

# 도루묵 수산자원회복계획 하에서 동해구기선저인망어업의 최적 어획노력량과 어획량 수준 결정에 관한 탐색적 연구<sup>†</sup>

최종열\* · 김도훈\*\*

## An Exploratory Study on Determining Optimal Fishing Effort and Production Levels of Danish Seine Fishery under the Sandfish Stock Rebuilding Plan

Jong-Yeol Choi\* and Do-Hoon Kim\*\*

### Abstract

Based on Clark and Munro's theory of dynamic optimization between fishery resources and production, this study is aimed to take an empirical analysis of optimal production level to the Danish Seine fishery under the sandfish stock rebuilding plan. For empirical analysis, it examined the optimal fish stock size, production and fishing effort levels and it also made an additional evaluation of optimal production changes on main variables by sensitivity analyses.

When a 4% of the discount rate is assumed, the optimal sandfish production of Danish Seine fishery would be 3,049 t, and the sandfish optimal stock size is evaluated to be 19,016 t. In addition, the optimal fishing effort is estimated to be 4,368 days. Accordingly, to achieve the optimal production level, current fishing efforts should be reduced while the fish stock size should be increased up to the optimal level.

Key words : Optimal production, Danish seine fishery, Sandfish, Fishing effort, Fish stock rebuilding plan

### I. 서 론

수산자원회복계획은 남획상태에 있거나 남획

이 진행 중인 어종의 자원량을 일정 기간 내에 정해진 목표 자원량 수준으로 회복시키기 위한 어업관리정책으로, 한국에서는 지난 2006년부터

접수 : 2012년 6월 4일    최종심사 : 2012년 6월 14일    게재확정 : 2012년 6월 18일

<sup>†</sup>본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

\*부산대학교 경영대학 교수(051-510-2676, jychoi@pusan.ac.kr)

\*\*국립수산과학원 기술경영센터 해양수산연구소(Corresponding author : 051-720-2161, delaware310@ yahoo.com)

터 도루묵, 낙지, 꽃게, 오분자기 등 4개 어종에 대한 시범사업을 실시하여 2011년 현재 총 12개 어종에 대한 수산자원회복계획이 수립되어 있다(김도훈, 2004; 김대영 외 2인, 2011).

수산자원회복계획 하에서 지속가능하고 안정적인 어업경영을 도모하기 위해서는 무엇보다 적정 어업자원량 수준을 유지하는 것이 반드시 필요하다. 또한 적정 어업자원량 유지를 위한 적정 어업생산 수준을 결정하는 것도 중요한 일이다(김도훈 외 2인, 2008; 김도훈, 2006; 김도훈, 2004; Khwaja and Cox, 2010). 특히 어업자원의 공유재적 성격으로 인하여 개별 어업경영이 독자적으로 어업자원을 관리하면서 적절한 생산을 도모하는 것이 곤란하다. 이에 따라 공적(公的) 관리에 의해서든, 혹은 어업경영체들의 자발적인 협력에 의해서든 특정 어업자원에 대한 대상어업 전체의 적정 생산 수준을 결정하고, 그 범위 내에서 개별 어업경영체들이 효율적인 생산 활동을 전개해 나가는 어업생산 관리전략이 필요하다.

수산자원회복계획 하에서 자원회복 대상어종의 회복을 위한 적정 어업생산 수준은 생물학적 기준, 사회적 기준 등 다양한 기준에서 결정될 수 있을 것이다. 하지만 어업경영의 입장에서는 어업자원의 동태적 변화 속에서 어업이익이 가장 크게 되는 수준에서 어업생산이 결정되는 것이 바람직하다. 이를 위해서 어업 정책적으로는 어업이익이 가장 크게 되는 최적 어업생산 수준을 지속적으로 유지할 수 있는 최적 목표 어업자원량 수준을 유지하고 관리해 가는 것이 필요하다.

