승으로 인하여 양식손익 분기점  $t_{bep}$ 에 빠르게 도달이 가능하게 된다. 선별의 정확도는 선별의 정확도 뿐만 아니라 무게 분포의 정확도에도 영향을 받는다. 선별의 정확도  $s(t)$ 를 무게분포와 선별시간에 따른 함수로 가정하면 선별 정확도는 다음 식 (10)과 같이 정의할 수 있다.

$$s(t) = s_d \cdot f((t-t_s)/(t_e-t_s)) \quad (10)$$

선별이 이루어진 후 양식개체 평균의 값은 선별로 제외된 개체를 제외한 개체의 평균 값이다. 선별이 잘 이루어진 경우 즉,  $s(t_e)$ 에 선별을 한 경우  $N(t_e)$  개체를 남기고 선별을 하게 되고,  $N(t_e)$ 의 평균 개체 무게 평균은  $k(t_e)$ 만큼 커지게 된다. 무게의 분포를 정규분포로 가정하면  $N_s(t_e)/N(t_e)$  값만큼 정규분포의 면적이  $-\infty$ 에서부터 줄어드는 것으로 나타나게 되게 이 값을 제한 부분의 평균이 선별이후의 평균이 되는 것이다. 그러므로 평균치의 변동은 무게의 분포가 특정 확률분포로 나타난다면 선별한 부분의 확률밀도함수부분을 제외한 값의 기댓값 변동부분으로 다음 식 (11)과 같이 나타난다.

$$k(t_e) = \int_{s(t_e)}^{\infty} xp(x)dx - \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \quad (11)$$



$t_e$ 에 선별을 하는 경우 개체무게 평균은  $\mu(t_e) + k(t_e)$ 로 나타나게 된다. 그러므로  $\mu$ 에서  $\mu + k(t_e)$ 로 성장하는 데 걸리는 기간이 양식기간 단축의 시간이 될 것이다. 이 관계에 선별정확도를 고려하는 경우 선별에 따른 양식개체 무게의 평균의 증가  $\tilde{k}(t_e)$ 는 다음과 같이 나타난다.

$$\tilde{k}(t_e) = s(t) \cdot k(t_e) \tag{12}$$

개체의 성장은 양식 성장률  $w(t)$ 에 따라 결정되므로  $w(t)$ 에서  $w(t) + \tilde{k}(t_e)$ 로 성장하는데 걸리는 시간이다.

이 시간을  $\epsilon(t)$ 로 하면 단축되는 양식기간은 식 (13)으로 나타난다.

$$\epsilon(t) = \phi(w(t) + \tilde{k}(t_e)) - \phi(w(t)) \tag{13}$$

양식기간 단축에 따른 비용은 시간에 일차적인 관계로 비례한다. 따라서 이 값은 선별로 인한 단축 시간에 운용비용( $C_{op}$ )을 곱한 값과 같다.

$$C_{op}(t) = C_{op} \cdot \epsilon(t) \tag{14}$$

선별에 따라 발생하는 사료비는 생존율에 따라 시간이 지나면서 개체수가 감소하는 것을 고려하고 성장률에 따라 사료양이 증가하는 것을 고려하여야 한다. 개별 양식개체 사료비용  $Cf(t)$ 는 양식기간  $t$ 에 따른 양식 개체 무게  $w(t)$ 에 따른 사료비용이다. 비교적 짧은 양식기간에 선별이 이루어진다면 생존율에 따른 사료비의 변동은 적다. 그러므로 양식개체의 무게에 비례하여 사료비가 나타난다고 가정하면  $t_s$ 에서부터 선별 시기  $t$ 까지 치어사료비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Cf(t) = Cf_{fer} \cdot w(t) \cdot N_s \cdot e^{zt} \tag{15}$$

식 (15)에서  $Cf_{fer}$ 의 값은 양식개체무게에 비례하는 사료전환계수이다. 선별을 하는 경우 선별된 개체의 사료비용은 매몰비용의 성격을 갖는다.

주문비용은 주문하는 치어에 의하여 발생하지 않고 주문횟수에 의해 발생하는 비용 즉 고정비 성격의 비용이므로 다음 식 (16)과 같이 간단하게 나타나며 이 비용은 선별 의사결정에서는 고려치 않아도 되는 비용이다.

$$C_{od} = n_{od} \cdot C_{od} \tag{16}$$

이상에서 분석한 선별과 관련된 비용을 정리하면 다음과 같다.

