J. Fish. Bus. Adm., 48(3), 047-059. 2017
DOI:http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2017.48.3.047

pISSN 1225-1011 KSFBA
eISSN 2288-1727 www.fima.or.kr

치어 주문모형에 관한 연구†

어윤양* · 송동효
부경대학교 경영학부

Ordering Model of Fingerlings in Aquaculture Farm

Youn-Yang Eh* and Dong-Hyo Song
Division of Business Administration, Pukyong National University, Busan, 48513, korea

Abstract

Fish mortality is the most important success factor in aquaculture management. To order fingerlings considering the effect of mortality is a important problem in aquaculture farm. This study is aimed to decision the number and size of fry in aquaculture farm. This study build the mathematical model that finds the value of decision variable to minimize total cost that sums up the fingerling purchasing cost, aquaculture farm operating cost and feeding cost under mortality constraint.

The proposed mathematical model involve biological and economical variables: (1) number of fingerlings (2) fish growth rate (3) mortality (4) price of a fry (5) feeding cost, and (6) possible order period. Numerical simulation model presented here in. The objective of numerical simulation is to provide for decision makers to analyse and comprehend the proposed model. When extensive biological and cost data become available, the proposed model can be widely applied to yield more accurate results.

Keywords : Aquaculture management, Purchasing model, Mortality, Growth rate of fish, Cost function model

Ⅰ. 연구의 배경

일반적으로 양식어업은 한정된 자원과 고정비성격에 대한 투자액이 큼에 따라 생산성에 따른 비용구조의 변동이 크다. 육상양식업은 이용수면적과 용지의 효율적 활용, 수자원 활용기술, 양식 기술

Received 23 June / Received in revised form 19 September 2017 / Accepted 19 September 2017
† 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음.
*Corresponding author : +82-51-629-5723, ehyy@pknu.ac.kr

과 연계되는 관리적 활동이 해상양식업보다 더 중요하다. 그러므로 양식어업에서 생산성을 높이는 방법은 양식기술 측면에서 타당한 방법으로 생존율과 성장률을 높이면서 비용을 적게 들이고 수익을 최대로 올리도록 양식하는 것이다. 즉 양식어업에서 중요한 문제는 양식면적을 고려하여 치어를 입식한 후 생존율과 성장률을 최대로 하여 양식 후 성어의 판매가격을 최대로 판매하는 것이다. 이러한 양식문제의 첫 의사결정 문제는 양식장의 면적과 양식어류의 생존율과 성장률을 고려하여 어느 정도 크기의 치어를 얼마만큼 어느 시기에 사서 양식을 시작해야 하는가를 결정하는 것이다. 양식에서 시설규모 대비 적은 치어를 투입하는 경우는 이익기회의 상실이 발생할 것이고 과다 치어를 투입하는 경우는 밀식으로 인한 생존율 하락이나 성어가 되기 전에 낮은 가격으로 판매하게 됨으로써 수익손실이 발생할 것이다. 또한 치어구입은 구입비용뿐만 아니라 향후 양식 사료비에도 영향을 미치므로 비용측면에서도 영향을 미친다. 국립수과원(2006)의 자료에 의하며 넙치의 경우 종묘비는 생산원가의 8～9% 정도 사료비는 25～30% 정도를 차지하는데 양식순이익은 판매가격에 따라 적자에서 양식원가 대비 30% 이내로 나타나고 있다. 그러므로 원가를 1% 줄이는 것은 순이익 0.3～0.4% 늘이는 것과 비슷하므로 수익률 측면에서도 중요하다고 할 수 있다.

치어의 가격은 치어생산수준, 치어생산비용, 치어 생산자와 수요자의 수와 협상력의 크기 등과 같은 경제적 요인과 양식과 관련된 적정 치어의 크기, 적정 치어 입식시기, 초기 치어생존율 등과 같은 생물적 요인이 복합적으로 영향을 미친다. 치어의 가격은 입식기간이 한정적이므로 정해진 시간 범위 내에서 생산자와 수요자가 각자의 이익(비용)을 최대화(최소화)하기 위하여 수요와 공급에 따른 의사결정을 하게 된다. 이러한 점에서 보면 치어의 가격은 양식대상 어종의 생물적 특성과 양식비용을 고려한 수요자와 공급자의 협상력에 의하여 가격이 결정된다고 할 수 있다.

기존 상품주문모형 중 치어주문에 적용이 가능한 모형으로 상품의 수명이 한정적인 점을 고려한 부패상품 주문모형(Ghare, 1963)을 들 수 있으나 생물적 요인을 고려하는 데는 한계가 있는 단일기간 주문모형이다. 치어의 주문결정에 필요한 모형은 치어의 크기에 따른 비용 및 가치의 변동과 생물적 특성을 고려하는 모형만이 의사결정에서의 유용성을 확보할 수 있다. 즉 치어의 경우는 구매하는 기간 중에 성장과 사망을 하고 크기에 따른 양식비용의 변화가 발생하기 때문에 이러한 요소를 고려하여야 한다. 이러한 치어의 특성을 고려한 치어 주문모형은 아직까지 연구되지 않았다. 치어부문과 같은 생물에 대한 주문모형이 개발되지 않은 이유로 다음과 같은 이유를 생각하여 볼 수 있다.