이러한 배경 하에서 본 연구는 Clark and Munro(1975)의 어업자원과 어업생산 간의 동태적 최적이론(theory of dynamic optimization)을 바탕으로, 도루묵 수산자원회복계획 하에서 어획량 비중이 가장 높은 동해구기선저인망어업을 대상으로 최적 어업생산 수준을 실증적으로 분석해 보았다. 실증분석에 있어서는 동태적 최적 어업생산 모형을 통한 최적 어획노력량 수준

을 살펴보고, 주요 변수에 대한 민감도분석을 통해 최적 어업생산 변화를 추가적으로 평가해 보았다. 이러한 실증분석 결과는 도루묵 수산자원회복계획의 목표 자원량 설정과 향후 관리방안 수립을 위한 유용한 정책적 시사점을 제공해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 분석 방법 및 자료

### 1. 최적 어업생산 결정을 위한 이론

어업자원과 어업생산 간의 변화를 바탕으로 Clark and Munro(1975)는 어업자원을 어업에 있어서의 자본스톡이라 개념 정의하고, 시간의 흐름에 따른 어업활동으로부터의 사회적 이익을 극대화하는 동태적 최적이론(theory of dynamic optimization)을 전개하였다. 이 이론은 어업자원의 보전문제는 근본적으로 자본투자자와 같은 것으로 현재 어획하지 않고 비축해 둬으로써 향후 생산할 양을 증가시킬 수 있다고 보는 것이다. 즉 현재 생산을 줄여서 어업자원 수준을 증가시켜 미래에 더 많은 어업자원이 발생할 수 있도록 하고, 또한 성어 자원량을 증가시켜 미래의 생산량 증가를 도모한다면 어업자원으로부터의 어업이익이 증가될 수 있다는 것이다.

어업이익을 극대화할 수 있는 최적 생산 및 어업자원 수준을 구하기 위한 동태적 균형모형을 Clark and Munro의 이론적 개념을 확대하여 우선  $t$ 기에 있어서 어획노력량( $E$ )을 투입하여 어업생산으로부터 얻을 수 있는 어업이익은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi(X_t, h_t) = p \cdot h(E_t, X_t) - c(E) \quad (1)$$

여기서  $p$ 는 생산물의 시장가격,  $c$ 는 단위노력당 비용을 나타낸다. 동태적 어업이익의 순현재가치(NPV) 극대화를 위한 목적함수와 제약조건식은 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Maximize } NPV = \int_0^{\infty} e^{-\alpha t} \pi(X_t, h_t) dt \quad (2)$$

$$= \int_0^{\infty} e^{-\delta t} [p \cdot h(E_t, X_t) - c(E_t)] dt$$

subject to;  $X_t \geq 0$ ;  $0 \leq h_t \leq h_{MAX}$

여기서  $\delta$ 는 NPV 계산을 위한 사회적 할인율, 그리고  $h_{MAX}$ 는 최대 생산 수준을 의미한다. 식 (2)의 제약조건을 바탕으로 한 목적함수의 극대화 문제를 해결하기 위한 해밀토니언(hamiltonian) 함수( $H$ )는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = e^{-\delta t} [p \cdot h(E, X) - c(E)] + \lambda [G(X) - h(E, X)] \quad (3)$$

여기서  $\lambda$ 는 미래자원의 가치를 현재로 할인한 그림자 가격(shadow price)으로, 구체적으로는 시장에서 형성되는 어업생산물의 가격과 달리 어업자원의 희소성에 의해 결정되는 어업자원 자체의 잠재가격을 의미한다. 해밀토니언 함수( $H$ )를 극대화하기 위한 필요조건은 식 (4)~(8)에서와 같이, 해밀토니언 함수( $H$ )를 어획노력량( $E$ ), 어업자원( $X$ ), 그리고  $\lambda$ 에 대해 편미분함으로써 구할 수 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial E} = e^{-\delta t} [p \cdot h_E - c_E] - \lambda \cdot h_E \quad (4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial X} = e^{-\delta t} [p \cdot h_X] + \lambda (G_X - h_X) \quad (5)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \delta \cdot e^{-\delta t} \left[ \frac{p \cdot h_E - c_E}{h_E} \right] \quad (6)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{\partial H}{\partial X} \quad (7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \lambda} = G(X) - h(E, X) \quad (8)$$

여기서  $\frac{d\lambda}{dt} = -[e^{-\delta t} (p \cdot h_X) + \lambda (G_X - h_X)]$ 가

되고, 식 (4)를  $\lambda$ 에 대해 정리하여 식 (5)에 대입하면 최종적으로 식 (9)과 같이 정리할 수 있다.