선별 관련 총비용 = 치어비용 + 선별까지의 사료비용 + 선별까지의 운영비용

선별을 고려하여 입식단계 밀식을 하는 경우 밀식수준과 선별시기의 결정과 관련된 비용방정식을 정리하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Fn } z &= -N_s(t_0) \cdot C_f(t_0) - C_{fcr} \cdot w(t) \cdot N_s \cdot e^{zt} + C_{op} \cdot \epsilon(t) \\
 \text{subject to} \\
 k(t_e) &= \int_{s(t_e)}^{\infty} xp(x)dx - \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \\
 \tilde{k}(t_e) &= s(t) \cdot k(t_e) \\
 \epsilon(t) &= \phi(w(t) + \tilde{k}(t_e)) - \phi(w(t)) \\
 N(t) \cdot w(t) &\leq W_{csc} \\
 N(t) &= N(t_s) \cdot e^{zt} \quad z = \frac{\ln(n_t/n_0)}{t} \\
 x &= w(t) \\
 t_s &\leq t \leq t_e \leq \tau \\
 t, N_s(t) &: \text{decision variable}
 \end{aligned} \tag{17}$$

위 이론적 모형은 비선형 최적화 문제이므로  $N(t), w(t)$ 가 어떤 함수로 표현되는가에 따라 일반해를 구할 수 있을 것인가를 알 수 있다. 이 경우 변수가 정수의 조건이 있고 역함수의 관계가 있어 일반해를 구하기 어려울 것으로 생각된다.

### III. 수치모형의 구축과 분석

본 장에서는 이론적 기본모형을 기반으로 모의수치모형을 구축하고 수치분석(numerical analysis)을 수행하여 모형의 성격과 적용상의 의미를 살펴보고자 한다. 모의 수치모형은 어윤양(2015, 2016)에서 제시된 모의사례를 기반으로 수치모형을 구축하였다.

모형에 이용된 성장률, 생존율, 사료계수, 운영비용 등의 계수는 다음 <표 1>과 같다. 입식단계밀식 기간은 90일로 하였으며 성장단계밀식 기간은 280일로 설정하였다. 치어가격은 초기( $t_s$ )의 가격을 200원으로 가정하였다).

선별비용은 생존율에 따라 변하지 않는 비용이므로 분석모형에서는 고려치 않고 제외하였다. <표 1>에서 제시된 값으로 생존율에 따른 모형을 구축하면 다음과 같다.

---

1) 모의 수치 실험에서 이러한 초기 값 설정은 사례의 대상어종이 넙치이므로 넙치의 양식의 경우를 근사적으로 가정하여 설정한 것이다.

$$\text{Fn } z = -N_s(t_0) \cdot 200 - 2.5 \cdot (1.1576t - 0.00077t^2 + 0.000018t^3) \cdot N_s(t_0) \cdot e^{zt} + 100000 \cdot \epsilon(t)$$

subject to

$$w(t) = 1.1576t - 0.00077t^2 + 0.000018t^3$$

$$\tilde{k}(t) = ((w(t) - 0.6 \cdot w(t)) + 2 \cdot 0.6 \cdot w(t) \cdot N_s(t_0) / (N_s(t_0) + N_0(t_0)) \cdot s(t) + 0.6 \cdot w(t)) / 2 \quad (18)$$

$$\epsilon(t) = \phi(w(t) + \tilde{k}(t)) - \phi(w(t))$$

$$t_s \leq t \leq 90$$

$N_s(t_0), t$  : decision variable

제시한 수치 모형에서  $N_o(t_0)=10000$ 으로 하고 편차는  $\sigma(t)=0.6 \cdot w(t)$ , 생존율 70%인 경우 초기 밀식을 20% 하였을 때(이하에서는 이 수치모형을 표준 수치모형으로 함) 양식기간의 변동에 따른 수식의 값은 다음 <표 2>와 같다.

<표 1> 모형에서 이용된 계수, 상수 및 함수

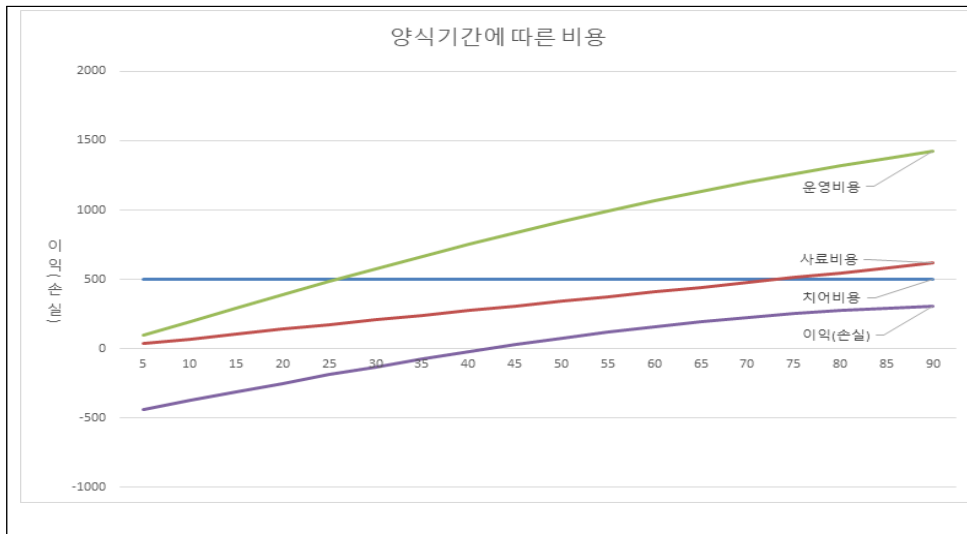
(단위 : 일, Kg, 마리, 원)