첫째, 양식시설물의 이용 및 양식 환경 그리고 생물적 변수를 동시에 고려하는 치어 주문 문제에 대한 적절한 분석모형을 구축하기 어렵기 때문이다.

둘째, 생존율과 성장률과 같은 생물적 변수를 경제적 변수로 바꾸는 방법에 대한 연구가 부족하였기 때문이다. 기존 연구를 보면 새우양식의 경우 생물환경변수와 생존율에 따른 생산량에 초점을 맞추어 이루어진 연구(Ruiz-Velazco, 2013)를 볼 수 있는데, 이 연구도 관리적 노력에 따른 비용분석은 하지 않고 있음을 볼 수 있다.

셋째, 기존의 연구에서 생물적 변수인 생존율, 성장률과 경제적 변수를 동시에 고려하는 연구모형이 제시되지 않았기 때문에 즉, 관련된 연구(어윤양, 2014, 2115, 2016)가 부족하였기 때문이다 (Bjϕrndal, 2004).

일반적으로 주문모형에서 의사결정을 하고자 하는 것은 언제 얼마만큼을 주문할 것인가 하는 것이다. 양식업에서의 치어 주문문제도 결국은 양식시설을 고려하여 언제 어느 정도 크기의 치어를 몇 마리 주문할 것인가를 결정하는 것이다. 기존의 모든 주문 모형의 문제는 주문에 따른 비용을 분석하

여 가장 비용이 최소화(또는 이익이 최대화)되는 주문량을 결정하는 것이다. 양식장의 치어 주문량 결정모형이 일반적인 제품 주문모형과 다른 점은 사망률과 성장률이라는 생물적 변수를 고려하여야 하며 동시에 경제적 요인도 고려하여야 한다는 것이다. 이러한 치어 주문 문제의 명확성에도 불구하고 생물적 관점과 경제적 관점이 결합된 주문모형에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

기존 연구의 한계와 관련하여 본 연구에서는 육상양식장의 경우에 치어주문량과 크기의 결정 문제를 주문에 따르는 경제적 요인과 생존율, 성장률과 관련된 생물적 요인을 고려한 치어 주문문제를 이론적 모형으로 구축하고 수치분석을 통하여 현실에서의 적용가능성을 살펴보고자 한다. 본 연구의 구체적 연구목표는 다음과 같다.

첫째, 어류 육상양식장의 경우 치어 주문과 관련된 비용 요인과 생물적 요인을 분석하고 이 변수들의 관계를 분석적 방법으로 분석하고자 한다.

둘째, 이들 분석된 요인들의 관계를 이용하여 치어 주문과 관련된 비용방정식 모형을 구축하고자 한다.

셋째, 제시된 모형을 기초로 하여 사례 수치모형과 시뮬레이션 결과를 제시하고 모형의 의미와 그 특성을 분석하고자 한다.

이러한 연구의 결과는 치어주문에 대한 분석적 틀을 제공할 수 있을 것으로 생각한다. 또한 양식 의사결정에 유용하게 이용될 수 있을 뿐만 아니라 양식방법에 따른 양식결과를 예측하고자 하는 의사결정자에게 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 양식장에서 치어주문에 따른 비용방정식 모형을 구축하고, Ⅲ장에서는 이론적 치어주문모형의 수치적 사례모형을 구축하고 모형의 시뮬레이션 결과를 제시하였다. Ⅳ장에서는 제시된 모형의 특성과 한계점 그리고 앞으로의 연구에 대하여 언급하였다.

Ⅱ. 모형의 설정

1. 모형의 가정과 변수의 정의

양식장에서 어느 정도 치어를 구입하여 양식하느냐에 따라 가장 크게 영향을 받는 양식변수는 양식기간의 변동이다. 즉 치어의 크기에 따라 출하시기(크기)까지 양식을 하여야 하므로 양식기간이 변동하기 때문이다. 양식기간에 영향을 미치는 또 다른 중요변수는 양식 어류의 성장률이다. 그러나 치어를 구입하는 단계에서는 추정된 성장률만 가지고 의사 결정을 하여야 한다. 양식장에서 얼마만큼 치어를 구매하여야 하는가 하는 것에 영향을 미치는 또 하나의 주요인은 출하시기까지 어느 정도 생존할 것인가 하는 생존율이다. 이러한 면에서 보면 치어주문에 가장 중요한 생물적 변수는 생존율과 성장률이라고 할 수 있다. 생존율과 성장률은 사료비용, 시설비용, 양식시설 운용비용(수자원비용, 전기료, 인건비 등), 치어비용 등 전반적인 비용요소에 영향을 미친다(어윤양, 2015). 생존율과 성장률의 생물변수는 양식장 환경적 조건에 의하여 변동이 발생하며 양식 환경을 어떻게 설정하느냐에 따라 양식비용의 변동도 발생하게 된다. 본 연구에서는 주어진 양식 환경에서 생존율과 성장률을 최대화하기 위한 양식을 한다고 가정하고 치어주문에 따른 비용변동을 분석하고자 한다. 이것은 양식환경과 생물변수 그리고 비용요소 사이에 존재하는 관계를 단순화하기 위한 모형설정에서의 가정이라고 할 수 있다.

생존율은 양식조건, 질병, 품종의 특성 등에 영향을 받는다. 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 와이블 분포로 나타난다(Wee and Law, 1999).