$$G_X + \frac{c_E \cdot h_X}{p \cdot h_E - c_E} = \delta \quad (9)$$

보다 구체적인 최적 어업자원 수준을 파악하기 위해 식 (3)의 어업자원 성장식[ $G(X)$ ]을 일반

적인 쉐퍼(Schaefer) 함수형태로 가정하고, 어획노력량( $E$ ) 수준에 따른 어업비용함수, 그리고 선형적인 어업생산함수[ $h(E, X)$ ]를 가정하면 식 (10)~(12)와 같이 각각 나타낼 수 있다(Anderson, 1986; Clark, 1990; Conrad, 1992).

$$G(X) = r \cdot X_t \cdot (1 - X_t/K) \quad (10)$$

$$c(E) = a \cdot E \quad (11)$$

$$H(E, X_t) = q \cdot E \cdot X_t \quad (12)$$

식 (10)에서  $r$ 은 어업자원의 본원적 성장률,  $K$ 는 환경적 최대 자원량 수준을 의미한다. 식 (11)에서  $a$ 는 단위노력당 비용을 나타낸다. 이들 식 (10)~(12)를 식 (9)에 대입하여 어획노력량[ $E$ ]에 대해 정리하면 다음의 식 (13)과 같다.

$$E = \frac{(pqX - a)}{aq} \cdot \left[ \delta - r \left( 1 - \frac{2X}{K} \right) \right] \quad (13)$$

위의 식에서 보는 바와 같이, 어업자원량( $X$ )이 증가할수록 어획노력량( $E$ ) 수준은 증가하게 된다( $dE/dX > 0$ ). 최적 어업자원량( $X^*$ ) 수준에서 최적 생산( $h^*$ )은 식 (8)의 조건을 충족시키기 위해 다음의 식 (14)와 같이 최적 어업자원의 성장률과 같아야 한다.

$$h^*(E, X^*) = G(X^*) \Rightarrow qEX^* = rX^*(1 - \frac{X^*}{K}) \quad (14)$$

마지막으로 식 (13)에서의 어획노력량( $E$ )을 식 (14)에 대입하여 최적 어업자원량( $X^*$ )에 대해 정리하면 최적 어업자원량( $X^*$ )은 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$X^* = \frac{K}{4} \left[ \left( \frac{a}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left( \frac{a}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8a\delta}{pqKr}} \right] \quad (15)$$

식에서 각 변수에 따른 최적 어업자원의 변화를 살펴보면, 각각  $dX^*/dr > 0$ ,  $dX^*/dK > 0$ ,  $dX^*/da > 0$ ,  $dX^*/dp < 0$ ,  $dX^*/dq < 0$ , 그리고  $dX^*/d\delta < 0$ 이 된다. 즉 어업자원의 본원적 성장률( $r$ ), 최대 자원량( $K$ ), 그리고 단위노력당 비용( $a$ )이 증가할

수록 최적 어업자원량은 증가하고, 반대로 시장 가격( $p$ ), 어획능률계수( $q$ ), 그리고 사회적 할인율( $\delta$ )이 증가할수록 최적 어업자원량은 감소한다.

이러한 최적 어업자원량( $X^*$ )을 바탕으로 최종적인 최적 어업생산( $h^*$ )은 식 (14)에  $X^*$ 를 대입함으로써 구할 수 있다. 이에 따라 최적 어업생산은 최적 어업자원량( $X^*$ ) 수준이 높을수록 증가하게 된다. 최적 어획노력량( $E^*$ ) 수준은 식 (14)를 정리하여 다음의 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

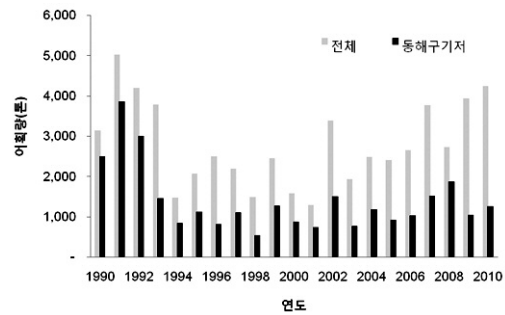
$$E^* = \frac{h^*}{qX^*} \quad (16)$$

이 외에도 최적 어획노력량( $E^*$ ) 수준은 식 (13)에 최적 어업자원량( $X^*$ )을 대입함으로써 구할 수 있다.