계수, 상수, 함수	$t_e$	$t_s$	$Cf_{fcr}$	$C_f(t_s)$	$W_{csc}$	$C_{op}$	$N_o(t_0)$
값	90	1	2500/kg	200/ea	7500kg	100000/일	10000
성장함수	$w(t) = 1.1576t - 0.00077t^2 + 0.000018t^3$						
생존율	지수분포 70% 생존						
무계분포	일양분포, 평균: $\mu = w(t)$ 표준편차 : $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$						

<표 2> 초기밀식 20%(생존율70%,  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ )인 경우 양식기간에 따른 비용변동

(단위 : 천원)

양식기간	치어비용	사료비용	운영비용	이익(손실)
90	500	619.0	1,426.4	307.4
85	500	582.7	1,375.5	292.8
80	500	546.9	1,321.3	274.3
75	500	511.7	1,263.6	251.9
70	500	477.0	1,202.3	225.3
65	500	442.6	1,137.3	194.6
60	500	408.6	1,068.3	159.7
55	500	374.9	995.6	120.8
50	500	341.3	919.1	77.8
45	500	307.9	838.8	30.9
40	500	274.5	755.0	-19.6
35	500	241.2	667.8	-73.4
30	500	207.7	577.6	-130.1
25	500	174.0	484.8	-189.2
20	500	140.1	389.8	-250.2
15	500	105.8	293.3	-312.4
10	500	71.1	195.7	-375.3
5	500	35.6	97.7	-437.9



<그림 1> 초기밀식 20%(생존율 70%,  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ )인 경우 비용

<표 3> 표준 수치모형에서 밀식정도를 달리하였을 경우 해

(단위 : 일, 천원)

밀식수준(%)	손익분기일	양식 기간단축	선별가능일	최대이익(최소손실)
5	1.24	9.19	90.00	683.49
10	2.95	10.90	90.00	592.59
15	5.08	12.59	90.00	469.14
20	8.39	14.26	90.00	307.41
25	12.72	15.92	90.00	100.09
30	16.29	16.94	85.00	-161.52
35	17.81	17.81	80.00	-474.37

<표 2>를 그림으로 표시하면 <그림 1>과 같다.

이 결과를 보면 치어비용은 고정비용이므로 양식기간에 따른 변동이 없으며 사료비용과 운영비용은 증가함을 살펴볼 수 있다.

<표 2>를 보면 초기밀식으로 인하여 발생하는 비용이 이익으로 변하는 손익분기점은 양식기간 42일 정도에 선별을 하는 경우 양식기간 8일 정도를 단축하여 나타나는 것으로 볼 수 있다. 최대한 입식단계밀식으로 이익을 볼 수 있는 경우는 양식기간 90일에 선별하는 경우 약 14일의 양식기간을 단축하여 307,000원 정도의 이익이 발생하는 경우라는 것을 볼 수 있다.

표준 수치모형에서 초기밀식의 수준 5%에서 35%까지 변동하였을 경우에 손익분기가 발생하는 양식일과 선별에 따른 이익(손실)이 최대(최소)가 되는 양식일 및 그때의 양식기간 단축을 정리하면 <표 3>과 같다

이 경우 최적 해는 의사결정자의 관점에 따라 다르게 나타난다. 손실이 발생하지 않는 범위에서 양식기간을 최대로 단축하고자 하는 경우(단축기간 최대화 목표 : P/time)는 초기 밀식수준을 25~30% 범위에서 결정될 것이다. 이 경우 양식 단축기간은 16일 정도이다. 양식기간 단축과는 상관없이 이익

을 최대한으로 하고자 하는 경우(이익 최대화 목표 또는 비용최소화 목표 : P/cost)에는 5% 정도 초기밀식을 양식기간을 9일 정도 단축하게 될 것이다. 또 하나의 대안은 단축기간 최대화 목표와 이익최대화 목표를 동시에 고려하는 다수목표문제(다수목표 문제 : P/time-cost)를 생각하여 볼 수 있다. 실제 의사결정을 할 때에는 의사결정자의 의사결정기준을 고려하여 해를 구하여야 할 것이다.