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

α : scale parameter $\alpha>0$

β : shape parameter

시간에 따른 생존율 변화에 적용되는 와이블 분포는 분포의 형태가 부의 지수분포라고 가정하고 아래와 같이 기존 연구(Ruiz-Velazco et al., 2013)에서 이용되었다.

$N(t)=N(0)\cdot e^{zt}$ (2)

여기서

$N(0)$: 초기 개체 수

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

$N(t)$: 기간 t에서의 생존 개체 수

본 연구에서는 양식기간에 따른 생존율에 대한 함수로 식 (2)를 이용하고자 한다.

성장률은 양식조건, 사료효율, 품종의 특성 등에 의하여 결정된다(황진욱 · 김도훈, 2009). 양식장에서 최대한 성장률을 높이는 것으로 양식하였다는 것을 가정하는 경우 성장률은 시간에 따른 함수로 식 (3)과 같은 표현이 가능하다.

$w(t)=f(t)$ (3)

성장에 관련된 척도는 기존 연구(어윤양, 2011)에서 보면 체장 또는 무게가 이용되고 있는데, 어류의 성장함수는 대부분의 경우 비선형이고, s형태의 성장함수로 나타난다. 본 연구에서는 양식생물 개체의 중량은 함수의 형태에 제약이 없는 시간에 따른 성장함수로 가정하였다. 대부분의 기존 연구에서는 비선형 함수 분석의 어려움으로 구분 선형접근법(piecewise linear approximation)이 이용되었다(Seginer, 2009).

치어 주문에 중요한 양식장의 제약조건은 이용 가능한 수면면적이다. 양식장의 공간적 제약에 따라 치어를 주문하므로 출하시기에 양식수조 임계양식총량(Critical Standing Corp: CSC)은 매우 중요한 제약조건이다. 양식장 환경에서 양식어종의 무게총량(biomass)의 한계 즉 임계양식총량은 공간의 한계가 명확한 육상양식장에서 중요한 양식 제약조건이라 할 수 있다(어윤양, 2011, 2015). 본 연구에서는 임계양식총량 범위 안에서 양식을 하는 경우 양식환경이 생존율과 성장률에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다.

성장률과 사료효율은 밀접한 관계가 있다. 또한 사료효율은 양식조건과 품종 특성과 밀접한 관계가 있다. 사료효율의 대표적 지표는 양식어류 중량과 공급된 사료의 비율 즉 사료중량 전환비율(Feed Conversion Ratio : FCR)이다. 생물적 사료효율은 경제적 변수인 사료비용과 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서 사료비용은 양식개체의 시간에 따른 누적 중량에 비례한다고 가정한다.

이상과 같은 주요 가정밖에 모형을 단순화 하기 위하여 다음과 같은 가정을 하고 연구를 하고자한다.

첫째, 치어주문과 관련된 양식장 비용요소는 사료비용, 치어비용, 양식장 운용비용, 주문비용 등을 들 수 있다. 이 중 가장 큰 비용은 치어비용이며 사료비용은 생존율과 성장률의 변동에 의하여 변한다.

둘째, 사료효율은 임계 양식 총량을 초과하지 않으면 변화가 없고 사료중량 전환비율에 의하여 생

체중량의 함수로 표현이 된다.

셋째, 치어생체중량은 평균치의 값으로 계산한다.

이상과 같은 가정아래 모형구축에 사용되는 변수와 첨자는 다음과 같이 정의한다.

$N(t)$: 양식기간 t에서 수조면적내의 양식어류 개체 수
$w(t)$: 양식기간 t에서의 양식어류의 개체 무게(g(time)/single fish), 성장률 함수
$W(t)$: 양식기간 t에서 양식수조면적 내 양식어류 전체의 무게(g/fish[pool])
W_{cec} : 개별 수조(면적)의 임계 양식 총량(CSC)
C_{op} : 양식기간 t에 따른 단위기간 당 비용
$C_{op}(t)$: 양식기간 t에 따른 운영비용
C_f : 치어 가격/마리
$C_f(t)$: 시간 t에서의 치어 가격/마리
$C_F(t)$: 시간 t에서의 치어구매 총비용
$Cf(t)$: 양식기간 t에서의 개체 사료비용
$CF(t)$: 양식기간 t에서의 양식 사료비용
Cf_{fcr} : 사료중량 전환비율(FCR)에 따른 양식개체 단위 무게 당 사료비용
C_m : 단위 기간 수조유지비용
C_{od} : 주문비용
$C_M(t)$: 시간 t까지의 수조 유지비용
W_p : 양식수조의 수
t : 치어 구매시간
t_s : 치어 구입 가능 시작시간, 상수
t_e : 치어 구입 가능, 한계시간, 상수
τ : 양식가능 기간

2. 이론적 모형의 구축

치어주문과 관련된 양식장 비용요소는 사료비용, 치어비용, 양식장 운용비용, 주문비용 등을 들 수 있다. 이 비용 중 가장 큰 비용은 치어구매에 따른 치어비용이 가장 크며, 그 다음 크게 발생하는 비용은 사료비용이다. 치어구매비용은 생존율에 의하여 영향을 받는다. 사료비용은 치어구입 크기에 따른 기간 동안의 생존율과 성장률의 변동에 의하여 변한다. 양식장 운용비용은 기간에 따른 비용이며, 주문비용은 주문횟수에 따라 발생하는 비용이다. 이러한 각 비용요소들을 분석하여 치어주문과 관련된 비용방정식 모형을 구축하면 다음과 같다.