## 2. 도루묵 동해구기선저인망어업

도루묵(*Arctoscopus japonicus*)은 한국 동해안 지역에 있어서 주요 상업적 어종 중의 하나로, 동해구기선저인망, 연안자망, 동해구트롤 및 서남해기선저인망 등 다양한 어업에 어획되고 있다. 도루묵 어획량 변화를 살펴보면, 1971년 약 25,000톤의 최고치를 기록한 이후 감소하기 시작하여 1990년대 초에는 약 2,600톤 수준으로 감소하였다. 이후에도 어획량은 증감을 반복하다 2002년 약 3,400톤으로 증가되었고, 2007년 약 3,800톤, 2009년 약 4,000톤, 그리고 2010년 현재 약 4,240톤 수준으로 증가하였다.

업종별 도루묵 어획 상황을 보다 구체적으로 살펴보면, 동해구기선저인망과 연안자망어업의 어획량이 도루묵 전체 어획량 중 대부분 차지하고 있다. 과거 5년간(2006~2010) 평균 어획량을 살펴보면, 동해구기선저인망이 1,469톤 그리고 연안자망이 1,249톤으로 도루묵 전체 어획량에서 각각 48%와 41% 정도를 차지하고 있다. 동해구기선저인망어업은 연중 도루묵을 어획하고 있으며, 어획량 변화를 살펴보면, <그림 1>에서 보는



출처: 수산정보포털 어업생산통계(www.fips.go.kr)

<그림 1> 도루묵의 전체 및 동해구기선저인망어업 어획량 변화(1990~2010)

바와 같이, 1991년 약 5,000톤을 기점으로 1998년에는 약 500톤 수준으로 격감하였다. 하지만 이후 증감을 보이다 2008년에는 약 1,900톤을 기록하였고, 2010년 현재 1,250톤 수준이다.

도루묵에 대해서는 과거 어획량 수준에 비해 최근의 어획량이 크게 감소한 것을 배경으로 2006년 수산자원회복계획이 수립되었다. 이 계획 하에서는 도루묵 자원회복을 통해 2015년까지 어획량 5,000톤 달성을 목표로 설정하였다. 도루묵 자원회복을 위한 관리수단으로서는 기존 관리수단인 체포금지제장 및 금어기가 더욱 강화되었고, 산란장 중심의 보호구역 설치, 어구 사용량 제한 등이 행해지고 있으며, 특히 동해구기선저인망어업에 대해서는 총허용어획량(TAC) 제도, 어선감척사업 등이 제안되고 있다.

## 3. 분석 자료

### 1) 도루묵 어업자원의 성장함수

도루묵의 성장함수[ $G(X)$ ]는 식 (10)과 같이 쉐퍼(schaefer) 함수형태로 가정되었는데, 식 (10)에서  $X=K/2$ 일 때 성장량이 최대로 되고, 어업자원( $X$ ) 수준이 그 이후로 증가하게 되면 성장량은 오히려 감소하게 된다. 도루묵 어업자원의 본원적 성장률( $r$ )은 0.416 그리고 최대 자원량 수준( $K$ )은 30,943톤으로 추정되었다. 도루묵 어업자원 수준은 2008년 기준으로 5,408톤으로 조

사되었다(양재형 외 5인, 2008; 이성일 외 6인, 2009).

2) 동해구기선저인망어업의 도루묵 생산함수  
동해구기선저인망의 도루묵 생산함수 $[h(E,X)]$ 는 식 (12)에서와 같이 어업자원( $X$ )과 어획노력량( $E$ ) 수준에 대해 선형적으로 비례하는 형태로 가정하였다. 여기서 동해구기선저인망어업의 어획노력량( $E$ ) 수준은 어선척수에 어선별 연간 조업일수를 곱한 동해구기선저인망어업의 총조업일수(출어횟수 $\times$ 출어당 조업일수 $\times$ 어선척수)로 가정하였다. 어선별 평균 출어횟수와 출어당 조업일수는 2008~2010년 기간 동안의 수협중앙회 어업경영조사 자료를 이용하여 각각 연간 177회, 평균 1일, 그리고 어선척수는 총 42척으로 조사되었다(수협중앙회, 2011).