제시된 모형의 특성을 살펴보기 위하여 모형계수들의 변동에 따른 민감도 분석을 한 결과는 다음과 같다.

1) 생존율의 변동

양식경영에 있어 생존율은 수익에 영향을 미치는 가장 중요한 생물적 변수라고 할 수 있다. 초기밀식 20%의 경우 생존율의 변동이 어떠한 영향을 미치는가를 보기 위해 생존율 52%, 70%, 88%일 때의 양식기간에 따른 치어비용, 사료비, 운영비 및 비용변동을 계산한 결과는 다음 <표 4>와 같다<sup>2)</sup>. 이 결과를 보면 40~45일 정도의 양식을 하였을 경우 이익이 발생하여 초기밀식의 효과가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이때 선별을 하는 경우 양식기간이 8일 정도 단축되는 것으로 나타나고 있다. 90일 양식을 하고 선별을 하는 경우 약 14일 정도 양식기간을 단축하는 것으로 나타난다. 이 경우 비용의 변화를 살펴보면, 치어비용은 고정비의 성격이므로 변동이 없고 운영비는 단축되는 양식기간에 따라 비례적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있으며, 생존율에 따른 비용은 생존율이 높을수록 이익(비용)이

<표 4> 초기밀식 20%의 경우 생존율에 따른 비용의 변화

(단위 : 천원)

비용 일	치어비 생존율	사료비			운영비			이익(손실)		
		0.52	0.7	0.88	0.52	0.7	0.88	0.52	0.7	0.88
90	500.0	562.6	619.0	666.2	1,426.4	1,426.4	1,426.4	363.8	307.4	260.2
85	500.0	532.4	582.7	624.6	1,375.5	1,375.5	1,375.5	343.1	292.8	250.9
80	500.0	502.4	546.9	583.9	1,321.3	1,321.3	1,321.3	318.9	274.3	237.4
75	500.0	472.6	511.7	544.1	1,263.6	1,263.6	1,263.6	291.0	251.9	219.5
70	500.0	442.8	477.0	505.1	1,202.3	1,202.3	1,202.3	259.5	225.3	197.2
65	500.0	413.1	442.6	466.8	1,137.3	1,137.3	1,137.3	224.2	194.6	170.5
60	500.0	383.4	408.6	429.2	1,068.3	1,068.3	1,068.3	184.9	159.7	139.2
55	500.0	353.6	374.9	392.1	995.6	995.6	995.6	142.0	120.8	103.5
50	500.0	323.7	341.3	355.6	919.1	919.1	919.1	95.4	77.8	63.5
45	500.0	293.6	307.9	319.5	838.8	838.8	838.8	45.3	30.9	19.4
40	500.0	263.1	274.5	283.7	755.0	755.0	755.0	-8.2	-19.6	-28.7
35	500.0	232.4	241.2	248.2	667.8	667.8	667.8	-64.6	-73.4	-80.4
30	500.0	201.2	207.7	212.8	577.6	577.6	577.6	-123.6	-130.1	-135.3
25	500.0	169.4	174.0	177.6	484.8	484.8	484.8	-184.7	-189.2	-192.8
20	500.0	137.1	140.1	142.4	389.8	389.8	389.8	-247.3	-250.2	-252.5
15	500.0	104.1	105.8	107.1	293.3	293.3	293.3	-310.8	-312.4	-313.7
10	500.0	70.3	71.1	71.7	195.7	195.7	195.7	-374.6	-375.3	-375.9
5	500.0	35.7	35.6	35.9	97.7	97.7	97.7	-437.9	-437.9	-438.2

2) 모의 수치 실험에서 모형의 적용상의 유용성을 높이기 위하여 민감도 분석의 계수를 현실에서의 값과 유사한 값으로 설정하였음.

줄어드는 것을 볼 수 있다. <표 4>의 결과를 보면 초기 밀식의 효과는 생존율이 낮을수록 더 크게 나타나지만 그 영향은 이익으로 변화되는 양식일이 45일 정도에서 비슷하고 단축되는 양식일이 8일 정도인 것으로 보아 크지 않은 것으로 볼 수 있다. 이것은 초기입식단계의 밀식은 생존율이 높을수록 효과가 있지만 그 정도는 크지 않음을 의미한다.

## 2) 성장률의 변동

성장률의 변동은 평균무게의 변동과 평균무게 편차의 변동으로 구분할 수 있다. 선별을 위해서는 무게분포를 이용하여야 하므로 평균무게의 변동은 고려치 않고 평균무게 편차의 변동만 살펴보고자 한다. 제시된 모형에서는  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ 인 경우만 보았지만,  $\sigma(t) = 0.5 \cdot w(t)$ ,  $\sigma(t) = 0.7 \cdot w(t)$  경우의 해를 구한 결과는 다음 <표 5>와 같다.