양식비용에서 양식 수량에 따라 발생하는 비용 즉, 치어비용은 입식 치어 수에 개별치어 비용의 곱으로 나타난다.

$$C_F = N(t_s) \cdot C_f \tag{4}$$

치어크기에 따른 치어 구입 수는 목표양식기간 동안의 생존율을 고려하여 주문하게 되므로 $t=0$일 때 $N(0)$만큼 주문하게 된다. 양식장은 양식할 수 있는 용량 한계가 있으므로 목표 양식기간 τ에 임

계 양식 총량(Critical Standing Corp: CSC)을 고려하여 치어를 구매하여야 한다. 또 구매할 때 생존율을 고려하여 구매할 수밖에 없는데, 시간이 지남에 따라 생존율에 따른 치어 감소분이 고려되어야 하므로 구매 치어 수는 시간에 따라 감소한다.

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

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

양식개체 치어가격 $C_f(t)$는 치어크기(무게 또는 길이)에 따른 가격을 의미한다. 치어가격은 치어의 크기의 함수이고, 이 함수는 시간 t의 함수로 나타낼 수 있다. 이 함수는 일반적으로 단조 증가함수이다. 치어 주문량은 생존율에 따른 마리수로 시간이 지남에 따라 감소하며, 기간 t에서의 주문은 $N(t)$로 감소하게 된다. 그러므로 시간 t에 치어를 주문할 경우 치어비용은 주문 시간 t에 따른 치어주문가격에 주문 마리수를 곱하여 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_F(t)=N(t_s)\cdot e^{zt}\cdot C_f(t) \tag{6}$$

치어구매 시간에 따른 사료비는 생존율에 따라 시간이 지나면서 개체수가 감소하는 것을 고려하고 성장률에 따라 사료양이 증가하는 것을 고려하여야 한다. 개별 양식개체 사료비용 $Cf(t)$는 양식기간 t에 따른 양식 개체 무게 $w(t)$에 따른 사료비용이다. 그러므로 치어구입 가능시간 t에서부터 치어 구입시기 t까지 치어 개체별 사료비용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Cf(t)=\int_{t_s}^{t} Cf_{fcr}\cdot w(t)\,dt \tag{7}$$

식 (7)에서 Cf_{fcr}의 값은 시간에 따른 누적 무게에 비례하는 사료전환계수이다. 왜냐하면 구입시간 t까지 사망하는 치어를 고려하여야 되기 때문이다. 치어의 개체 수는 시간이 지남에 따라 $N(t)$로 감소하므로 구입 시기 t까지 발생하였을 전체 사료비용은 다음과 같이 표현된다.

$$CF(t)=\int_{t_s}^{t} Cf_{fcr}\cdot N(t)\cdot w(t)\,dt \tag{8}$$

생존율 함수가 부의 지수분포라면 식 (8)은 다음과 같이 나타나게 된다.

$$CF(t)=\int_{t_s}^{t} Cf_{fcr}\cdot N(t_s)\cdot e^{zt}\cdot w(t)\,dt \tag{9}$$

양식장 운용비용은 양식장 수조이용기간에 따른 수자원 유지비용(전력비용, 난방비용)과 양식장 관리비용(관리인건비, 감가상각비, 시설유지비 등)으로 구분할 수 있다. 치어구매에 따라 발생하는 양식장 운용비용은 이용하는 수면적과 수자원 이용기간(전력비용, 난방비용, 인건비용 등)에 따라 비례적으로 발생한다. 양식장 운용비용 중 감가상각비, 양식장 관리 인건비 등은 치어 주문과는 관련 없이 발생하는 비용이므로 고려하지 않아도 되는 비용이다. 운용비용 중 수조 면적에 따른 비용은 치어주문량과 무관한 비용이므로 이용기간에 따른 비용만을 고려하면 된다. 수조 이용기간에 따른 비용은 구매 가능시기(t_s)에서부터 구매가 이루어지는 시간(t)까지 발생하는 비용이고, 이 비용은 시간에 일차적인 관계로 비례한다. 따라서 이 값은 구매시간에 운용비용(C_{op})을 곱한 값과 같다.

$$C_{op}(t)=C_{op}\cdot(t-t_s) \tag{10}$$

만약 수자원 유지비용(C_m)을 따로 구분하여 산정한다면 이 비용도 기간에 따른 비용이므로 다음과 같이 나타난다.

$$C_M(t) = C_m \cdot (t - t_s) \tag{11}$$

주문비용(C_{od})은 주문하는 치어에 의하여 발생하지 않고 주문횟수에 의해 발생하는 비용 즉 고정비 성격의 비용이므로 다음 식 (12)와 같이 간단하게 나타난다.

$$Cod = n_{od} \cdot C_{od} \tag{12}$$

이상에서 분석한 치어 주문관련 비용을 합하면 다음과 같다.