### 3) 도루묵 어업자원의 동태함수

도루묵 어업자원의 성장함수 $[G(X)]$ 와 동해구기선저인망어업의 생산함수 $[h(E,X)]$ 로부터 도루묵 어업자원의 동태함수는 식 (17)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= X_t + G(X_t) - h(E_t, X_t) \\ &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E_t \cdot X_t \end{aligned} \quad (17)$$

여기서  $X_t$ 와  $X_{t+1}$ 은 각각  $t$ 년도와  $t+1$ 년도의 도루묵 어업자원 수준,  $G(X_t)$ 는 도루묵 어업자원의 성장량, 그리고  $h(E_t, X_t)$ 는  $t$ 년도의 생산을 의미한다. 식에서와 같이 성장량이 생산량보다 많으면 어업자원은 증가하게 되고, 반대로 생산량이 성장량보다 많으면 어업자원은 감소하게 된다. 따라서 만약 최적 생산이 어업자원의 성장량 수준보다 높으면 최적 자원량 수준은 시간이 지남에 따라 감소하게 되고, 반대로 최적 생산이 어업자원의 성장량보다 적으면 최적 자원량 수준은 동태적으로 증가하게 된다.

### 4) 어업수입함수

$t$ 년도에 있어서 동해구기선저인망어업의 어

업수입( $TR_t$ )은 식 (18)에서와 같이 생산함수에서 평가된  $t$ 년도의 생산( $h_t$ )에 시장가격( $p$ )을 곱함으로써 구할 수 있다.

$$TR_{it} = h_t \cdot p \quad (18)$$

분석에서 사용된 동해구기선저인망어업의 도루묵 평균 시장가격( $p$ )은 2008~2010년 기간 동안의 평균 가격으로, 2,538원/kg으로 조사되었다.

### 5) 어업비용함수

$t$ 년도 동해구기선저인망어선( $i$ )의 어업비용( $TC_{it}$ )은 연간 어업비용을 출어일수로 나누면 출어일당 비용( $a$ )과 출어일수의 곱으로 나타낼 수 있다. 그리고 동해구기선저인망어업 전체의 어업비용( $TC_t$ )은 어선별 어업비용( $TC_{it}$ )에 어선척수를 곱함으로써 구할 수 있다.

수협중앙회 어업경영조사(2011) 자료를 이용한 2010년도 동해구기선저인망어선의 연간 어업비용은 445백만원으로 조사되었다. 하지만 동해구기선저인망어선은 도루묵 외에도 다른 어종을 함께 어획하고 있기 때문에 도루묵 생산을 위한 어업비용을 구하기 위해서 동해구기선저인망어선 총 생산 중 도루묵 어획량이 차지하는 비율 약 32.1%를 곱하였다. 그 결과 동해구기선저인망어선의 출어일당 비용( $a$ )은 807천원으로 계산되었다.

### 6) 어업이익함수

$t$ 년도 동해구기선저인망 어업경영의 어업이익( $TP_t$ )은 연간 총수입( $TR_t$ )에서 총비용( $TC_t$ )을 차감함으로써 구할 수 있다. 향후  $T$ 기간동안 발생할 연간 어업이익은 식 (19)에서와 같이, 사회적 할인율( $\delta$ )을 이용한 현재가치( $NPV$ )의 합으로 나타낼 수 있다.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{TP_t}{(1+\delta)^t} \quad (19)$$

본 연구에서는 향후 발생할 어업이익에 대한 사회적 할인율을 4%로 가정하였다.



### Ⅲ. 분석 결과

도루묵 동해구기선저인망어업에 대한 분석 자료를 식 (15)에 대입하여 어업이익을 최대로 할 수 있는 최적 어업자원량( $X^*$ ) 수준을 평가한 결과 <표 1>에서와 같이  $X^*=19,016$ 톤으로 나타났다. 따라서 어업자원량은 현재 수준에서 증가되어야 하는데, 이를 위해서는 어업자원의 동태함수식[식 (17)]에서와 같이, 어업자원의 성장량보다 생산 수준을 감소시켜 어업자원의 증가를 도모해야 한다.