이 결과를 보면  $\sigma(t) = 0.5 \cdot w(t)$ 인 경우 이익이 발생하지 않으며 비용이 가장 적게 발생(-381,100원)하는 양식일은 65일로 나타나고, 이 경우 양식 단축일은 5.6일 정도로 나타난다.  $\sigma(t) = 0.7 \cdot w(t)$ 인 경우는 양식일 25일 정도에 손익분기가 일어나며, 90일 양식하여 선별하는 경우 21.1일 정도의 양식기간을 단축하며 993,800원 이익이 발생하는 것을 볼 수 있다. <표 5>에서 보면 무게편차에 따른 단축기간의 변동은 매우 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있으며, 이것은 초기밀식을 할 때 성장에 따른 무게편차가 클수록 비용과 양식기간 단축의 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

초기밀식의 정도와 무게편차가 동시에 변하는 경우의 결과는 <표 6>, <그림 2>와 같이 나타난다. <표 6>에서 보면 무게편차가 커지고 초기밀식의 정도가 낮을수록 양식기간의 단축과 이익(비용)의 정도는 더욱 크게 늘어난다. 이것은 의사결정자의 의사결정 기준에 따른 무게편차와 밀식의 최적조합이 있음을 보여주며, 초기밀식단계에서 생물적 변수를 정확하게 파악하는 것이 중요함을 보여준다.

<표 5> 초기밀식 20%의 경우 무게편차에 따른 비용의 변화

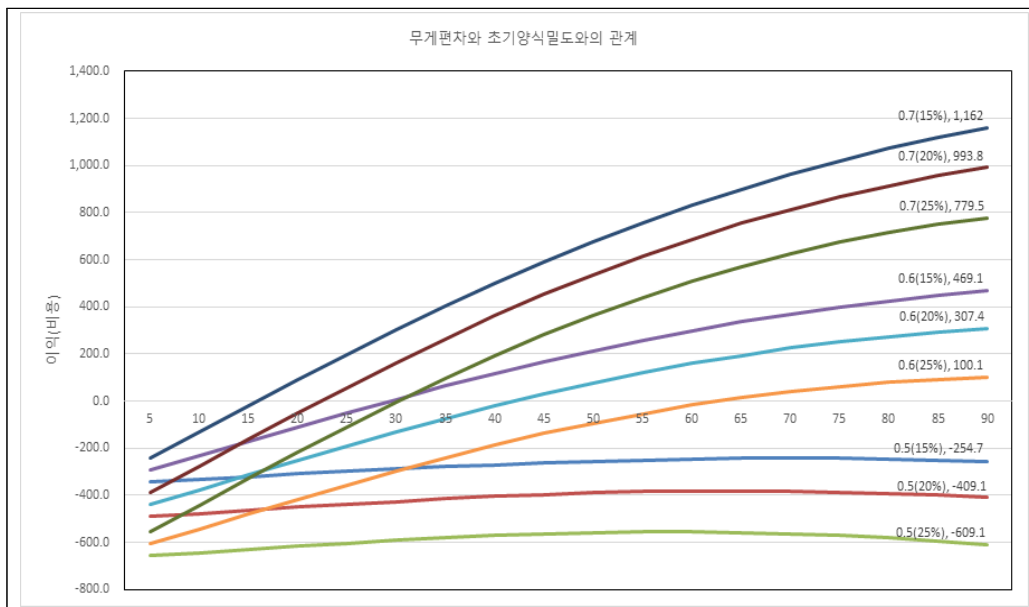
(단위 : 천원)

편차	치어비	사료비	운영비			이익(손실)		
			0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7
90	500	619.0	709.9	1,426.4	2,112.7	-409.1	307.4	993.8
85	500	582.7	683.6	1,375.5	2,040.0	-399.1	292.8	957.4
80	500	546.9	655.6	1,321.3	1,962.4	-391.3	274.3	915.5
75	500	511.7	626.0	1,263.6	1,879.6	-385.7	251.9	867.8
70	500	477.0	594.6	1,202.3	1,791.2	-382.3	225.3	814.2
65	500	442.6	561.5	1,137.3	1,697.1	-381.1	194.6	754.4
60	500	408.6	526.6	1,068.3	1,596.9	-382.0	159.7	688.3
55	500	374.9	489.9	995.6	1,490.7	-384.9	120.8	615.9
50	500	341.3	451.5	919.1	1,378.4	-389.8	77.8	537.1
45	500	307.9	411.4	838.8	1,260.1	-396.5	30.9	452.2
40	500	274.5	369.7	755.0	1,135.8	-404.8	-19.6	361.3
35	500	241.2	326.6	667.8	1,006.1	-414.6	-73.4	264.9
30	500	207.7	282.1	577.6	871.3	-425.6	-130.1	163.6
25	500	174.0	236.6	484.8	732.1	-437.4	-189.2	58.1
20	500	140.1	190.1	389.8	589.3	-450.0	-250.2	-50.8
15	500	105.8	142.9	293.3	443.7	-462.9	-312.4	-162.1
10	500	71.1	95.4	195.7	296.2	-475.7	-375.3	-274.9
5	500	35.8	47.6	97.7	148.0	-488.2	-437.9	-387.6