치어 주문관련 총비용＝치어비용＋사료비용＋수조이용비용＋주문비용

치어 주문과 관련된 제약조건을 고려하면서 치어구매 시기에 다른 비용을 합한 총비용을 목적함수로 하는 비용방정식을 정리하면 아래와 같다.

$$\text{Fn z} = N(t_s) \cdot C_f(t_s) - N(t) \cdot C_f(t) - \int_{t_s}^{t} Cf_{fcr} \cdot N(t) \cdot w(t)\, dt - (C_{op} \cdot (t - t_s) + (n_{od} \cdot C_{od})$$

subject to

$$N(t) = w(t) \leq W_{csc}$$

$$N(t) = N(t_s) \cdot e^{zt} \quad z = \frac{\ln(n_t/n_0)}{t}$$

$$t_s \leq t \leq t_e \leq \tau$$

$$t = decision\ variable$$

위 이론적 모형을 보면 제약조건은 해의 범위를 한정하는 실제적 제약함수라기보다는 모형의 가정을 나타내므로 목적함수의 값을 구하여 제약조건 만족여부만을 검토하면 된다. 목적함수는 t에 대하여 미분하여 비용을 최소화 하는 해를 찾을 수 있다. 다만 $N(t)$, $w(t)$가 어떤 함수로 표현되는가에 따라 일반해를 구할 수 있을 것인가의 여부만 문제가 될 뿐이다. 일반해를 구하기 어려운 경우가 발생하더라도 목적함수의 각항이 단조함수이므로 탐색절차법 등을 이용하면 해를 구할 수 있다.

Ⅲ. 사례모형의 구축과 분석

본 장에서는 이론적 기본모형을 기반으로 모의모형을 구축하고 수치분석(numerical analysis)을 수행하여 모형의 성격과 적용상의 의미를 살펴보고자 한다. 모의모형은 어윤양(2015)에서 제시된 넙치양식장에서의 모의사례를 기반으로 모형을 구축하였다.

모형에 이용된 성장률, 생존율, 사료계수, 운영비용에 이용된 인건비, 전력비 등의 계수는 다음 <표 1>

<표 1> 모형에서 이용된 계수, 상수 및 함수

(단위 : 일. Kg, 마리, 원)

계수, 상수, 함수	t_e	τ	Cf_{fcr}	$C_f(t_s)$	W_{csc}	C_{op}	$C_f(t_e)$
값	30	280	26.341/kg	₩579/ea	7500kg	₩6877/일	₩660원/ea
성장함수	$w(t) = 1.1576t - 0.00077t^2 + 0.000018t^3$						
수자원이용 비용함수	$C_{op}(t) = C_{op} \cdot (t - t_s)$						
치어가격함수	$C_f(t) = 0.0804t^2 + 0.2925t + 579$						

과 같다. 치어를 구입할 수 있는 기간은 1달(30일)로 하였으며, 양식기간은 280일 지나면 판매 가능한 수준으로 설정하고 분석기간을 280일까지로 설정하였다. 치어가격은 초기(t_s)의 가격을 579원으로 가정하고 생존율은 52%에서 82% 범위에서 변동한다고 가정하였다.

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

$$\mathrm{Fn}\ z = N(t_s)\cdot 579 - N(t)\cdot e^{zt}\cdot(579 + 0.2925t + 0.0804t^2)) - \int_0^t 0.026341\cdot N(t_s)\cdot e^{zt}\cdot(1.1576\mathrm{t} - 0.00077t^2 + 0.000018t^3)\,dt + 6877(t - t_s)$$

subject to

$$N(t)\cdot(1.1576\mathrm{t} - 0.00077t^2 + 0.000018t^3) \le 7500$$

$$t_s \le t \le 30$$

<표 2> 생존율 66%인 경우 치어 구입 시기에 따른 변수의 값

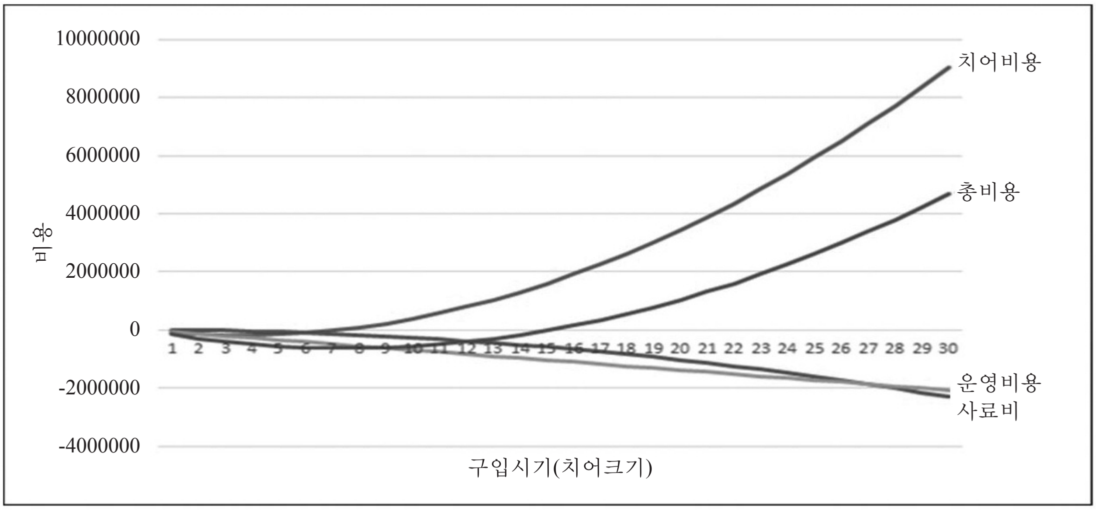
(단위 : 일. g, 마리, 원)