최적 어업자원량을 바탕으로 한 최적 생산( $h^*$ )은 식 (14)에  $X^*$ 를 대입하여 계산한 결과 3,049톤으로 평가되었다. 이는 최적 자원량( $X^*$ )이 달성되었을 경우 생산 가능한 수준으로, 현재 수준에서 어업자원량이 증가할수록 어업생산도 증가하게 된다. 하지만 어업자원이 증가하여 최적 자원량( $X^*$ ) 수준에 이르게 되면 최적 생산( $h^*$ )은 어업자원의 성장량과 같게 되므로 최적 자원량( $X^*$ ) 수준은 지속적으로 유지되고, 이에 따라 생산 수준도 최적인 점에서 계속 유지된다.

최적 어업자원( $X^*$ )과 생산( $h^*$ ) 수준을 도모하기 위한 최적 어획노력량( $E^*$ ) 수준은 식 (16)에 따라  $E^*=4,368$ (일)로 분석되었다. 여기서 비교적 동질적인 총 42척이 조업 중이므로 어선별 최적 조업일수는 104일로 평가되었다. 따라서 어선별로 최적 조업일수에 맞추어 도루묵을 생산함으로써 현재의 어업자원 수준을 증가시켜 최적 어업자원( $X^*$ )을 달성할 수 있게 된다. 어업자

<표 1> 최적 어업자원량( $X^*$ ), 생산( $h^*$ ), 그리고 어획노력량( $E^*$ ) 수준( $\delta=4\%$  기준)

최적 어업자원량( $X^*$ )	19,016톤
최적 생산( $h^*$ )	3,049톤
최적 어획노력량( $E^*$ )	4,368(42척×104일)

원의 증가에 따라 향후 생산을 증대시킬 수 있으며, 최적 어업자원( $X^*$ )에 따른 최적 생산( $h^*$ )을 도모할 수 있다.

어선별 최적 조업일수( $E^*$ )를 현재의 수준(177일)과 비교해 보면, 조업일수가 크게 줄어들어야 하는 것으로 나타났다. 즉 최적 어업자원을 달성하기 위해서는 어획노력량( $E$ ) 수준을 낮추어 어업자원의 성장을 도모해야 하며, 최적 어업자원을 회복한 후에는 지속적인 최적 생산을 위해 어업자원의 성장과 일치하는 최적 어획노력량 수준이 유지되어야 한다.

다음으로 주요 변수에 따른 최적 생산의 변화를 살펴보면, 우선 사회적 이자율( $\delta$ )의 변화에 따른 최적 어업자원( $X^*$ ), 최적 생산( $h^*$ ), 그리고 최적 어획노력량( $E^*$ ) 수준의 변화는 <표 2>에서 보는 바와 같다. 사회적 할인율이 증가할수록 최적 어업자원량은 감소하는 반면, 최적 어획노력은 증가하는 것으로 나타났다. 즉 할인율이 높아질수록 어선별 조업일수는 증가될 수 있는 것으로 분석되었다. 최적 생산도 할인율이 높아짐에 따라 증가하는 것으로 평가되었다.

불확실성이 큰 생물학적 변수인 어업자원의 본원적 성장률( $r$ ) 변화에 따른 최적 생산 변화를

<표 2> 사회적 할인율( $\delta$ ) 변화에 따른 최적 생산의 변화

사회적 할인율( $\delta$ )	최적 어업자원량( $X^*$ )	최적 생산( $h^*$ )	최적 어획노력량( $E^*$ )
2%	19,413	3,009	4,242(42척×101일)
4%	19,016	3,049	4,368(42척×104일)
6%	18,634	3,084	4,529(42척×108일)
8%	18,266	3,113	4,664(42척×111일)
10%	17,911	3,138	4,795(42척×114일)
12%	17,571	3,159	4,920(42척×117일)

〈표 3〉 어업자원의 본원적 성장률( $r$ ) 변화에 따른 최적 생산의 변화

본원적 성장률 ( $r$ )	최적 어업자원량 ( $X^*$ )	최적 생산 ( $h^*$ )	최적 어획노력량 ( $E^*$ )
0.291	18,687	2,154	3,154(42척×75일)
0.333	18,824	2,455	3,569(42척×85일)
0.374	18,929	2,749	3,974(42척×95일)
0.416	19,016	3,049	4,368(42척×104일)
0.458	19,088	3,349	4,802(42척×114일)
0.499	19,147	3,642	5,206(42척×124일)
0.541	19,198	3,942	5,620(42척×134일)