<표 6> 무게편차와 초기양식밀도와의 관계

(단위 : 천원)

무게 편차 일	0.5			0.6			0.7		
	15%	20%	25%	15%	20%	25%	15%	20%	25%
90	-254.7	-409.1	-609.1	469.1	307.4	100.1	1,162.5	993.8	779.5
85	-249.1	-399.1	-593.1	449.4	292.8	92.2	1,120.4	957.4	750.4
80	-245.2	-391.3	-579.9	426.4	274.3	79.8	1,073.3	915.5	715.3
75	-242.8	-385.7	-569.6	400.0	251.9	62.9	1,021.1	867.8	673.8
70	-242.1	-382.3	-562.0	370.1	225.3	41.2	963.4	814.2	625.7
65	-242.9	-381.1	-557.1	336.6	194.6	14.8	900.2	754.4	570.8
60	-245.3	-382.0	-555.0	299.5	159.7	-16.4	831.3	688.3	509.0
55	-249.3	-384.9	-555.5	258.9	120.8	-52.3	756.6	615.9	440.2
50	-254.6	-389.8	-558.5	214.9	77.8	-92.8	676.2	537.1	364.5
45	-261.3	-396.5	-563.8	167.6	30.9	-137.8	590.3	452.2	281.9
40	-269.1	-404.8	-571.1	117.1	-19.6	-186.9	499.1	361.3	192.9
35	-278.0	-414.6	-580.3	63.8	-73.4	-239.8	402.8	264.9	97.8
30	-287.8	-425.6	-591.1	8.0	-130.1	-296.1	302.2	163.6	-2.8
25	-298.3	-437.4	-603.1	-49.9	-189.2	-355.1	197.7	58.1	-107.9
20	-309.2	-450.0	-615.9	-109.4	-250.2	-416.2	90.1	-50.8	-216.9
15	-320.4	-462.9	-629.1	-170.0	-312.4	-478.7	-19.6	-162.1	-328.4
10	-331.6	-475.7	-642.2	-231.2	-375.3	-541.8	-130.8	-274.9	-441.4
5	-342.5	-488.2	-655.0	-292.4	-437.9	-604.8	-242.2	-387.6	-554.6



<그림 2> 초기양식밀도와 무게편차와의 관계

3) 치어가격, 사료비, 운영비용의 변동

치어가격, 사료비, 운영비의 변동은 모형의 구조적 변동이 아니라 모형의 비용계수 변동이다. 이러한 계수의 변동이 해에 어떤 영향을 미치는가를 분석하기 위하여 <표 4> 해를 기준으로 하여 치어가격, 사료비, 운영비의 변동에 따른 민감도 분석을 한 결과는 <표 7>, <표 8>, <표 9>와 같다.

<표 7>은 밀식의 효과가 나타나는 범위에서의 가능한 치어가격의 변동범위를 나타낸 것이다. 밀식 20% 무계편차  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ 이고 생존율이 52%, 70%, 88%인 경우 치어의 가격이 200원에서 각각 345원 323원 304원이 될 때까지 초기 밀식이 가능하다는 것을 보여 준다. 이 결과를 보면 치어가격이 입식단계 밀식에 영향을 크게 미치는 것으로 보이며, 치어가격이 높을 때 초기밀식의 유효성은 줄어든다는 것을 의미한다.

<표 8>은 사료비의 변동을 나타낸 것이다. 생존율이 52%, 70%, 88%인 경우 사료가격이 2.5원/g에서 각각 4.12원, 3.76원, 3.52원이 될 때까지 초기 밀식이 가능하다. 사료비는 양식 어종의 성장함수에 영향을 받아 생존율이 높아지는 경우, 선별시기가 선별한계일 90일에 선별을 하지 않고 90일 이전 즉 70%인 경우 85일에, 88%인 경우 80일에 이루어지는 것이 더 효과적으로 나타났다. 또한 사료비의 변동범위도 생존율이 높아질 때 줄어드는 것으로 나타나고 있다.