구입 시기	구입 마리수	치어 크기	가격/마리	치어비용	치어비용증가분	사료비 절약분	운영비 절약분	총비용
30	16,496	34.52	660	10,889,267	903,555	228,744	206,310	468,501
29	16,520	33.36	655	10,822,242	836,530	213,943	199,433	423,155
28	16,545	32.20	650	10,757,654	771,943	199,626	192,556	379,760
27	16,569	31.05	646	10,695,515	709,803	185,796	185,679	338,329
26	16,594	29.89	641	10,635,836	650,124	172,452	178,802	298,870
25	16,618	28.74	637	10,578,628	592,917	159,596	171,925	261,396
24	16,643	27.59	632	10,523,903	538,192	147,228	165,048	225,915
23	16,668	26.44	628	10,471,673	485,961	135,350	158,171	192,440
22	16,693	25.29	624	10,421,948	436,237	123,962	151,294	160,980
21	16,717	24.14	621	10,374,741	389,029	113,066	144,417	131,547
20	16,742	22.99	617	10,330,062	344,351	102,661	137,540	104,150
19	16,767	21.84	614	10,287,924	302,213	92,750	130,663	78,800
18	16,792	20.69	610	10,248,339	262,627	83,334	123,786	55,507
17	16,817	19.55	607	10,211,317	225,605	74,413	116,909	34,283
16	16,842	18.40	604	10,176,871	191,159	65,989	110,032	15,138
15	16,867	17.25	601	10,145,012	159,300	58,063	103,155	−1,918
14	16,892	16.10	599	10,115,752	130,040	50,637	96,278	−16,875
13	16,917	14.96	596	10,089,103	103,392	43,712	89,401	−29,722
12	16,942	13.81	594	10,065,077	79,366	37,290	82,524	−40,448
11	16,967	12.66	592	10,043,686	57,974	31,371	75,647	−49,044
10	16,992	11.52	590	10,024,941	39,230	25,958	68,770	−55,498
9	17,018	10.37	588	10,008,855	23,144	21,051	61,893	−59,800
8	17,043	9.22	586	9,995,440	9,729	16,654	55,016	−61,941
7	17,068	8.07	585	9,984,707	−1,004	12,766	48,139	−61,910
6	17,094	6.92	584	9,976,669	−9,042	9,391	41,262	−59,695
5	17,119	5.77	582	9,971,338	−14,373	6,530	34,385	−55,288
4	17,144	4.62	581	9,968,726	−16,985	4,185	27,508	−48,678
3	17,170	3.47	581	9,968,845	−16,866	2,357	20,631	−39,854
2	17,195	2.31	580	9,971,708	−14,004	1,049	13,754	−28,807
1	17,221	1.16	579	9,977,326	−8,386	263	6,877	−15,526
기준값(0)	17,246		579	9,985,712				

$N(t_s)$=*constant*
t=*decision variable*

이상에서 제시한 모형에서 기대생존율을 66%로 하였을 경우 치어크기(구입 시기)에 따른 치어구입수 및 비용변동을 계산한 결과는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보면 비용항목 중에서 가장 큰 영향을 미치는 것은 치어비용임을 볼 수 있다. 치어 비용



<그림 1 > 구입시기(치어크기)에 따른 비용의 변동

<표 3> 생존율에 따른 구입 치어크기와 마리 수

(단위 : %, 일. g, 마리, 원)

생존율	구입가능시기	최적구입시기	구입치어수	기준치어수	치어가격	치어크기 (구입일)
52	21	11	21,335	21,890	592	12.66
54	20	10	20,620	21,079	590	11.52
56	19	10	19,910	20,326	590	11.52
58	18	9	19,285	19,625	588	10.37
60	17	9	18,662	18,971	588	10.37
62	16	8	18,110	18,359	586	9.22
64	15	8	17,560	17,785	586	9.22
66	15	8	17,043	17,246	586	9.22
68	14	7	16,579	16,739	585	8.07
70	13	7	16,117	16,261	585	8.07
72	12	6	15,698	15,809	584	6.92
74	11	6	15,283	15,382	584	6.92
76	11	6	14,889	14,977	584	6.92
78	10	5	14,529	14,593	582	5.77
80	10	5	14,172	14,228	582	5.77
82	9	5	13,832	13,881	582	5.77

은 구입일수(치어크기)가 증가함에 따라 구입하는 치어수는 감소하지만, 치어가격이 치어크기의 2차함수이므로 치어가격의 증가가 더 큼에 따라 비용의 증가가 가파르게 증가함을 볼 수 있다. 치어비용은 치어 구입가능시기의 기준가격에 치어수를 곱한 값에서 치어 구입크기(시기)에 따른 비용의 변동을 나타내므로 만약 생존율에 따른 적절한 치어수를 구입하지 않는 경우 비용의 변동은 <표 2>의 값보다 더욱 커질 수 있다. 치어 크기에 따른 사료비는 변동이 적은 비선형으로 나타나고 있으며, 운영비는 당연하게 선형으로 나타나고 있다. 이러한 비용의 변동은 <그림 1>에 나타나고 있다.