〈표 4〉 어업비용의 변화에 따른 최적 생산의 변화

어업비용 (백만원)	최적 어업자원량 ( $X^*$ )	최적 생산 ( $h^*$ )	최적 어획노력량 ( $E^*$ )
311.5	17,547	3,160	4,929(42척×117일)
356.0	18,039	3,129	4,748(42척×113일)
400.5	18,529	3,092	4,567(42척×109일)
445.0	19,016	3,049	4,368(42척×104일)
489.6	19,501	3,000	4,210(42척×100일)
534.1	19,983	2,944	4,032(42척×96일)
578.6	20,463	2,883	3,856(42척×92일)

〈표 5〉 시장가격의 변화에 따른 최적 생산의 변화

시장가격 (원/kg)	최적 어업자원량 ( $X^*$ )	최적 생산 ( $h^*$ )	최적 어획노력량 ( $E^*$ )
1,777	21,078	2,795	3,630(42척×86일)
2,030	20,224	2,914	3,944(42척×94일)
2,284	19,555	2,994	4,190(42척×100일)
2,538	19,016	3,049	4,368(42척×104일)
2,792	18,574	3,089	4,551(42척×108일)
3,046	18,203	3,118	4,687(42척×112일)
3,299	17,888	3,140	4,803(42척×114일)

살펴보면 〈표 3〉과 같다. 도루묵 자원평가 결과 추정된  $r=0.416$ 을 기준으로  $-30\sim+30\%$  범위의 변화에 따른 최적 어업자원 수준은 성장률이 증가할수록 높아지는 것으로 나타났다. 그리고 성장률 증가에 따라 최적 어획노력량 수준도 증가하는 것으로 나타나, 결과적으로 최적 생산 수준 또한 증가하는 것으로 분석되었다.

어업비용의 변화에 따른 최적 생산 변화를 살펴보면, 분석에서 사용된 2010년도 어업비용을 기준으로  $-30\sim+30\%$  범위의 변화에 따른 최적 생산은 〈표 4〉에서 보는 바와 같다. 식 (15)에서와 같이, 단위노력당 비용( $a$ )이 증가할수록 최적 어업자원의 수준은 높아지게 된다. 하지만 단위노력당 비용( $a$ )이 증가할수록 최적 어획노력

량 수준은 감소하게 되며, 그 결과 최적 생산 수준도 낮아지게 된다.

이 외 시장가격 변화에 따른 최적 생산 변화를 살펴보면, 분석에서 가정된 시장가격( $p$ )을 기준으로 역시  $-30 \sim +30\%$  범위의 변화에 따른 최적 생산을 분석한 결과는 <표 5>에서 보는 바와 같다. 시장가격( $p$ )이 높아질수록 최적 어업자원은 감소하게 된다. 하지만 최적 어획노력량 수준은 증가함에 따라 최적 생산 수준 또한 높아지게 된다.

#### IV. 요약 및 결론

수산자원회복계획 하에서는 자원회복 대상종의 목표량을 설정하는 것이 아주 중요하다. 어업자원회복을 위한 관리수단을 효과적으로 강구하는 것 또한 필요하다. 목표 자원량 설정에 있어서는 다양한 기준이 있을 수 있으나, 어업경영체나 어업관리 정책적으로 어업자원의 지속성을 고려하면서 어업의 경제적 이익을 최대로 할 수 있는 최적 생산과 어업자원의 수준을 결정하는 것이 하나의 중요한 기준이 될 수 있다.