<표 9>는 운영비의 변동을 나타낸 것이다. 생존율이 52%, 70%, 88%인 경우 운영비용이 100,000원/일에서 각각 74,494원, 78,448원, 81,759원이 될 때까지 입식단계 밀식이 가능하다는 것을 보여 준다. 생존율 70%를 기준으로 보면, 치어가격은 약  $62\%((323-200)/200)$ , 사료가격은 약  $150\%((3.76-2.5)/2.5)$  변동범위를 가지는 것에 비하여 운영비는 약  $21.5\%((100,000-78,448)/100,000)$  변동범위를 보이고 있

<표 7> 밀식 20% 무계편차  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ 인 경우 치어가격 변동범위

(단위 : 천원, 일)

치어가격 (원)/마리	치어비용	사료비용	운영비용	총비용(원)	생존율	선별시기	단축기간
345.60	864.0	562.6	1,426.4	-187.3	0.52	90	14.26
323.00	807.5	619.0	1,426.4	-91.2	0.70	90	14.26
304.10	760.3	666.2	1,426.4	-88.0	0.88	90	14.26

<표 8> 밀식 20% 무계편차  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ 인 경우 사료비 변동범위

(단위 : 천원, 일)

사료비 (원)/g	치어비용	사료비용	운영비용	총비용(원)	생존율	선별시기	단축기간
4.12	500	926.5	1,426.4	-67.3	0.52	90	14.26
3.76	500	875.6	1,375.5	-151.8	0.70	85	13.75
3.52	500	821.4	1,321.3	-137.3	0.88	80	13.21

<표 9> 밀식 20% 무계편차  $\sigma(t) = 0.6 \cdot w(t)$ 인 경우 운영비 변동범위

(단위 : 천원, 일)

운영비 (원)/일	치어비용	사료비용	운영비용	총비용(원)	생존율	선별시기	단축기간
74,494.0	500	562.6	1,062.6	-4.3	0.52	90	14.26
78,448.0	500	619.0	1,119.0	-8.4	0.70	90	14.26
81,759.0	500	624.6	1,124.6	-5.6	0.88	85	13.75



어 이 해의 범위에서는 운영비 변동에 더 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타나고 있다.

제시된 표준 수치모형에서 나타난 결과를 중심으로 모형의 특성과 해의 성격은 다음과 같이 정리하여 볼 수 있다.

첫째, 치어선별효과에 가장 중요한 생물적 요소는 무게 편차의 함수형태와 크기이다. 치어의 성장에 있어 무게 편차가 적은 경우에는 표준수치모형의 수치분석 결과로 보아 초기 밀식양식 효과는 낮은 것으로 보인다.

둘째, 초기 밀식양식에서 기대 생존율은 의사결정에 큰 영향을 미치는 변수가 아니다. 그러므로 생존율을 고려하여 초기 밀식양식을 하는 것은 바람직한 의사결정이 아닌 것으로 판단된다.

셋째, 밀식수준에 따라 비용변동의 비선형성이 나타나는 항목은 사료비용과 운영비용이며, 사료비용은 성장함수가 어떤 형태로 나타나느냐에 따라 영향을 받는다.

넷째, 적정 입식단계밀식수준의 결정은 모형의 목적함수 값이 모형계수의 변화에 매우 민감하게 움직이므로 어려운 문제라는 점이다. 그러므로 의사결정의 유효성을 제고하기 위하여 정확한 모형구축이 요구된다. 그러나 최적 선별 시기는 선별시기에 따른 목적함수가 매우 평편하여 최적해 부근의 범위에 들어가면 비용의 변동이 크지 않으므로 해의 유효성을 확보할 수 있다.

## IV. 결 론

본 연구는 양식장에서 밀식양식을 하는 경우의 논리적 타당성을 의사결정의 관점에서 분석하고 입식단계의 밀식, 성장단계의 밀식, 판매 단계의 밀식으로 구분하였다. 본 연구에서는 입식단계 밀식 문제를 생존율과 성장률에 관련된 생물적인 부분과 밀식 양식에 따른 치어비용, 사료비용, 운영비용 등의 경제적인 부분으로 나누고 생물적 양식조건과 경제적 조건을 결합하여 밀식수준의 결정과 선별 시기의 결정을 위한 비용방정식 모형을 구축하였다. 제시된 이론모형은 비선형으로 나타나는 성장함수와 생존율의 함수와 연계된 치어 비용, 사료비용, 운영비용이 비선형 함수로 목적함수에 나타나고 양식조건이 제약조건에 나타나므로 특별한 경우 외에는 일반해를 구하기 어렵다.

본 연구에서 이론적 모형의 성격을 분석하기 위하여 표준 수치모형을 설정하고 의사결정 변수와 모형계수에 대한 수치분석 시뮬레이션을 실행하였다.

본 연구의 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 밀식에 대한 이론적 분석모형을 구축하고 이에 대한 분석을 시도하였다.

둘째, 본 연구에서 제시된 입식단계밀식 의사결정모형은 생존율과 성장률 함수를 이용하여 비용방정식 모형의 구축이 가능하며 의사결정에 필요한 해의 범위를 구할 수 있다. 본 연구에서는 표준 수치모형을 제시하고 수치분석 시뮬레이션을 통하여 해의 성격을 살펴보았다.