또한 <표 2>와 <그림 1>에서 보면 치어 구입 가능기간 즉 비용이 최초 구입 시기보다 적게 나타나는 기간은 15일로 나타나고 있으며, 비용이 가장 낮게 나타나는 구입시기는 8일(치어 크기로는 9.22g)로 나타나고 있다. 최적해 부근 해는 매우 완만한 곡선의 형태로 나타나고 있음을 살펴볼 수 있다.

제시한 모형에서 기대생존율을 52%에서 82%로 변동하였을 경우 치어크기(구입 시기)에 관련된 값은 다음 <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 4>는 제시한 모형에서 기대생존율을 변동하였을 경우 <표 3>과 관련된 비용의 변동을 정리한 것이다. <표 4> 값에서 기대생존율을 6% 구간으로 구분하여 기대생존율에 따른 총 비용의 그림으로 나타내면 <그림 2>와 같다. 이 그림에서 나타난 기대생존율에 따른 총비용은 기대생존율이 높을수록 치어 구입시기에 따른 비용의 변동이 적은 것으로 나타나며, 치어 구입가능기간도 줄어드는 것을 살펴볼 수 있다.

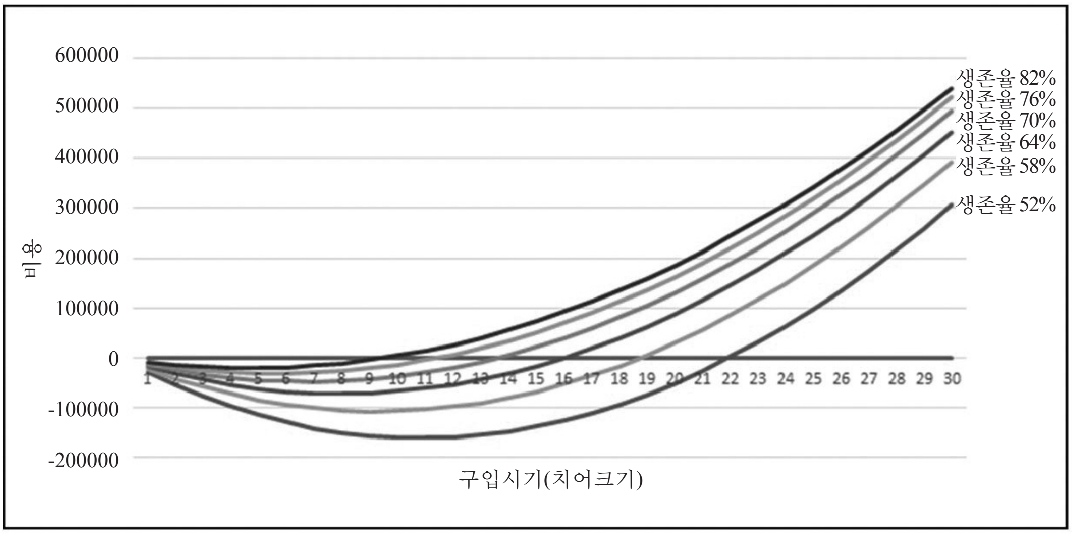
제시된 모형에서 나타난 결과를 중심으로 모형의 특성과 해의 성격은 다음과 같이 정리하여 볼 수 있다.

첫째, 치어크기(구입 시기)에 따른 치어 구매와 관련하여 발생하는 비용 가운데 변동이 큰 것은 치어비용이다. <표 2>와 <표 4>에 따르면 구입 시기에 따른 비용 변동 폭은 10%, 생존율에 추정에 따른

<표 4> 생존율에 따른 치어구입에 따른 비용변동

(단위 : 원)

생존율	치어구매가격	치어실제 구매가격	치어비 증감액	사료비 절감액	운영비 절감액	총비용
52	12,674,172	12,628,915	(45,257)	39,586	75,647	(160,490)
54	12,204,759	12,165,207	(39,551)	31,585	68,770	(139,906)
56	11,768,874	11,745,982	(22,893)	30,481	68,770	(122,144)
58	11,363,051	11,342,183	(20,869)	23,893	61,893	(106,655)
60	10,984,283	10,976,064	(8,219)	23,112	61,893	(93,224)
62	10,629,951	10,621,317	(8,634)	17,708	55,016	(81,358)
64	10,297,765	10,298,739	974	17,165	55,016	(71,207)
66	9,985,712	9,995,440	9,729	16,654	55,016	(61,941)
68	9,692,014	9,698,275	6,261	12,397	48,139	(54,275)
70	9,415,100	9,428,011	12,912	12,048	48,139	(47,275)
72	9,153,569	9,162,348	8,779	8,619	41,262	(41,102)
74	8,906,175	8,919,952	13,777	8,389	41,262	(35,874)
76	8,671,802	8,690,182	18,379	8,171	41,262	(31,054)
78	8,449,448	8,462,493	13,045	5,536	34,385	(26,876)
80	8,238,212	8,254,662	16,450	5,399	34,385	(23,334)
82	8,037,280	8,056,881	19,601	5,269	34,385	(20,053)



<그림 2> 기대 생존율에 따른 총비용의 변동

비용의 변동 폭은 50%가 넘는 것을 볼 수 있다. 이것으로 보아 치어의 구입 시기와 구입크기를 결정하는 것은 비용면에서도 중요하다.