본 연구에 있어서는 Clark and Munro(1975)의 이론을 바탕으로 도루묵 동해구기선저인망어업을 대상으로 어업자원의 성장 함수식과 어업생산 함수식을 조건으로 하는 동태적 어업이익의 순현재가치(NPV) 극대화를 위한 목적함수를 설정하고, 최적 어업자원, 최적 생산 그리고 최적 어획노력량을 실증적으로 평가해 보았다. 분석 결과, 사회적 이자율을 4%로 가정하였을 경우 동해구기선저인망어업의 최적 생산은 3,049톤으로 나타났고, 이를 위한 도루묵 최적 어업자원량 수준은 19,016톤, 최적 어획노력량 수준은 4,368일(42척 $\times$ 104일)로 평가되었다. 이에 따라 최적 생산을 위해서는 현재 어획노력량 수준을 감소시켜 어업자원을 최적 수준으로 증가시켜야 하는 것으로 분석되었다. 사회적 할인율, 성장률, 어업비용, 시장가격 등 주요 변수에 대한

민감도분석 결과, 변수 값들의 변화에 따라 최적 자원량과 생산 수준이 변화하는 것으로 나타났다. 생물학적 주요 변수들 추정에 대한 정책적 노력이 더욱 강구되어야 하고, 이를 통해서 보다 정확한 최적 생산 및 자원량 수준을 설정할 수 있을 것이다.

어업자원회복을 위한 수산자원회복계획에 있어서는 자원회복 대상어종을 어획하는 주요 어업별 최적 자원량과 생산 수준을 구하고, 이를 바탕으로 목표 자원량 수준을 결정한다면 보다 효과적으로 대상종의 목표 자원량과 자원회복 기간 등을 설정할 수 있을 것이다. 어업별 어업자원의 지속성 하에서 최적 생산을 위한 어획노력량 수준을 바탕으로 자원회복수단을 강구한다면 수산자원회복계획 운영의 효율성을 극대화할 수 있을 것이다.

현재 도루묵 자원회복계획 하에서 동해구기선저인망어업에 대해서는 어획강도를 줄이기 위한 조치로 총허용어획량(TAC) 제도, 어선감척사업 등이 논의 중에 있다. 본 연구에서 분석된 동해구기선저인망어업의 최적 어획노력 수준은 동해구기선저인망어업에 대한 다양한 관리수단 선택과 효과적 운용에 많은 시사점을 제공해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 행한 어업의 동태적 최적 생산 추정을 위해서는 어종의 자원평가 자료와 어업활동의 사회경제적 자료 등 다양한 자료가 필요하다. 특히 보다 정확한 추정을 위해서는 자원평가 결과 추정치에 대한 정확성 제고가 요구된다. 자원평가 추정치에 대한 불확실성이 높은 만큼 향후 수산자원회복계획의 기대효과를 극대화하기 위해서는 대상어종별 자원조사 및 평가에 대한 학문적 연구와 정책적 노력이 더욱 강화되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- 김도훈, 자원회복계획의 개념과 도입 방향, KMI Report 2004-5, 한국해양수산개발원, 2004.
- \_\_\_\_\_, “우리나라 근해어업의 어획능력 측정에 관한 연구”, 수산경영론집, 제37권 제1호, 2006, pp.1-24.
- \_\_\_\_\_, “복수어업에 있어서의 어업관리수단 평가를 위한 생물경제학적 연구”, 수산경영론집, 제35권 제1호, 2004, pp.1-22.
- 김도훈 외 2인, “대게 연안자망어업의 경제적 적정 어구사용량 분석”, 수산경영론집, 제39권 제2호, 2008, pp.25-39.
- 김대영 외 2인, “수산자원회복계획의 성과평가 개선 방향에 관한 연구”, 수산경영론집, 제42권 제3호, 2011, pp.15-29.
- 수협중앙회, 어업경영조사보고, 수산업협동조합중앙회, 2011.
- 이성일 외 6인, “한국 연근해 도루묵의 자원량 추정”, 한국수산과학회지, 제42권 5호, 2009, pp.487-493.
- 양재형 외 5인, “동해안 도루묵의 연령과 성장”, 한국어업기술학회지, 제44권 4호, 2008, pp.312-322.
- Anderson, L. G., *The Economics of Fisheries Management*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 1986.
- Clark, C., *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*, John Wiley & Sons Inc., 1990.
- Clark, C. W. and G. R. Munro, “The economics of fishing and modern capital theory : A simplified approach,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.2, 1975, pp.92-106.
- Conrad, J., *Resource Economics*, Cambridge University Press, 1992.
- Khwaja, S. and A. Cox, *Rebuilding Fisheries: An overview of issues and policy approaches in the OECD. The Economics of Rebuilding Fisheries Workshop Proceedings, Chapter 2.*, 2010.