셋째, 제시된 표준 수치모형에서 수치분석을 통하여 입식단계 의사결정에 사용된 계수가 어떠한 영향을 미치는가를 분석하고 이를 통하여 현실문제 의사결정 측면에서의 그 특성과 의미를 살펴보았다. 분석의 결과를 보면 의사결정모형에 가장 큰 영향을 미치는 생물적 변수는 양식대상의 성장에 따르는 성장함수와 양식기간에 따르는 양식 대상의 무게 편차인 것으로 나타났다. 생존율은 상대적으로 입식밀식단계에서 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. <표 7>, <표 8>, <표 9>에서 나타난 바와 같이 경제적 비용함수의 계수 중에서 해에 가장 영향을 미치는 변수는 운영비용으로 나타났다.

운영비용이 크면 클수록 초기밀식의 논리적 타당성은 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구의 한계와 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째 본 연구에서는 적용할 수 있는 대상어종을 설정하고 현실성 높은 자료를 이용하여 분석을 하지 못하였다는 점이다. 본 연구가 이론적 모형을 분석적으로 구축하고 적용가능성을 검토하였다는 점에서 논문의 의의를 둘 수밖에 없다. 생물적 변수에 대한 실제적 측정이 가능하고 이러한 항목에 대한 추가적 분석이 이루어지면 양식의사결정에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 생각한다. 둘째, 제시된 모형은 의사결정자 즉 양식업자가 사용하기가 어려운 계량적 모형이므로 의사결정자가 쉽게 이용할 수 있는 매뉴얼이 만들어지면 유용할 것으로 생각된다. 물론 이러한 매뉴얼은 각 양식어종에 대한 현실적용에 필요한 성장률함수, 생존율함수 등에 대한 생물학적 연구가 적절하게 이루어진다는 것을 전제조건으로 한다. 이에 대한 추가적인 연구는 본 논문의 성격과 직접적인 관계는 없지만, 연구의 유용한 적용 측면에서 필요할 것으로 생각된다. 앞으로 이러한 방향에서의 연구는 현실에서의 적용 측면에서 의미가 있을 것으로 생각한다.

## REFERENCES

- 어윤양 (2011), “넙치양식장 밀식에 따른 생산성에 관한 연구”, *수산경영론집*, 42 (2), 85-96.
- 어윤양 (2014), “양식장 이용에 따른 생산성에 관한 연구”, *수산경영론집*, 45 (2), 85-95.
- 어윤양 (2015), “어류양식장 생산계획에 관한 연구”, *수산경영론집*, 46 (3), 129-141.
- 어윤양 (2016), “육상수조 어류양식 생존율에 따른 비용분석모형”, *수산경영론집*, 47 (4), 1-14.
- 황진욱 · 김도훈 (2009), “넙치 배합사료 및 생사료의 경제성 비교분석”, *수산경영론집*, 40 (3), 189-205.
- Bjórndal, T., Lane, D. E. and Weintraub, A. (2004), “Operational research models and the management of fisheries and aquaculture: a review,” *European Journal of Operational Research*, 156, 533-540.
- Diaz-Martinez, J. P., Benitez-Villalobos, F. and Lopez-Serran, A. (2015), “Density, spatial distribution and mortality rate of the urchin *Diadema mexicanum* (Diadematoidea: Diadematoidea) at two reefs of bahias de Huatulco, Oaxaca, Mexico,” *I. J. Trop. Biol.*, 63 (2), 173-182.
- Ghare, P. M. and Schrader, G. F. (1963), “A model for exponentially decaying inventory”.
- Pascoe, S., Wattage, P. and Naik, D. (2002), “Optimal Harvesting Strategies: Practice versus Theory,” *Aquaculture Economic and Management*, 6, 195-208.
- Ruiz-Velazco, J. M. J., Estrada-Pérez, M., Hernández-Llamas, A., Nieto-Navarro, J. T. and Peña-Messina, E. (2013), “Stock model and multivariate Analysis for prediction of semi-intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* as a function of water quality and management variable: A stochastic approach,” *Aquacultural Engineering*, 56, 34-41
- Schnute, J. T. and Richards, L. J. (1990), “A Unified Approach to the Analysis of Fish Growth, Maturity, and Survivorship Data,” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 24-40.
- Seginer, I. (2009), “Are Restricted Periods of Over-stocking of Recirculating Aquaculture Systems Advisable? A Simulation Study,” *Aquacultural Engineering*, 41, 194-206.
- Wee, H. M. and Law, S. H. (1999), “Economic production lot size for deteriorating items taking account of the time-value money,” *Computer & Operations Research*, 26, 545-558.