둘째, <그림 2>에서 보는 바와 같이 기대 생존율이 낮을수록 치어 변동비용의 크기가 점차로 증가하며 치어구입 가능기간의 범위가 증가한다.

셋째, 생존율의 변동에 따라 비용변동의 비선형성이 나타나는 항목은 사료비용과 치어비용이며 사료비용과 치어비용은 이들 비용의 함수가 어떤 형태로 나타나느냐에 따라 큰 영향을 받는다.

넷째, 최적 주문시기(주문크기) 근처의 총비용은 매우 평편하며, 이는 최적해 부근의 범위에 들어가면 비용의 변동이 크지 않으므로 해의 유효성을 확보할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

어류양식에서 가장 중요한 관리의 대상이 되는 것은 양식 생존율이다. 양식에서 생존율과 가장 관련성이 높은 문제 중 중요한 문제는 생존율을 고려한 적절한 치어구입 문제이다.

본 연구는 양식장에서 양식어류의 치어를 구입하는 경우에 적절한 구입시기와 구입량 치어크기를 결정하기 위한 치어주문 문제를 분석하였다. 본 연구에서는 치어 주문모형의 문제를 생존율과 성장률에 관련된 생물적인 부분과 주문에 따른 치어비용 그리고 사료비용 등의 경제적인 부분으로 나누고, 생물적 양식조건과 이와 관련된 비용문제를 결합하여 비용방정식 모형을 구축하였다. 제시된 이론모형은 비선형으로 나타나는 성장률과 생존율의 함수와 연계된 치어 비용함수, 사료 비용함수가 비선형 함수로 목적함수에 나타나고, 양식조건에 관련된 변수가 제약조건에 나타나므로 특별한 경우 외에는 일반해를 구하기 어렵다. 본 연구에서 비용함수가 단조함수임을 이용하여 문제의 해를 효과적으로 구할 수 있다는 것을 보여 주었다. 또한 제시된 이론적 모형의 성격을 분석하기 위하여 넙치 육상 양식장의 사례문제를 설정하고 모형을 구축하여 생존율의 변동에 따른 시뮬레이션을 실행하였다.

본 연구의 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 치어주문모형을 생존율과 성장률에 관련된 비용모형으로 구축하고 분석하였다는 점이다. 기존의 문헌에서는 이러한 연구가 이루어지지 않았다는 점에서 연구기여도를 찾을 수 있다.

둘째, 본 연구에서 제시된 치어주문모형은 어떠한 형태의 생존율과 성장률 함수를 이용하여도 비용방정식 모형의 구축이 가능하며 최적해도 구할 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 넙치 육상양식장의 모의상황에 대하여 모형의 해를 구하고 시뮬레이션을 통하여 해의 성격을 살펴보았다.

셋째, 제시된 모형의 생존율에 따른 시뮬레이션 수치분석을 통하여 치어주문에 따른 비용 항목들이 어떻게 변동하는가를 분석하였다. 이를 통하여 현실문제 의사결정 측면에서의 특성들을 분석하고 그 의미를 살펴보았다. 모의 분석의 결과를 보면 치어구입시기와 크기의 결정에 따라 예상한 생존율을 기준으로 최적의 의사결정을 하는 경우에도 10% 정도의 비용 변동 폭이 나타나며, 실제 의사결정에서 적절한 치어크기와 마리수를 적절하게 하지 못하는 경우는 치어비용의 변동 폭이 매우 커질 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 한계와 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째 본 연구에서는 적용할 수 있는 현실적인 초기성장률과 사료효율성에 대한 자료를 획득하지 못하고, 치어 크기에 따른 비용형태에 대한 분석을 하지 못하여 현실 적용에 있어 한계가 있다는 점이다. 이러한 항목에 대한 추가적 분석이 이루어지면 양식의사결정에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 생각한다. 둘째, 각 양식어종에 대한 현실 적용에 필요한 성장률함수, 생존율함수, 사료전환계수 등에 대한 생물학적 연구가 적절하게 이루어진다면 의사결정에 유용성이 높은 치어주문모형의 구축과 결과를 얻을 수 있을 것이다. 앞으로 이러한 방향에서의 연구는 현실에서의 적용 측면에서 의미가 있을 것으로 생각한다. 셋째, 제시된 모형은 의사결정자 즉 양식 어업인이 사용하기가 어려운 수학적 모형이다. 그러므로 이용자가 쉽게 이용할 수 있는 간편 모형이나 주요변수에 따른 주문표가 작성되면 현장에서 쉽게 이용이 될 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대한 추가적인 연구는 본 논문의 성격과 직접적인 관계는 없지만, 연구의 유용한 적용 측면에서 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

국립수산과학원 (2006), **넙치 양식 표준 지침서**.

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.

Bjǿrndal, T., Lane, D. E. and Weintraub, A. (2004), “Operational research models and the management fo fisheries and aquaculture: a review,” *European Journal of Operational Research*, 156, 533－540.

Cacho, O. J. (1997), “System Modelling and Bioeconomic Modelling in Aquaculture,” *Aquaculture Economic and Management*, 1, 45－64.

Ghare, P. M. and Schrader, G. F. (1963), “A model for exponentially decaying inentory,” *Journal of Industrial Engineering*, 14, 238－243.

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-Prez, M., Hernndez-Llamas, A., Nieto-Navarro, J. T. and Pea-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.